Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG

Júlio Storion de Oliveira

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2012

Júlio Storion de Oliveira
Engenheiro Agrônomo

Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **PETERSON RICARDO FIORIO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre em Ciências. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Oliveira, Júlio Storion de
Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG / Júlio Storion de Oliveira. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.
103 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Bacia hidrográfica 2. Erosão 3. Geoprocessamento 4. Perda de solo 5. Sistema de informação geográfica I. Título

CDD 631.45
O48a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP

Oliveira, Júlio Storion de

Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solo em ambiente SIG / Júlio Storion de Oliveira. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2012.

103 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

1. Bacia hidrográfica 2. Erosão 3. Geoprocessamento 4. Perda de solo 5. Sistema de informação geográfica I. Título

CDD 631.45
O48a

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Victor Hugo e Cristina, pelo exemplo de vida, fé, perseverança, coragem e por todo amor, carinho, apoio e dedicação que me ensinaram, sempre estiveram ao meu lado e confiaram nas minhas escolhas.

As minhas irmãs Sylvia e Marília, que nas dificuldades que a vida proporcionou sempre estiveram do meu lado, me dando força e amor.

A minha amada e adorada namorada Tatiana, um anjo que me trouxe uma alegria enorme, e mais vontade de viver.

E a todos da minha família: Meu Vô Zé, Vó Wilma *in memoriam* e Vó Silvia *in memoriam*, Vô Hugo *in memoriam*, Dr. Marcos e Dona Marly, Tiago.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas dificuldades que me fortalecem, pela sabedoria para resolver meus problemas, pelos trabalhos que me fizeram prosperar, pelas pessoas amadas que sempre me ajudaram e por ter me oferecido tudo que precisei por meio de oportunidades e por mais essa conquista realizada.

À Universidade de São Paulo e Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e a todos os professores do curso de Pós-graduação em Irrigação e Drenagem, pelas condições de aprendizagem, oferecidas durante o transcorrer do curso.

Ao Prof.º Drº Peterson Ricardo Fiorio, pela orientação, confiança, compreensão, amizade, apoio e incentivo.

Aos amigos da pós-graduação, Juliano Araujo Martins, Pedro Paulo Barros, Ana Carolina Santos Nascimento, sempre disponíveis para ajudar.

A todos os companheiros e colegas da Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem da USP/ESALQ.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nivel Superior – Capes pela concessão da bolsa de estudos.

“A maior riqueza do homem é a sua incompletude...”

Manoel de Barros

SUMÁRIO

RESUMO.....11
ABSTRACT 13
LISTA DE FIGURAS 15
LISTA DE TABELAS.....17
LISTA DE QUADROS 19
LISTA DE SIGLAS 21
1 INTRODUÇÃO 23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....25
2.1 Microbacia Hidrográfica.....25
2.2 Uso da terra.....26
2.2.1 Área de Preservação permanente e Reserva Legal.....27
2.3 Erosão.....28
2.3.1 Equação de Perda de Solo.....29
2.4 Sistemas de Informações Geográficas – SIG.....33
2.5 Modelo Numérico de Terreno – MNT 33
2.5.1 Sensor ASTER 36
2.5.2 Missão SRTM.....38
2.6 Geoprocessamento na estimativa de perda de solo. 40
3 MATERIAL E MÉTODOS.....43
3.1 Descrição da área de estudo.....43
3.1.1 Clima 44
3.1.2 Relevo 45
3.1.3 Vegetação 45
3.1.4 Geologia e Material de Origem.....45
3.2 Materiais.....46
3.2.1 Mapa de Solos 46
3.2.2 Mapas Topográficos.....47
3.2.2.1 Escala 1:10000.....47
3.2.2.2 Escala 1:50000.....48
3.2.3 Modelos Numéricos de Terreno Obtidos por Sensoriamento Remoto 49
3.2.3.1 Modelo Numérico de Terreno ASTER GDEM v1.0 49

3.2.3.2 Modelo Numérico de Terreno SRTM 50
3.3 Ambiente SIG 50
3.4 Métodos 50
3.4.1 Fator Comprimento de vertente e declividade – LS 50
3.4.2 Fator Erosividade da Chuva – R 52
3.4.3 Fator Uso da Terra e Práticas Conservacionistas – C e P 53
3.4.4 Representação da rede de Drenagem ..... **Erro! Indicador não definido.**
3.4.5 Representação do Uso da Terra respeitando as Áreas de Preservação Permanente 55
3.4.6 Fator Erodibilidade do Solo – K 56
3.5 Análise Estatística 58
3.5.1 Estatística Kappa 59
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 61
4.1 Solos Reagrupado 61
4.2 Uso da Terra e simulação de Áreas de Preservação Permanentes 63
4.3 Modelos Numéricos de Terreno 67
4.3.2 Estimativa de Perda de Solo 72
4.3.2.1 Carta topográfica 1:10000 e MNT ASTER GDEM 73
4.3.2.2 Carta topográfica 1:10000 e MNT SRTM 76
4.3.2.3 Carta Topográfica 1:50000 e MNT ASTER GDEM 77
4.3.2.4 Carta Topográfica 1:50000 e MNT SRTM 79
5 CONCLUSÕES 83
REFERÊNCIAS 85
ANEXOS 95

RESUMO

Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda solo em ambiente SIG

O presente trabalho avaliou a utilização de imagens ASTER GDEM e SRTM em substituição a cartas planialtmétricas em escala 1:10000 e 1:50000 como fonte de dados altimétricos para predição de perda de solo em microbacia hidrográfica. Para tanto as imagens com os dados de topografia e demais informações foram incorporadas ao banco de dados do SPRING. Como requisito para estimar perda de solo pela Equação Universal da Perda de Solo, estabeleceu-se o uso atual da terra na microbacia hidrográfica do Ceveiro, situada no município de Piracicaba, SP. Foi constatado que a microbacia é utilizada em sua maior parte pela lavoura de cana-de-açúcar e verificou-se ainda que as áreas de preservação permanente não estão em conformidade com a lei vigente. Atualmente ocupam uma área de 196,38 hectares e se fossem restituídas passariam a ocupar 255,16 hectares a mais, perfazendo um total de 451,54 hectares.O modelo ASTER GDEM foi o que apresentou melhor concordância nas estimativas de perda de solo com os modelos de referência 1:10000 e 1:50000, segundo o valor do índice Kappa que foi de 0,32 e 0,28 respectivamente, entretanto os modelos de elevação obtidos por sensoriamento remoto, quando analisados pela exatidão do produtor e exatidão do usuário encontraram resultados discrepantes de perda de solo para a microbacia hidrográfica quando comparados aos modelos de referência

Palavras-chave: MNT; SIG; Perda de solo

ABSTRACT

Elevation models on the prediction of soil loss on a GIS environment

The present study assessed the use of the terrain elevation models ASTER GDEM and SRTM in replacement of the topographic charts on 1:10000 and 1:150000 scales, as data for predicting soil loss on small watershed basin. All the altimetry data and further information were incorporated to the GIS/SPRING. For estimating the soil erosion it was necessary to establish the actual land use for the Ceveiro Watershed basin, situated at Piracicaba, São Paulo State, Brazil and it was noted that most of the land use is for the sugar cane crop and also was observed that most of the preservation area establish by law is not present at the area. If those preservation areas were recomposed it should use 451,54 hectares against the 196,38 present nowadays. The terrain elevation model ASTER GDEM was the one that most agreed with the reference data for predicting soil loss, respectively Kappa index of 0,32 and 0,28 for the reference data 1:10000 and 1:50000. Nevertheless the user's accuracy and producer's accuracy showed that the results are discrepant when they are compared with the reference data.

Keywords: GIS; Elevation model; Soil loss prediction

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma geral do trabalho 43
Figura 2 – Limites da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro dentro do município de Piracicaba no Estado de São Paulo. 44
Figura 3 – Mapa de solo detalhado apresentado por Silva (2000). 46
Figura 4 – Representação de parte do mapa topográfico 1:10000 com as curvas de nível digitalizadas em ambiente SIG 47
Figura 5 – Representação de parte do mapa topográfico 1:50000 com as curvas de nível digitalizadas em ambiente SIG. 48
Figura 6 – Representação da rede da rede de drenagem da Microbacia do Ceveiro. 56
Figura 7 – Classes de Solos da Microbacia do Ceveiro proposto por Silva (2000), já digitalizado no SPRING. 57
Figura 8 – Representaçao de solos reagrupados da MHC com base no mapa proposto por Silva (2000). 61
Figura 9 – Representatividade de cada classe de solo em hectares para a MHC 62
Figura 10 – Representação do Uso da Terra na MHC. 63
Figura 11 – Representação do Uso da Terra na MHC se fossem respeitadas as áreas de preservação permanentes. 65
Figura 12 - Perfil em 3 dimensões dos modelos de elevação obtidos no SPRING. 68
Figura 13 – Representação da estimativa de perda de solo imagem ASTER GDEM e da carta topográfica 1:10000 75
Figura 14 – Representaçãpo da estimativa de perda de solo da imagem SRTM e da carta topográfica 1:10000 77
Figura 15 – Representação da estimativa de perda de solo da imagem ASTER GDEM e da carta topográfica 1:50000 79
Figura 16 – Representação da estimativa de perda de solo da imagem SRTM e da carta topográfica 1:50000 81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão Bertoni e Lombardi Neto (2008). 27
Tabela 2 – Número de publicações envolvendo o termo Usle e/ou Rusle..... 32
Tabela 3 – Folhas, numeração e coeficiente de deformidade dos mapas topográficos 1:10000 utilizados no trabalho. 48
Tabela 4 – Folhas, numeração das cartas 1:50000 utilizados no trabalho. 49
Tabela 5 – Integração dos fatores C e P em função das classes de uso da terra. 54
Tabela 6 – Valores do fator CP (uso da terra) utilizados no trabalho, com base no trabalho de Stein et al. (1987)..... 55
Tabela 7 – Características das fotos aéreas para composição do par estereoscópico..... 56
Tabela 8 – Valores utilizados na trabalho para erodibilidade em cada tipo de solo..... 58
Tabela 9 – Valor do índice Kappa e qualidade do mapa representado. 59
Tabela 10 – Uso da Terra em 2010 e caso fosse respeitada a lei federal 4771, artigo 2º. ... 64
Tabela 11 – Cruzamento dos Planos de informação Solos e Uso da Terra. 66
Tabela 12 – Número de pontos de elevação e características por modelo de elevação. 69
Tabela 13 – Característica dos 20 pontos utilizados para comparação dos MNTs em metros. 70
Tabela 14 – Erro Quadrático Médio para os pontos testados..... 71
Tabela 15 – Área de cada classe de declividade para cada modelo de elevação.. 71
Tabela 16 – Área para cada classe de perda de solo para os diferentes modelos..... 73
Tabela 17 – Matriz de erros para o modelo numérico de terreno da imagem ASTER GDEM, valores em pixels 74
Tabela 18 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário. 75
Tabela 19 – Matriz de erros para o modelo numérico de terreno da imagem SRTM valores em pixels..... 76
Tabela 20 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário. 76
Tabela 21 – Matriz de erros para o modelo numérico de terreno da imagem ASTER GDEM, valores em pixels..... 78
Tabela 22 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário 78
Tabela 23 – Matriz de erros para o modelo numérico de terreno da imagem ASTER GDEM valores em pixels..... 80
Tabela 24 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário 80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Características do sensor ASTER 36

Quadro 2 – Características do sensores da banda X e C, projeção e faixa da missão SRTM. 38

LISTA DE SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente

ASI – Agenzia Spaziale Italiana

ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CCD – Charged Coupled Device

DLR – Deutschen Zentrum fur Luft und Raumfahrt

EGM96 – Earth Gravitational Model

EQM – Erro Quadrático Médio

ERSDAC – Earth Remote Sensing Data Analysis Center

EUPS – Equação Universal da Perda de Solo

GDEM – Global Digital Elevation Model

HRC – High Resolution Camera

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LEGAL – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico

MHC – Microbacia Hidrográfica do Ceveiro

MIT – Massachusetts Institute of Technology

MNT – Modelo Numérico de Terreno

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NGA – Natioanal Geospatial Agency

PI – Plano de Informação

PNMH – Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica

RUSLE – Equação Universal da Perda de Solo Revisada

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SRTM – Shuttle Radar Topography Mission

UTM – Universal Transversa Mercator

1 INTRODUÇÃO

O uso inadequado do solo pode contribuir para a degradação ambiental, uma vez que permite o estabelecimento de intenso processo erosivo, causando o empobrecimento dos solos e a poluição dos recursos hídricos. Os processos erosivos são naturais, contudo o homem sem um planejamento adequado de suas ações acaba por agravar essa situação.

Para que ocorra ordenamento das atividades num determinado ambiente, é necessário que se tenha visão globalizada da área a ser trabalhada. Dessa forma informações sobre o solo, o relevo e o uso da terra são imprescindíveis. Tais dados podem ser obtidos por diferentes métodos, o que pode provocar diferenças no resultado final e a consequente perda de qualidade para dada finalidade.

A modelagem, por meio da utilização de equações empíricas de previsão de perdas de solo, vem colaborar com o uso mais sustentável da terra, pois atuam como indicadores de pontos críticos de erosão numa área. A associação de dados de precipitação, topográfico, cobertura, de solos e manejo, permitem obter informações valiosas para tomadas de decisão, de forma rápida e com baixo custo. Porém, o uso inadequado bem como a qualidade desses dados pode gerar respostas distintas que podem não condizer com a realidade.

Dados topográficos são adquiridos preferencialmente por mapas planialtimétricos em diferentes escalas, todavia, imagens por interferometria e imagens orbitais de pares estereoscópicos vêm sendo utilizadas. Cada uma dessas fontes tem suas próprias características tais como: diferentes sensores de aquisição de dados, formatos, custos e resoluções. Atualmente, a necessidade de dados para modelagem ambiental, de áreas que não possuem dados mais precisos como cartas topográficas em escalas menores, torna-se necessária a busca por fontes confiáveis de elementos para representação da morfologia da superfície.

Uma das fontes mais confiáveis de dados de altimetria são os mapas planialtimétricos do IBGE, porém nem sempre disponíveis. Dessa forma levanta-se a hipótese de utilização das imagens ASTER GDEM e SRTM como fonte de dados altimétricos para predição de erosão em microbacia hidrográfica.

O objetivo do trabalho foi comparar estimativas de perda de solo geradas a partir de diferentes modelos numéricos de terreno em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas na microbacia hidrográfica do Ceveiro.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Microbacia Hidrográfica

O Programa Nacional de Microbacia Hidrográfica – PNMH, através do decreto-lei nº 94.076, 05 de março de 1987, expandiu o uso do termo microbacia, que foi definido como sendo uma área drenada por um curso d'água e seus afluentes, a montante de uma determinada seção transversal, para a qual convergem as águas que drenam a área considerada (BRASIL, 1987).

Para Moldan e Cerny (1994) a microbacia do ponto de vista hidrológico, pode ser considerada como a menor unidade capaz de integrar todos os componentes relacionados com a qualidade e disponibilidade de água como: Atmosfera, vegetação natural, plantas cultivadas, solos, rochas subjacentes, corpos d'água e paisagem no seu entorno.

Para Botelho (1999) essa conceituação é diferente do conceito de bacia hidrográfica que é*: área da superfície terrestre drenada por um rio principal e seus tributários, sendo limitada pelos divisores de água*.

A área de uma microbacia segundo Freitas e Kerr (1996) vai depender do trabalho que se está realizando ou se pretende iniciar.

A adoção de microbacias hidrográficas como uma unidade de planejamento esta ligada a percepção de que impactos gerados nos municípios ou Estados ultrapassam os limites políticos e podem atingir a toda população dentro dos limites efetivos do impacto (SILVA et al., 2003).

Bertoni e Lombardi Neto (2008) explicam que dúvidas podem aparecer quando se está configurando uma microbacia, especialmente em relação ao ordenamento dos cursos d'água e a sua delimitação e observam que o método de se atribuir ordem 1 a cursos d'água que são diretamente ligados a nascente e segunda ordem os que surgem da confluência dos de 1ª ordem e assim por diante. Dessa forma a classificação vai facilitar o entendimento das unidades que compõem o sistema hidrográfico e seus subsistemas até que se possa chegar à unidade espacial mínima, designada de microbacia hidrográfica.

Para sua delimitação de área com finalidade de conservação de solos, Bertoni e Lombardi Neto (2008) observam que está deve ter entre 1000 e 5000 hectares

para que planos para mitigação, ou preservação ambiental possam ser desenvolvidos.

2.2 Uso da terra

As primeiras classificações de uso da terra baseavam-se em trabalhos de campo. Posteriormente, a partir de década de 50, grande número de pesquisadores em várias partes do mundo têm se dedicado à identificação detalhada de culturas agrícolas em fotografias aéreas (STEINER, 1970).

Com o advento das imagens orbitais na década de 70, o mapeamento do uso da terra em dada região, ganhava mais um importante instrumento de auxílio.

Estudos de uso da terra tornaram-se de fundamental importância para o entendimento dos padrões de organização do espaço agrícola, cada vez mais alterado pela ação do homem e pelo desenvolvimento tecnológico. Deste modo, segundo Rosa (1990) é preciso que haja a atualização constante das informações de uso solo, para que suas tendências possam ser analisadas visando subsidiar ações do planejamento regional.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto, aliado ao geoprocessamento, é uma das ferramentas mais importante para a realização dos estudos ambientais. Através do sensoriamento remoto podem ser obtidos dados de forma rápida e confiável (ROSA; BRITO 1996).

Nos principais tipos de uso do solo, conforme estudo de Bertoni e Lombardi Neto (2008), pastagens, culturas anuais e perenes tiveram diferenças significativas nas perdas de solo, em comparação com o solo protegido com mata conforme Tabela 1. Percebe-se assim a importância da atualização de estudos de uso da terra quando o objetivo é estimar a perda de solo, uma vez que o uso vai influenciar no quanto de solo é perdido.

Tabela 1 – Efeito do tipo de uso do solo sobre as perdas por erosão Bertoni e Lombardi Neto (2008)

Tipo de Uso	Perda de Solo
	Mg ha^{-1} ano^{-1}
Mata	0,004
Pastagem	0,4
Cafezal	0,9
Algodão	26,6

Christofoletti (1999) ressalta que para compreender o cenário ambiental a visão holística é fundamental para tornar o sistema em estudo uma unidade com limites definidos a fim de que se possa investigar a estrutura e o comportamento desse meio ambiente. Calijuri e Bubel (2006) relatam que a primeira etapa do planejamento é o diagnóstico da microbacia, obtidos através de sua caracterização ambiental, podendo ser definida como a área de captação do escoamento superficial que alimenta um sistema aquático.

2.2.1 Área de Preservação permanente e Reserva Legal

O Código Florestal e o Decreto Estadual de no. 50.889, de 16 de Junho de 2006 declaram que Reserva Legal é uma área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária para a sustentabilidade dos recursos naturais, a preservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e preservação da fauna e flora nativas.

Segundo medida provisória 2166-67, de 24 de Agosto de 2001, as florestas e outras formas de vegetação nativas ressalvadas as situadas em área de preservação permanente, assim como aquelas não sujeitas ao regime de utilização limitada ou objeto de legislação especifica, são suscetíveis de supressão, desde que seja mantido, a titulo de reserva legal, no mínimo: (i) – 80% (oitenta por cento), na propriedade rural situada em área de floresta localizada na Amazônia Legal; (ii) – 35% (trinta e cinco por cento), na propriedade rural situada em área de cerrado localizada na Amazônia Legal, sendo no mínimo 20% (vinte por cento) na propriedade e 15% (quinze por cento) na forma de compensação em outra área, desde que esteja localizada na mesma microbacia, e seja averbada nos termos do parágrafo 7º deste artigo; (iii) – 20% (vinte por cento), na propriedade rural situada

em área de floresta ou outras formas de vegetação nativa localizada nas demais regiões do País; e (iv) – 20% (vinte por cento), na propriedade rural em área de campos gerais localizada em qualquer região do País.

A Lei Federal 4.771/65 (Brasil, 2012), define como Área de Preservação Permanente (APP) locais onde devem ser mantidas todas as florestas e demais formas de vegetação natural.

Segundo os Artigos 2.º e 3.º dessa Lei a área protegida pode ser coberta ou não por vegetação nativa, com função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica, a biodiversidade, fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas.

A fim de regulamentar o Art. 2.º da Lei n.º 4.771/65, publicaram-se a Resolução n.º 303, de março de 2002, onde revoga a Resolução CONAMA 004, de novembro de 1985, que se referiam as Áreas de Preservação Permanente quanto ao tamanho das áreas adjacentes a recursos hídricos determinando que, em áreas de preservação permanente, para cursos d'água com menos de dez metros de largura, localizada em área rural, ainda que intermitente, deve ter raio mínimo de 30 metros, para cursos d'água com menos de dez metros de largura.

2.3 Erosão

A erosão é um processo que desagrega, transporta e deposita as partículas do solo e é causado pela água, vento e geleiras.

Galeti (1973) fala que para o Brasil o tipo mais importante de erosão é a hídrica e pode ter as formas a saber: laminar, sulcos e subterrânea. A forma laminar se da na superfície do solo e o material desagregado é transportado sem formar sulcos.

A erosão em sulcos ocorre pela concentração do escorrimento em determinados pontos formando um dreno natural. Quando a água se infiltra no perfil do solo e encontrando uma barreira impermeável correm lateralmente sobre essa camada e podem provocar desbarrancamento quando afloram nas encostas.

Para Bertoni e Lombardi Neto (2008) a água é o mais importante agente da erosão e ainda os autores afirmam que onde há água, ela está erodindo seus limites.

A erosão é um processo natural que forma e transforma o ambiente em que vivemos, é considerado um processo benéfico.

> Entretanto o homem, ao explorar o solo, destrói a vegetação protetora, rompe com o arado a superfície do terreno para semear as espécies vegetais uteis as suas necessidades de alimentação e abrigo, e submete a terra à aração periódica com as ferramentas de preparo do solo; então o processo erosivo adquire velocidade e intensidade. Bertoni e Lombardi Neto (2008, p. 73)

Portanto o homem ao acelerar o processo natural e ainda sem preservar adequadamente a cobertura natural restante da área acaba por transformar rapidamente o meio ambiente uma vez que o processo natural é bem mais lento. Desse modo à ação natural tem um caráter formativo e não destrutivo.

2.3.1 Equação de Perda de Solo

Rodríguez, Martín e GIMÉNEZ (2010) citam que provavelmente o pesquisador de solos alemão Ewold Wollny entre 1880 e 1900 foi o primeiro a iniciar estudos em erosão de solo em pequenas áreas, medindo os efeitos de cobertura vegetal do solo, da chuva, de declividade e tipo de solo.

Bertoni e Lombardi Neto (2008, p. 248) citam que “os primeiros trabalhos para desenvolver equações que avaliassem as perdas de solo na América datam de 1940, na região do Corn Belt dos Estados Unidos.”.

Durante esse período Smith (1941) acrescentou a equação de perda de solo os fatores práticas conservacionistas para a sua região de trabalho e em 1946 em Ohio nos Estados Unidos uma comissão para estudo de perda de solo adicionou o fator chuva a equação.

Browning, Parish e Glass (1947) acrescentaram os fatores erodibilidade do solo e prepararam um conjunto de tabelas para uso no campo. Zingg (1950) publicou uma equação relacionando a intensidade de perdas de solo com o comprimento e com o grau de declive do terreno. Esses trabalhos culminaram na equação de Musgrave que foi largamente empregada para estimativa de erosão em bacias hidrográficas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Ainda segundo Bertoni e Lombardi Neto (2008) em 1954 foi desenvolvida a atual Equação Universal da Perda de Solo – EUPS, baseado na análise de vários dados de perda de solo e de água disponíveis em vários locais dos Estados Unidos

e que incluíram melhorias como: Um índice de erosão de chuva, um método para avaliar os efeitos dos manejos de uma cultura com vistas às condições climáticas locais, um fator quantitativo de erodibilidade do solo e um método que interpela certas variáveis como nível de produtividade, sequencia de culturas e manejo dos resíduos. Foi possível assim a aplicação da EUPS em locais de diferentes condições climáticas e geográficas.

A Equação 1 descrita a seguir por Bertoni; Lombardi Neto (2008) foi revisada e atualizada por WISCHMEIER e SMITH[1] e sabidamente seus fatores influenciam a erosão pela chuva:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Sendo:

A = Perda de solo calculada por unidade de área, (Mg ha^{-1} ano^{-1});

R = Fator chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ ha^{-1} mm ha^{-1});

K = Fator erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico que é mantido continuadamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25 metros, (MJ ha^{-1} mm ha^{-1});

L = Fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25 m para o mesmo solo e grau de declive;

S = Fator grau de declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C = Fator uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;

P = fator prática conservacionista: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

A EUPS foi revisada e denominada de Equação Universal da Perda de Solo Revisada – RUSLE, contudo tem como base principal os mesmos dados utilizados pela equação original (RENARD et al.,1997). Foram introduzidas algumas melhorias,

[1] WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide planning. Washington, D.C., USDA, 1978. 58p. (Handbook, 537).

como uma nova maneira de calcular comprimento de rampa, passando a considerar rampas de comprimentos não uniformes, o que não ocorria na equação não revisada.

A equação universal de perda de solo foi desenvolvida para pequenas áreas, o que acarreta na divergência de resultados quando aplicada em escalas maiores, porém na escala de bacia pode ajudar no planejamento do uso da terra (WEILL et al., 1998).

Devido ao fato de que avaliações de campo não permitem constatar as áreas com maior perda de solo, a EUPS torna-se ferramenta muito útil para o estabelecimento de ações conservacionistas (MONTOLAR-SPAROVEK et al., 1999).

A EUPS para pequenas áreas compatíveis com o uso agrícola resulta na quantificação da perda de solos por erosão laminar de forma satisfatória. Contudo em escalas maiores não se pode desprezar que ao longo de todo percurso ocorrem perdas, mas também, ao mesmo tempo deposições o que não é contemplado no modelo da EUPS, portanto a equação torna-se falha para quantificar de forma adequada as perdas em escalas maiores. Entretanto, como a mesma apresenta praticamente todos os fatores envolvidos no processo de erosão laminar, ela permite avaliar qualitativamente grandes áreas, determinando os diferentes graus de susceptibilidade à erosão das regiões homogêneas identificadas (BAPTISTA, 1997).

Na Tabela 2 é possível visualizar no número de publicações realizados no mundo envolvendo o termo Usle e/ou Rusle, a pesquisa foi realizada inicialmente por Mingoti (2009) e atualizada para 2010 e 2011 na página eletrônica da ISI Web of Knowlodge em 25/10/2011.

Tabela 2 – Número de publicações envolvendo o termo Usle e/ou Rusle

Ano	Número de publicações	% do total
1982	8	2,18
1984	5	1,36
1986	2	0,54
1990	5	1,36
1991	2	0,54
1992	12	3,27
1993	14	3,81
1994	10	2,72
1995	6	1,63
1996	9	2,45
1997	9	2,45
1998	15	4,09
1999	15	4,09
2000	18	4,90
2001	10	2,72
2002	27	7,36
2003	30	8,17
2004	21	5,72
2005	33	8,99
2006	13	3,54
2007	31	8,45
2008	33	8,99
2009	12	3,27
2010	18	4,90
2011	9	2,45
Total	367	100

Nota: Adaptado de Mingotti (2009). Atualizado para 2010 e 2011

O fator LS é um dos fatores mais importante da Equação Universal de Perdas de Solo, porque influi mais na variação da erosão bruta do que qualquer outro fator, exceto fator manejo do solo (WILLIAMS e BERNDT, 1977).

Os fatores R, K, L e S são dependentes das condições naturais, enquanto os fatores C e P são relacionados as formas de uso dos solos. No entanto a amplitude de variação de cada fator na área influência, de forma diferenciada, a estimativa de erosão (WEILL, 1999).

Ainda Weill (1999) analisando os fatores da EUPS na Microbacia Hidrográfica do Ceveiro – MHC, mantendo os fatores R, C e P constantes, simulou o efeito alternado dos fatores LS e K, fixando o fator LS em sua média e estimada a perda de solo para o K mínimo e K máximo encontrado na área, fazendo-se também o contrário. A relação da perda mínima e máxima para o fator K foi 1:2 (39 Mg ha^{-1} ano^{-1} : 81 Mg ha^{-1} ano^{-1}) e para o fator LS 1:254 (0,0342 Mg ha^{-1} ano^{-1} : 163,7100 Mg ha^{-1} ano^{-1}), chegando a conclusão que o fator LS foi o fator que condicionou

maior amplitude .na variação de perdas de solo enquanto o fator K teve baixa amplitude.

2.4 Sistemas de Informações Geográficas – SIG

O SIG pode ser utilizado na criação de banco de dados e em sua administração, busca de dados, visualização de objetos georreferenciados e seus atributos não espaciais (BURROUGH; McDONNELL, 1998).

É muito dispendioso e impraticável monitorar a erosão em toda uma bacia hidrográfica. Daí a necessidade de predizer a erosão com o uso de modelagem (SILVA; MATTOS, 2001). Que pode ser feito através da utilização das ferramentas de geoprocessamento.

Desta forma, utiliza-se o SIG que, de acordo com Star e Estes (1990), é um sistema projetado para trabalhar com dados referenciados por coordenadas espaciais ou geográficas. Câmara e Medeiros (1998) comentaram que o termo SIG refere-se, portanto a sistemas que efetuam tratamento computacional de dados geográficos, armazenando a geometria e os atributos dos dados georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica qualquer.

Dainese (2001) relatou que existe grande número de SIGs que se diferenciam com relação aos tipos de estrutura de dados, modelos de banco de dados, sistemas de análise de dados e outras características.

Poesen et al. (2003) que reportaram às necessidades de pesquisas que avaliem o emprego de técnicas de monitoramento de erosão inclusive o uso de SIGs ao longo do tempo.

Rodrigues et al. (2001) ressaltam que a utilização de SIGs na confecção de mapas é vantajosa devido a rapidez, pelo conjunto de alternativas de integração dos dados de atributos e dados espaciais no processamento e manipulação da base de dados.

2.5 Modelo Numérico de Terreno – MNT

O conceito de criação de modelos numéricos para representar a superfície terrestre se deu no final dos anos 50 no Massachusetts Institute of Technology – MIT – Estados Unidos, que definiram modelagem numérica de terreno como sendo

simplesmente uma representação estatística da superfície continua do terreno por um numero grande de pontos com coordenadas X, Y e Z conhecidas dentro de um campo arbitrário de coordenadas. (MILLER; La FLAMME, 1958).

Paradella et al. (2001) apresentam outra definição para MNT como sendo uma representação digital de uma seção da superfície, através de uma matriz de pixels com coordenadas planas (x,y) e valor de intensidade do pixel correspondendo à elevação.

O MNT pode ser obtido a partir da interpolação de curvas de nível ou de pontos cotados digitalizados a partir de documentos cartográficos existentes, e também a partir de imagens capturadas por sensores orbitais ou aerotransportados.

A partir de pares estereoscópicos de imagens obtidas pelos sensores remotos que atuam no espectro óptico, a geração de MNT baseia-se nas equações de colinearidade e outros elementos presentes nos modelos matemáticos da aerofotogrametria tradicional, que utilizam o princípio da estereoscopia.

A geração de MNT a partir de imagens de sensores remotos que atuam no espectro das microondas (em especial os radares imageadores), pode também utilizar o método da estereoscopia e, ainda, outros como a clinometria, a Interferometria e a polarimetria (TOUTIN; GRAY, 2000).

Chagas et al. (2010) diz que a demanda por MNTs tem aumentado significativamente para subsidiar estudos em várias áreas da pesquisa ambiental. Contudo, diferentemente de outros países, não existe um órgão no Brasil responsável pela elaboração e normatização dos procedimentos utilizados na criação desses modelos os quais, normalmente, são produzidos pelos próprios usuários. Assim os MNTs gerados tornam-se mais uma fonte de variação na tentativa de se comparar resultados obtidos com diferentes metodologias. As fontes de dados mais comuns para geração de MNT são as curvas de nível obtidas em cartas topográficas elaboradas pelo IBGE, as quais nem sempre apresentam escalas adequadas ao trabalho desenvolvido.

Nas últimas duas décadas, diversos algoritmos têm sido empregados em módulos específicos dos sistemas de informações geográficas com a finalidade de facilitar a extração de características topográficas da superfície terrestre, a partir dos modelos digitais de elevação. As vantagens em relação aos procedimentos manuais são a maior eficiência e confiabilidade dos dados digitais obtidos (CHAVES, 2002).

Subramanian et al.(2005) enumera algumas vantagens de modelos digitais de terreno a partir de pares de imagens estereoscópicas de sensores óticos orbitais tais como: a disponibilidade de dados em nível mundial; grande cobertura de área por cena; resolução moderadamente elevada; processamento mais rápido através de pacotes computacionais sofisticados, pouco esforço manual; baixo custo de processamento e capacidade de aquisição em qualquer condição ambiental quando se trabalha com sensores ativos.

Entre os trabalhos que já empregaram dados ASTER para a obtenção de MNTs, pode ser citado o de Parma (2007), que teve como objetivo analisar a aplicabilidade do modelo para Cartografia, o de Godoy e Diáz (2007), para o estudo da Geomorfologia, o de Melgaço et al. (2005), que comparou MNTs extraídos a partir de dados ASTER e SRTM, e o de Oliveira (2005), que comparou a adequação dos MNTs gerados a partir de imagens ASTER, RADARSAT-1 e SRTM aos padrões de exatidão cartográfica estabelecidos pela legislação nacional. Seus resultados apontaram para a adequação dos MNT ASTER à exatidão recomendada para a escala 1:100000.

Almeida Filho et al. (2005) estudaram a integração de dados SRTM com imagens orbitais multiespectrais do sensor Kahle et al. (1991), para o estudo da Serra da Cangalha, localizado na divisa entre os estados de Tocantins e Maranhão. De acordo com os autores, o uso de imagens multiespectrais de alta resolução aliadas a modelos de elevação melhoram significativamente a interpretação estrutural de áreas geologicamente complexas.

Grohmann et al. (2007) realizaram uma avaliação do uso dos MNTs SRTM em geomorfologia e morfotectônica, na área do Maciço Alcalino de Poços de Caldas (MG). Foram considerados os parâmetros declividade, orientação de vertentes, rugosidade de relevo e superfícies de base. Como conclusão geral, verificou-se que os modelos SRTM possuem nível de detalhe suficiente para se trabalhar em escalas de até 1:50000.

Neves et al. (2008) concluíram em um trabalho sobre a aplicação de imagens do radar interferométrico (SRTM) na avaliação da fragilidade da bacia do córrego cachoeirinha, nos municípios de Cáceres e Porto Estrela/MT a viabilidade de uso das imagens do radar interferométrico (SRTM) na operacionalização da USLE, tendo como ponto favorável a praticidade e a minimização de custos e tempo na execução dos trabalhos e pelos produtos gerados a partir do SRTM apresentarem maior

detalhamento em relação aos gerados pelo MNT (carta topográfica) para grandes áreas.

Silva Junior e Fuckner (2010) em um trabalho sobre a avaliação da correlação entre MNT ASTER e carta topográfica para a região de Marabá – PA concluem que com o advento de sensores a bordo de satélite de maior resolução espacial como o ASTER, houve um enriquecimento para trabalhos que necessitem de maior detalhamento, por exemplo, na análise de áreas urbanas e também discutem que e a vantagem dos dados ASTER em relação a dados como os das cartas topográficas e outros dados espaciais como o SRTM está na maior resolução espacial.

2.5.1 Sensor ASTER

A missão é uma ação conjunta dos governos dos Estados Unidos e Japão. O instrumento ASTER está a bordo do satélite Terra que faz parte do Sistema de Observação da Terra (Earth Observing System - EOS) e transporta, também, outros quatro sensores, MODIS, MOPIT, MISR e CERES.

O instrumento ASTER capta dados em alta resolução espacial em 14 bandas que podem ser vistas no Quadro 1. Seu espectro vai do visível até infravermelho termal e ainda disponibiliza visão estereoscópica para geração de MNTs.

Subsistema	**Banda**	**Intervalo Espectral**	**Resolução Espacial**	**Níveis de Quantização**
VNIR	1	0,52 – 0,60	15 m	8 bits
	2	0,63 – 0,69		
	3N*	0,78 – 0,86		
	3B*	0,78 – 0,86		
SWIR	4	1.600 – 1.700	30 m	8 bits
	5	2.145 – 2.185		
	6	2.185 – 2.225		
	7	2.235 – 2.285		
	8	2.295 – 2.365		
	9	2.360 – 2.430		
TIR	10	8.125 – 8.475	90 m	12 bits
	11	8.475 – 8.825		
	12	8.925 – 9.275		
	13	10.25 – 10.95		
	14	10.95 – 11.65		
Largura de faixa			60 Km	

Quadro 1 – Características do sensor ASTER.
Nota: *3N = visada no Nadir; 3B = visada inclinada.

O Earth Remote Sensing Data Analysis Center – ERSDAC geraram e avaliaram DEM do ASTER em três regiões do Japão, para a altimetria e planimetria.

Foram utilizados pontos de controle cujas coordenadas foram coletadas com GPS para avaliar a precisão dos MNTs. Os valores de EQM alcançados variaram de 4,6 a 12,1 metros em planimetria e 2,1 e 4,8 metros em altimetria.

O ASTER GDEM Validation Team (2009) descreve que a metodologia utilizada para produzir o Modelo Digital de Elevação Global – GDEM envolveu o tratamento de 1,5 milhão de cenas do arquivo ASTER, incluindo a formação do par estéreo para produzir 1.264.118 cenas individuais. Realizaram-se processamentos visando remover os ruídos causados por nuvens e anomalias residuais. O ASTER GDEM cobre a faixa compreendida entre 83° norte e 8 3° sul, abrangendo 99% da superfície terrestre, maior que a faixa abrangida pelo SRTM. Está no formato GeoTIFF com coordenadas geográficas e resolução de 1 arco-segundo (±30 metros) e referênciado ao geoide Earth Gravitational Model – EGM96. A precisão global estimada foi de 20m na vertical e de 30m na horizontal, com 95% de confiança.

Hirano et al (2003) em um trabalho que analisou a possibilidade de geração de MNT com imagens nível 1B do ASTER para quatro localidades a saber: (1) Monte Fuji, (2) Cordilheira dos Andes, (3) San Bernadino – Califórnia – Estados Unidos e (4) Huntsville – Alabama – Estados Unidos, concluíram que com a utilização de imagens de boa qualidade, softwares especializados e pontos de controle adequados, é possível obter resultados de RMSE altimétrico entre 7 e 15 metros, e que os produtos ASTER podem ser utilizados para mapeamento de áreas de relevo montanhoso em escalas entre 1:50.000 e 1:100.000.

Zocolotti Filho e Centeno (2004) em estudo realizado sobre a qualidade de informações altimétricas geradas pelo sensor ASTER para a região de Matinhos e Guaratuba no litoral do Paraná, observaram que há regiões em que a altitude poderia ser representada na escala 1:25000, mas se o mapa abrangesse toda a imagem, teria que ser representada na escala 1:100000, pois a qualidade do MNT em regiões com muita variação do relevo não permite escalas maiores o que torna representação de mapas dependente da região a ser estudada.

2.5.2 Missão SRTM

A missão SRTM – Shuttle Radar Topography Mission foi uma cooperação entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration) e NGA (Agência Nacional de Inteligencia Geoespacial), com participação das agências espaciais da Alemanha (DLR – Deutschen Zentrum für Luft - und Raumfahrt) e Itália (ASI - Agenzia Spaziale Italiana) (Bamler, 1999).

O ônibus espacial Endeavour, veículo utilizado para a missão, foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2000 para uma órbita de 233 km de altitude e com inclinação de 57°. Durante a missão foram completadas 176 órbitas das quais 159 foram utilizadas para mapeamento. Entre os dias 11 e 22 de fevereiro de 2000, a missão SRTM coletou dados através de um SAR Interferométrico (InSAR), para as latitudes 60°N e 56°S (NASA, 2011 [2]).

A missão gerou um MNT de cobertura global com resoluções de 1 e 3 arco-segundos (Rabus et. al, 2003), conforme Quadro 2. Duas antenas foram utilizadas: SIR-C (Estados Unidos) e X-SAR (Alemanha/Itália). O sistema utilizou os comprimentos de onda (λ) de 6,0 cm para a banda C e 3,1 cm para a banda X (Koch et al., 2002).

Sensor	**Resolução**	**Pixel**
Banda X	1 arc segundo	30 metros
Banda C	3 arc segundo	90 metros
	30 arc segundo	1 Km
Projeção	UTM	
Faixa	185 Km	

Quadro 2 – Características dos sensores da banda X e C, projeção e faixa da missão SRTM

Koch et al. (2002), compararam um conjunto de dados de elevação da missão SRTM banda X (ITED-2) com dados de referência de uma área situada ao sul de Hannover (Alemanha). A área testada compreende 2.500 Km^2 e foram calculadas as diferenças entre um MNT de referência com o MNT SRTM apenas em áreas sem vegetação e construções. Como resultado, verificou-se um erro médio de 2,6 metros e desvio padrão de 3,3 metros.

De acordo com Valeriano (2004) é valido lembrar que existem algumas características inerentes aos dados gerados pelo SRTM: os dados brutos podem

[2] NASA, National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory, disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html> Acesso em 26/10/2011.

conter vãos, picos extremamente altos ou extremamente baixos; corpos d'águas e linhas costeiras podem-se apresentar mal definidas.

Jarvis et al. (2004) estudando o uso prático de dados SRTM para região tropical mas especificamente no Equador, Colombia e Honduras argumentaram que os dados da missão SRTM disponibilizam dados altimétricos melhores quando comparados com cartas topográficas de baixa qualidade e outros produtos utilizados em seu estudo. Ainda concluem que se somente cartas topográficas com escalas superiores a 1:25000 estão disponíveis para determinada região, então a opção a favor dos dados SRTM deve ser feita, com a ressalva de que em regiões com bastante declive os dados SRTM podem não representar a superfície de forma adequada devido a sua resolução de 90 metros.

Os dados SRTM abrangem grande parte do território brasileiro e foram mapeados em escalas bem pequenas, utilizando o sistema RADARSAT-1. Neste aspecto, os modelos gerados a partir do SRTM são a melhor informação gratuita já disponibilizada (PINTO, 2008)

Segundo Higa et al. (2006), os dados do SRTM podem chegar a escalas de até 1:30000, entretanto Silva e Candeias (2006) indicam como escala máxima de trabalho 1:100000, levando em consideração as diferentes metodologias que foram adotadas.

Barros et al. (2005) mostraram que para a Bacia do Rio Paraguai, os dados da missão SRTM atendem o PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica (BRASIL, 1984 e 2005) nas escalas 1:30000 para a Classe "A", 1:25000 para a Classe "B" e 1:20000 para Classe "C". Porém, concluíram que o uso de dados SRTM não deve ser feito indiscriminadamente, uma vez que apresentam imperfeições que não os qualificam para trabalhos que exijam maior rigor na topografia da superfície e ainda tais dados não substituiriam o uso das curvas de nível presentes nas cartas topográficas.

Araújo (2006) trabalhando com dados SRTM para modelagem de erosão em microbacias através de geoprocessamento concluiu que os dados da missão SRTM, banda C, puderam ampliar a inserção de sensoriamento remoto na aplicação da EUPS como fonte de dados para delimitação de bacias, traçado de redes de drenagem, estimativa do fator LS e refinamento dos dados pedológicos, em substituição a mapeamentos de disponibilidade e detalhamentos restritos e ainda os

dados SRTM permitiram a estimativa do comprimento de rampa por geoprocessamento e seu ajuste.

2.6 Geoprocessamento na estimativa de perda de solo

A aplicação de modelos de erosão, assim com a equação universal da perda de solo, pode ser efetuada com a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que possibilita a obtenção de resultados na forma de mapas com a distribuição espacial da estimativa da perda de solo da região estudada. Para se chegar a este resultado é necessária a produção dos Planos de Informação – PI de cada fator da equação para serem manipulados através de sobreposição (WANG et al., 2003).

O geoprocessamento é uma técnica que se utiliza de artifícios matemáticos e computacionais para o tratamento da informação geográfica, sendo utilizado em diversas áreas como análise de recursos naturais, comunicação, cartografia, transportes, energia e planejamento urbano e regional. Os algoritmos utilizados permitem analises complexas; integrando dados de diversas fontes ao criar bancos de dados georreferenciados (CÂMARA; DAVIS, 2001).

Trabalhos realizadas por Donzeli et al. (1992) e Ranieri et al. (1998), para elaborar mapas de risco de erosão nas microbacias hidrográficas do córrego São Joaquim (Pirassununga, SP) e no ribeirão dos Marins (Piracicaba, SP), respectivamente, mostraram que o uso dessa ferramenta possibilita rapidez, integração dos dados e simulação de cenários. No entanto, Ranieri et al. (1998) apontaram a falta de confiabilidade dos PI de entrada utilizados em seu estudo, sobretudo o fator topográfico, como fator limitante à qualidade dos resultados.

Foram as ferramentas de geoprocessamento que permitiram Fiorio et al. (2000) avaliar a cronologia do uso da terra na MHC identificar e avaliar a evolução no seu uso e estimar a perda de solo para a microbacia.

Alves (2000) estimou a perda de solo na bacia do Rio São Bartolomeu – DF e para isso utilizou a EUPS que foi modelada em ambiente SIG. No trabalho foi utilizado o sistema SPRING e observou que se cada um dos parâmetros da EUPS tivesse que ser estimado de forma tradicional representaria uma limitação quando se tratasse de grandes áreas. Nesse contexto as técnicas de geoprocessamento

aparecem como ferramentas alternativas para que este tipo de análise possa ser feita em tempo e custos menores para escalas regionais.

Tomazoni et al. (2005) modelaram a EUPS no ambiente SIG, através do sistema SPRING com a finalidade de quantificar a erosão laminar na microbacia hidrográfica do rio Anta Gorda – PR e concluíram que o uso do sistema de informações geográficas mostrou-se uma ferramenta de grande eficiência no que concerne à caracterização das áreas em seus aspectos físicos e na quantificação da erosão laminar.

Ainda mais recentemente Mingoti (2009) estimando a produção de sedimentos em microbacias hidrográficas concluiu que a utilização de ambiente SIG para modelagem da Equação da Perda de Solo Revisada – RUSLE foi necessária e de fundamental importância pela rapidez e facilidade com que permitiu a aquisição, manipulação e integração de dados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para se realizar o presente estudo, as etapas foram desdobradas de forma individual, conforme fluxograma geral de trabalho, Figura 1.

A descrição detalhada de cada método foi realizada no item 3.4.

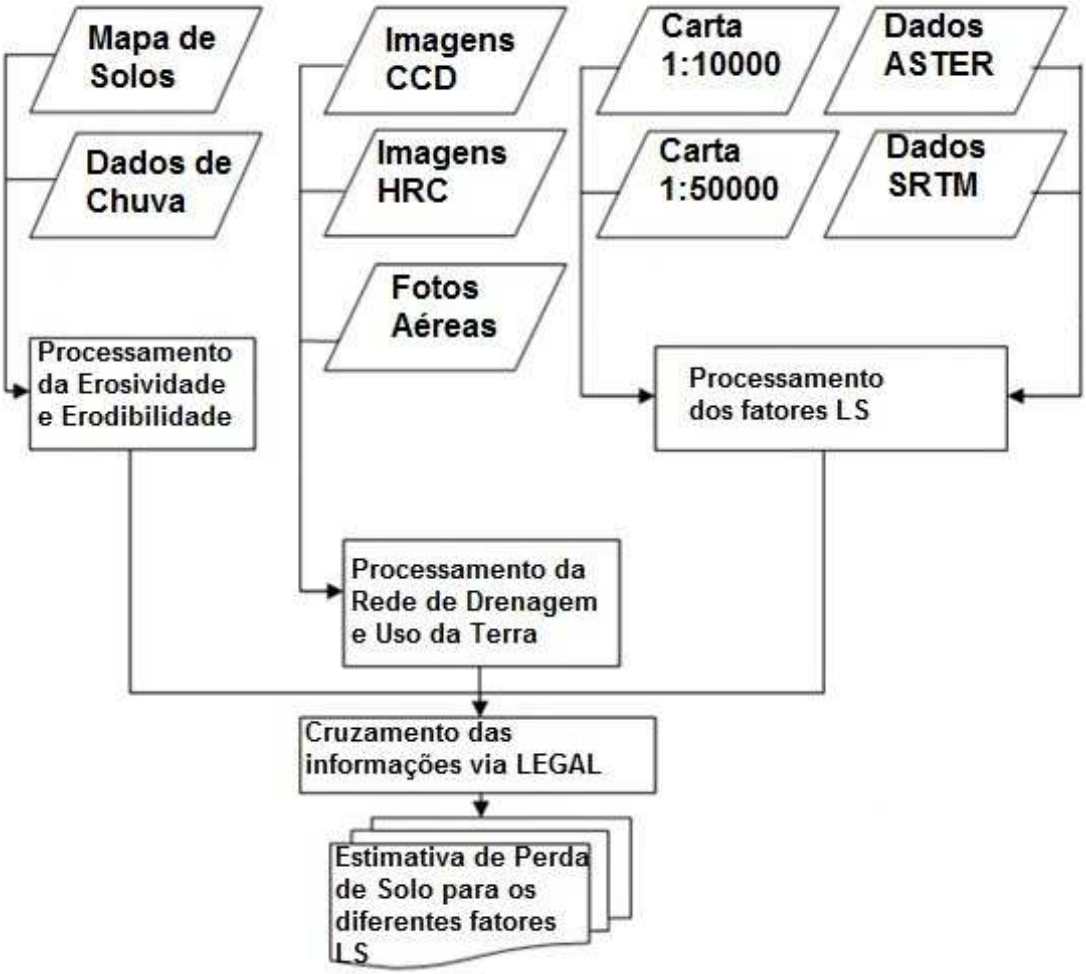

Figura 1 – Fluxograma geral do trabalho

As linhas de código de programação em Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico – LEGAL utilizadas no estudo podem ser vistas no anexo D.

3.1 Descrição da área de estudo

A microbacia hidrográfica do Ceveiro – MHC possui área de 1973,30 hectares, está situada entre as coordenadas (22º37’00” S, 47º43’00” O) e (22º40’00”

S, 47º47’00” O) no município de Piracicaba, SP, conforme pode ser visto na Figura 2.

A MHC é limitada a montante pela Vila de Santana e a jusante pelo distrito de Ártemis.

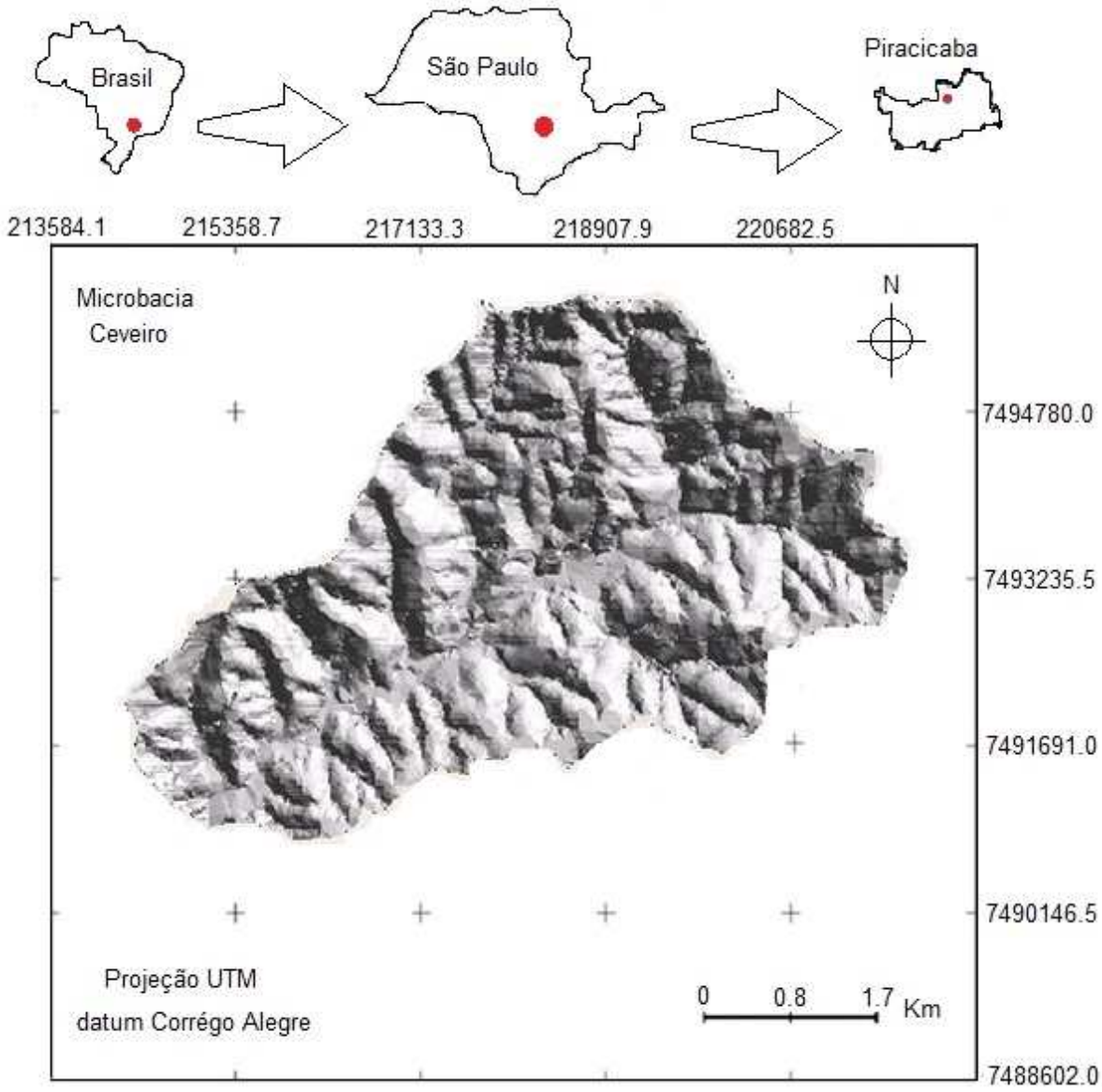

Figura 2 – Limites da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro dentro do município de Piracicaba no estado de São Paulo

3.1.1 Clima

O clima da região é o Cwa segundo Köppen, definido como mesotérmico subtropical com inverno seco e verão chuvoso, temperaturas do mês mais quente superior a 22ºC e a do mês mais frio não excede 18ºC. As chuvas concentram-se

nos meses de outubro a março, apresentando precipitação média anual de 1250 mm e o período seco de abril a setembro.

3.1.2 Relevo

O relevo na MHC caracteriza-se por apresentar morros em cotas variando entre 460 e 580 m de altitude, com classes de relevo ondulado. A declividade predominante nas encostas é de 10 a 15% e nos topos de 5%. As áreas com declividades menores que 2% se encontram em pequenas várzeas e topos de alguns morros, constituindo menos de 5% da área total (FIORIO, 1998).

3.1.3 Vegetação

A vegetação original é do tipo Floresta estacional semidecidual, nas margens dos cursos d'água. Atualmente é praticamente inexistente, estando restrita a algumas partes da rede de drenagem que compõem o Córrego do Ceveiro e nas partes mais íngremes do relevo (FIORIO, 1998).

3.1.4 Geologia e Material de Origem

A MHC está inserida na bacia do Paraná e apresenta coluna estratigráfica representada por sedimentos do Grupo São Bento e Grupo Passa Dois (IPT, 1981). As rochas encontradas são: arenitos da Formação Pirambóia e intrusivas básicas da Formação Serra Geral, ambas do Grupo São Bento e por siltitos, argilitos e folhelhos da Formação Corumbataí do Grupo Passa Dois.

As rochas da Formação Corumbataí, dão origem a cerca de 67% dos solos da bacia que ocorrem, principalmente, as margens do Ceveiro e ao lado esquerdo da bacia (sentido de observação montante à jusante). Nos topos, à direita da bacia, encontram-se, com mais frequência, os solos originados da Formação Pirambóia. A Formação Serra Geral, constituída por intrusões básicas, ocorre com maior intensidade na cabeceira da bacia, recobrindo a Formação Pirambóia (FIORIO, 1998).

3.2 Materiais

3.2.1 Mapa de Solos

O mapa de solo para a MHC foi o apresentado por Silva (2000) o qual é considerado o mapa de solo mais detalhado para a MHC.

Segundo Silva (2000) a MHC possui 8 ordens: ALISSOLOS, ARGISSOLOS, LUVISSOLOS, NITOSSOLOS, CHERNOSSOLOS, CAMBISSOLOS, NEOSSOLOS e GLEISSOLOS, com a representação cartográfica conforme Figura 3.

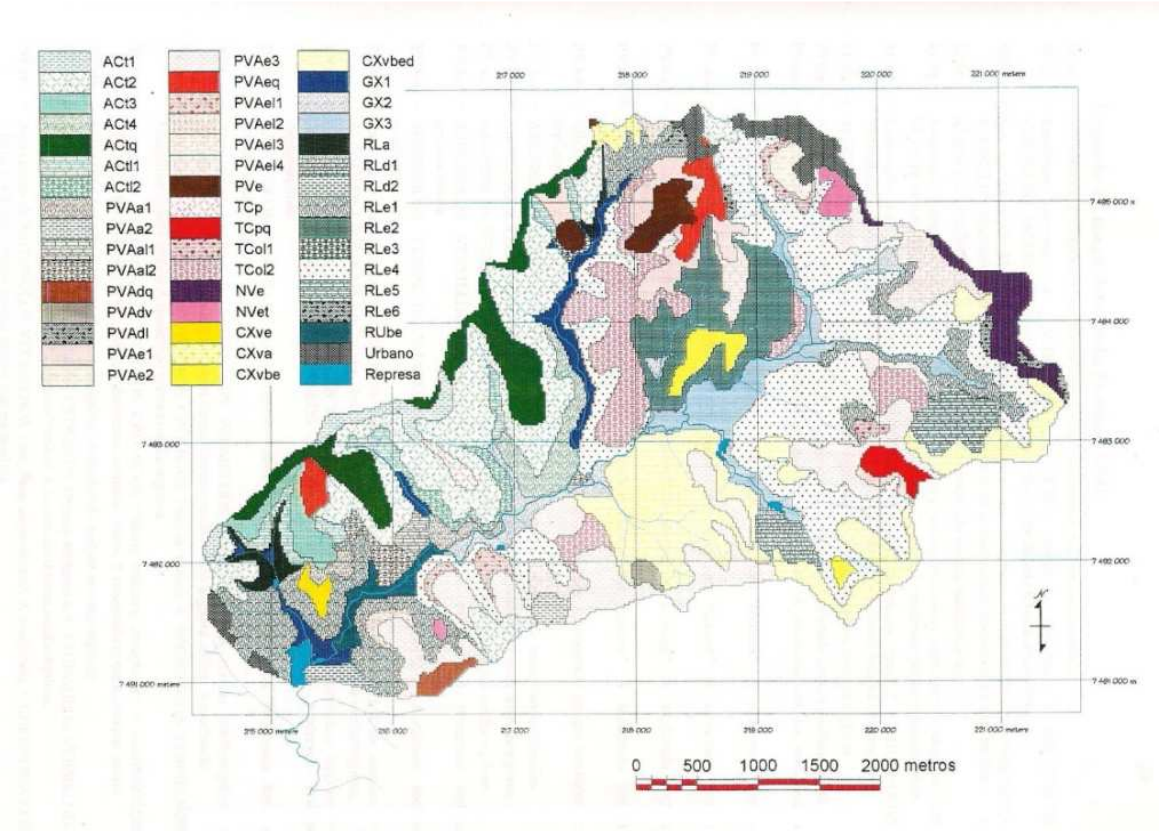

Figura 3 – Ilustração do mapa de solo detalhado apresentado por Silva (2000)

3.2.2 Mapas Topográficos

3.2.2.1 Escala 1:10000

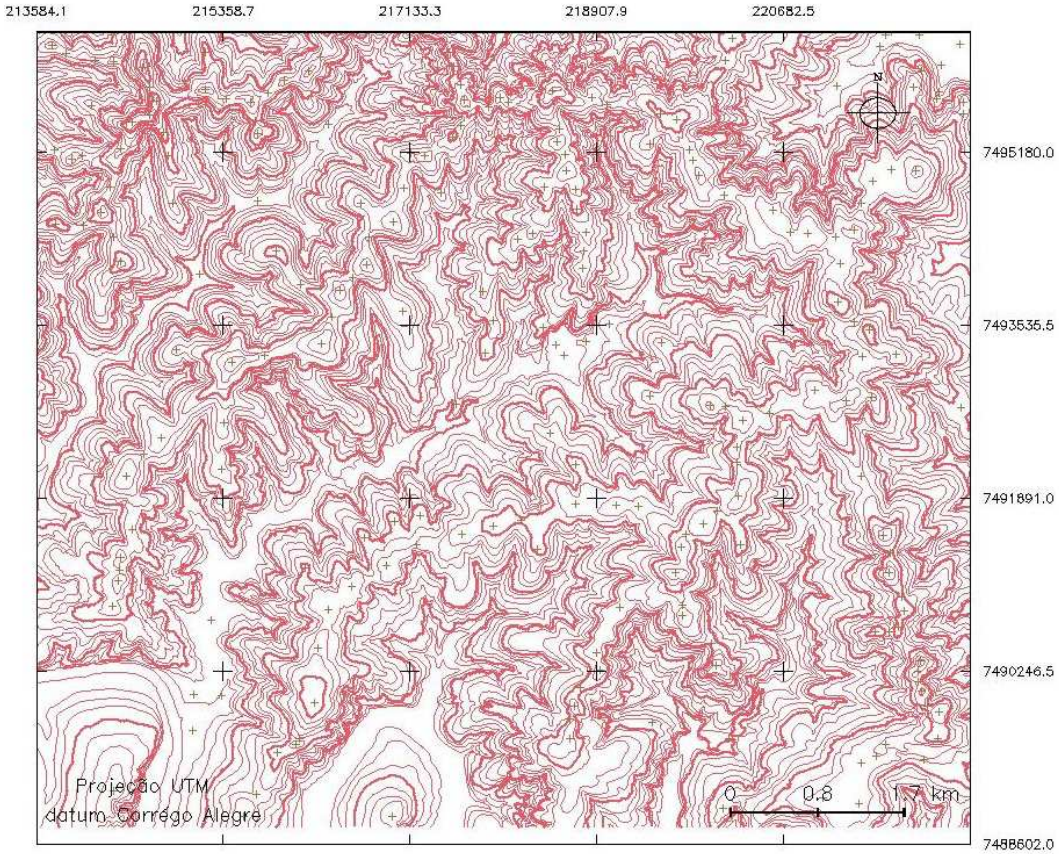

Figura 4 – Representação de parte do Mapa topográfico 1:10000 com as curvas de nível digitalizadas em ambiente SIG

Foram utilizados no trabalho os seis mapas topográficos 1:10000 do Plano Geográfico do Estado de São Paulo elaborados pela divisão de geografia da Coordenadoria de Ação Regional da Secretaria de Economia e Planejamento do Governo de São Paulo.

Os planos foram confeccionados a partir de levantamentos aerofotogramétricos realizados pela *TerraFoto S.A. Atividades de Aerolevantamentos* em 1978, com reambulação em campo entre 1978 e 1979.

As curvas de nível são equidistantes em 5 metros. A projeção utilizada é a Universal Transversa Mercator – UTM, referência horizontal é a de Córrego Alegre, MG e referência vertical do Marégrafo de Imbituba, SC.

Para que a área toda da MHC fosse visualizada e também pudessem ser observadas as curvas de nível fora dos limites da microbacia para uma melhor

interpolação, foram necessárias seis cartas 1:10000, conforme indicação da Tabela 3.

Tabela 3 – Folhas, numeração e coeficiente de deformidade dos mapas topográficos 1:10000 utilizados no trabalho

Folha	Numeração
Estância do Lago Azul	SF-23-Y-A-IV-1-SE-B
Ártemis	SF-23-Y-A-IV-1-SE-D
Córrego das Onças	SF-23-Y-A-IV-2-SO-A
Vila Olímpia	SF-23-Y-A-IV-2-NO-E
Ribeirão do Limoeiro	SF-23-Y-A-IV-1-NE-F
Santa Terezinha do Piracicaba	SF-23-Y-A-IV-2-SO-C

3.2.2.2 Escala 1:50000

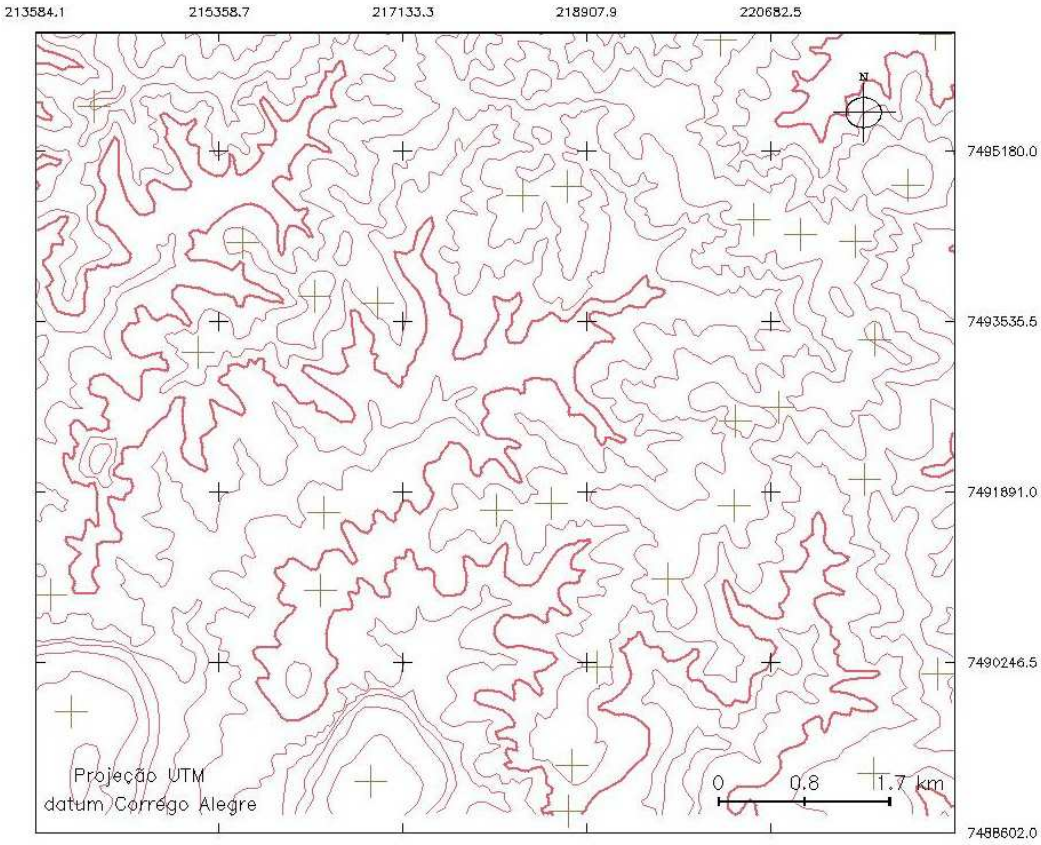

Figura 5 – Representação de parte do Mapa topográfico 1:50000 com as curvas de nível digitalizadas em ambiente SIG.

Foram utilizados no trabalho dois mapas topográficos 1:50000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, folhas SF-23-M-III-1 e SF-23-M-III-2.

Os mapas foram confeccionados a partir de levantamentos estereofotogramétricos topográfico regular realizado pela VASP AEROFOTOGRAMETRIA S.A. 1965, com reambulação, restituição e triangulação em campo em 1969.

As curvas de nível são equidistantes em 20 metros. A projeção utilizada é a Universal Transversa Mercator – UTM, referência horizontal é a de Córrego Alegre, MG e referência vertical do Marégrafo de Imbituba, SC.

A Tabela 4 indica os mapas topográficos utilizados com seus nomes e numeração.

Tabela 4 – Folhas, numeração das cartas 1:50000 utilizados no trabalho

Folha	Numeração
São Pedro	SF-23-M-III-1
Piracicaba	SF-23-M-III-2

3.2.3 Modelos Numéricos de Terreno Obtidos por Sensoriamento Remoto

3.2.3.1 Modelo Numérico de Terreno ASTER GDEM v1.0

O MNT do ASTER (GDEM) v1.0 possui resolução espacial de 30 metros ao nível de 95% de confiança tendo erro vertical de 16 e 18 metros quando calculados sobre o Japão e Estados Unidos, respectivamente, conforme aponta o relatório de validação do produto ASTER GDEM v1.0[3]. A cena ASTER onde se localiza a MHC foi obtida na página eletrônica Earth Remote Sensing Data Analysis Center – ERSDAC disponível em <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp>.

O GDEM v1.0 do ASTER é georreferenciado no sistema Datum WGS84, projeção geoidal EGM96.

A cena do modelo numérico utilizado da missão ASTER foi a ASTGTM_S23W048_dem, que foram obtidas por coordenadas da área em estudo.

[3] Disponível em <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/ASTER_GDEM_Validation_Summary_Report> Acesso em 03/11/2011.

3.2.3.2 Modelo Numérico de Terreno SRTM

O MNT SRTM foi obtido na página eletrônica da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA unidade Monitoramento por Satélite disponível em <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/index.htm>. São fornecidos em formato GeoTiff (16 bits) com resolução espacial de 90 metros, unidades de altitude em metros, sistema de coordenadas geográficas e Datum WGS-84 (MIRANDA, 2005).

A cena da missão SRTM utilizada foi a SF-23-Y-A.

3.3 Ambiente SIG

Todas as etapas do trabalho foram desenvolvidas dentro de apenas um SIG, para que fosse possível maior controle sobre os erros que eventualmente poderiam ocorrer, quando se trabalha com mais de um programa computacional e que operam em diferentes formatos de arquivos e algoritmos para tarefas como a interpolação.

SPRING (CÂMARA et al., 1996) é um SIG (Sistema de Informações Geográficas) no estado da arte com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

3.4 Métodos

3.4.1 Fator Comprimento de vertente e declividade – LS

O fator comprimento de rampa – L e o fator declividade – S aparecem associados, representados pela variável LS. Essa associação pode ser feita por meio da Equação 2 desenvolvida por Bertoni para a cidade de Campinas, mas se que adéqua bem ás condições brasileiras (BAPTISTA, 1997).

$$LS = 0.00984 \times L^{0,63} \times S^{1,18} \qquad (2)$$

Sendo:

L = Comprimento de rampa, em metros;

S = Fator declividade em porcentagem.

O comprimento de rampa – L foi gerado a partir da função Mapa de distância do SPRING. Foram considerados os cursos de água do mapa de drenagem. Dessa maneira comprimento de rampa foi calculado considerando que dentro de uma mesma vertente, dependendo da direção preferencial do fluxo, ocorrem simultaneamente processos de erosão e deposição, conforme Stein (1987). Como resultado foi gerado uma grade de distância com resolução de 2,5 m.

O fator declividade foi obtido através da função Declividade do SPRING. A declividade foi derivada a partir das grades topográficas da região do Ceveiro. Neste trabalho as grades foram obtidas das curvas de nível processadas das diferentes fontes de dados (Cartas topográficas 1:10000, 1:50000, modelo SRTM e modelo Aster). Após essa etapa foi realizado o fatiamento da grade declividade (obtida em porcentagem) para geração do PI das classes de declividade, definidas a cada 5% iniciando do zero e finalizando na classe >45.

Para as grades derivadas do modelo SRTM e ASTER GDEM foram geradas as curvas de nível de 20 e 5 metros respectivamente através da opção Geração de Isolinhas do SPRING. A partir das curvas de níveis, tanto as derivadas da digitalização das cartas topográficas como as dos MNTs ASTER e SRTM foi gerado uma grade triangular irregular (Triangular Irregular Network – TIN).

Com as grades TIN de todas as fontes de altitude, foi utilizada a função do SPRING para geração de grade retangular para cada um dos planos de informação das fontes altimétricas. Ao final do processo foram obtidas quatro grades numéricas com resolução espacial de 2,5 metros que representam a declividade em porcentagem do terreno segundo as características de cada fonte de dado topográfico

Posteriormente integrou-se a declividade com o comprimento da vertente via linguagem LEGAL.

Como resultado obteve-se grades numéricas de fator LS para cada uma das fontes de altitude de categoria numérica e resolução espacial de 2,5 metros.

3.4.2 Fator Erosividade da Chuva – R

Foram utilizados dados do posto meteorológico de Piracicaba – SP pertencentes à base de dados da estação convencional do Departamento de Engenharia de Biossistemas – USP/ESALQ. A série de dados compreendeu a 93 anos, (1917 até 2010), seu resumo consta no anexo A.

Os dados pluviométricos foram trabalhados em planilha eletrônica, onde os dados de cada mês puderam ser agrupados e somados para cálculo das médias e aplicação da fórmula. Os valores de ‘P’ foram obtidos através do somatório dos valores de ‘r’ e assim calculou-se o EI_{30} mensal da série

A Equação 3 foi utilizada para determinação do valor médio do índice de erosividade por meio da relação entre a média mensal e a média anual de precipitação:

$$EI_{30} = 67{,}355 \times \left(\frac{r^2}{P}\right)^{0{,}85} \quad (3)$$

Sendo:

EI30 = média mensal do índice de erosividade, em MJ.mm $(ha.h)^{-1}$;

r = média do total mensal de precipitação, em mm;

P = média do total anual de precipitação, em mm.

Para determinação do fator R, somou-se o resultado dos valores mensais do índice de erosividade, conforme Equação 4:

$$R = \sum_{j=1}^{12} EI_{30j} \quad (4)$$

O valor do fator R encontrado foi 6378,04 MJ mm $(ha\ h)^{-1}$, os cálculos podem ser vistos no anexo B. Esse valor foi atribuído a toda região da microbacia do Ceveiro através da linguagem LEGAL. O resultado foi um PI de categoria grade numérica com resolução espacial de 2,5 metros.

3.4.3 Fator Uso da Terra e Práticas Conservacionistas – C e P

Os fatores uso-manejo afetam as perdas por erosão devido às variações na proteção ao solo que os diferentes tipos de cobertura vegetal e estádios de desenvolvimento desses conferem.

Conforme o uso da terra estabelecido pelo mapa de uso em 2010, serão obtidos os valores de CP integrados em literatura para o cálculo da EUPS.

A integração dos fatores C e P conforme seu grupo e categoria pode ser vista na Tabela 5, esses valores são os sugeridos por Stein et al. (1987) para a utilização em estimativas de perda de solo através de ambiente SIG.

Para obtenção do mapa de uso atual da terra foram utilizadas imagens CCD e HRC do sensor CBERS 2B. Em seguida foram registradas e foi utilizada primeiramente a função restauração para que as imagens CCD ficassem com resolução 2,5 metros, iguais a imagem HRC. A transformação é o processo pelo qual as imagens se fundem e assim tornam-se imagens com resolução 2,5 metros com composição colorida. As técnicas de fusão possibilitam integrar a melhor resolução espacial da banda pancromática com a melhor resolução espectral das demais bandas, produzindo imagens coloridas que reúnem ambas as características. A técnica utilizada é a IHS, presente no SPRING pela função Transformação.

Tabela 5 – Integração dos fatores C e P em função das classes de uso da terra.

Grupos	Categoria	Valores de CP
1. Vegetação de porte alto a médio, cobertura total do terreno	1a) Floresta	0,00004
	1b) Vegetação Secundária	0,00004
	1c) Cerradão	0,00004
	1d) Reflorestamento	0,00010
2. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura total do terreno	2a) Cobertura residual	0,00070
	2b) Cerrado	0,00070
	2c) Cultura permanente	0,02000
	2d) Cana-de-açúcar	0,05000
3. Vegetação de porte médio a baixo, cobertura parcial do terreno	3a) Cobertura residual	0,25000
	3b) Cultura perene	0,25000
4. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura total do terreno	4a) Cobertura residual	0,01000
	4b) Pastagem	0,02000
	4c) Cultura temporária	0,01000
	4d) Campo cerrado	0,01000
	4e) Campo natural	0,01000
5. Vegetação de porte baixo a rasteiro, cobertura parcial do terreno	5a) Cobertura residual	0,01000
	5b) Pastagem	0,01000
	5c) Cultura temporária	0,20000
6. Ocupações naturais diversas	6a) Várzea	0,00000
	6b) Espelho d'água	0,00000
7. Ocupações antrópicas diversas	7a) Área urbana	0,00000
	7b) Estrada	0,00000

Fonte: *Stein et al.* (1987).

No presente estudo foram utilizadas as bandas 1, 2 e 3 do sensor CCD e ainda fotografias aéreas de 2005. Foram feitas duas campanhas em campo para verificação dos resultados do mapa final de uso da terra.

As cenas do sensor CCD foram de 02 de fevereiro de 2010: CBERS_2B_CCD2XS_20100202_155_125_L2_BAND1, CBERS_2B_CCD1XS_20100202_155_125_L2_BAND2 e CBERS_2B_CCD1XS_20100202_155_125_L2_BAND3, respectivamente bandas 1, 2 e 3.

A cena do sensor HRC foi 02 de fevereiro de 2010: CBERS_2B_HRC_20100202_155_A_125_5_L2_BAND1.

Após o reconhecimento dos diferentes usos da terra e visitas a campo foi criada uma categoria Temática com o PI contendo o uso atual da terra. Prosseguiu-se para a criação de uma nova categoria de modelo numérico e por meio da linguagem LEGAL foram atribuídos valores CP, como indicado na Tabela 6, para cada uso da terra.

Tabela 6 – Valores do fator CP (uso da terra) utilizados no trabalho, com base no trabalho de Stein et al. (1987)

Uso	Fator CP
Urbano	0,00000
Corpos d'água	0,00000
Reflorestamento	0,00010
Cana-de-açúcar	0,05000
Mata	0,00004
Pasto	0,12000
Pasto Sujo	0,25000

O resultado dessa etapa é uma grade numérica de resolução 2,5 metros.

3.4.4 Representação da rede de drenagem

A rede de drenagem foi obtida a partir da fotointerpretação das fotografias aéreas da região da MHC, obtidas em 2005 (Tabela 7). Com o auxílio de estereoscópico de espelho e técnicas de sobreposição a rede de drenagem foi sendo identificada e desenhada em folhas de acetato de 0,10 milímetros, com pontos de controle que serviram para registro posterior no SIG.

Finalizada essa etapa, as folhas com a rede de drenagem copiada foram transferidas para formato digital através de scanner, importada e registrada no sistema SPRING, e suas feições digitalizadas. Gerou-se, assim, um PI Drenagem dentro da categoria Temático com resolução 2,5 metros, representado na Figura 6.

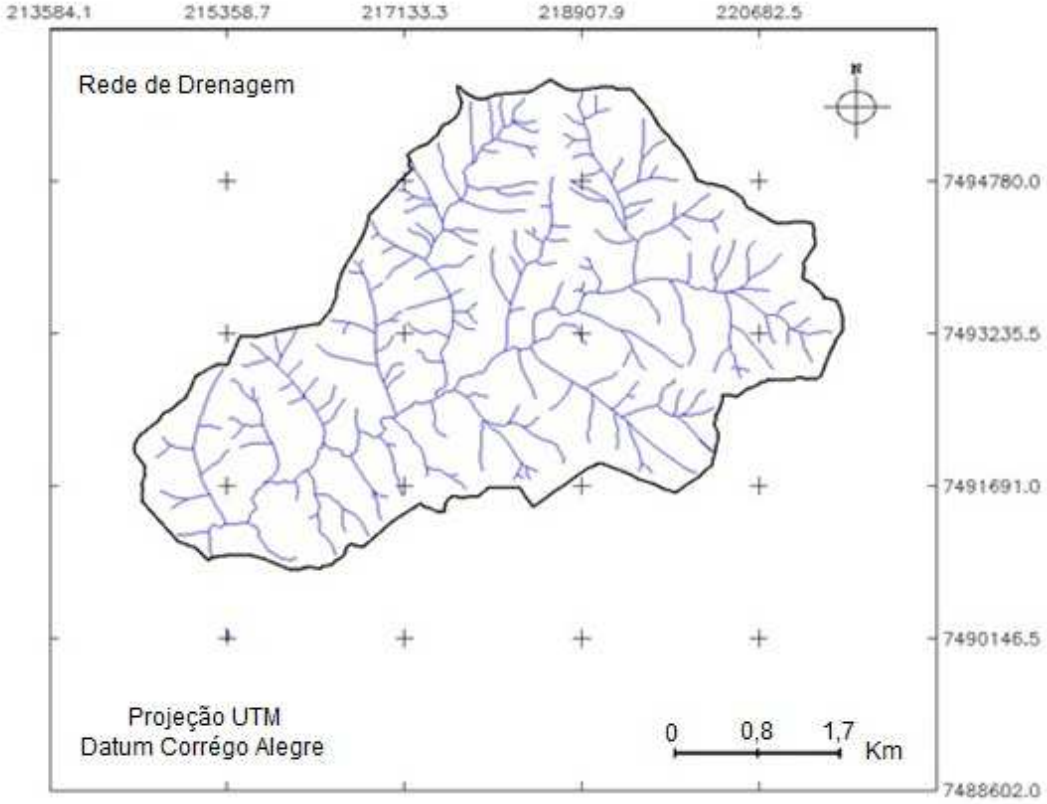

Figura 6 – Representação da rede da rede de drenagem da Microbacia do Ceveiro

Tabela 7 – Características das fotos aéreas para composição do par estereoscópico

Foto	Faixa	Escala
9384	29ª	1:30000
9385	29ª	1:30000
9386	29ª	1:30000
9387	29ª	1:30000

3.4.5 Representação do Uso da Terra respeitando as Áreas de Preservação Permanente

Foi realizado também um estudo sobre como ficaria composta e disposta a microbacia do Ceveiro caso a Lei Federal 4.771/65 fosse respeitada no que concerne às áreas de preservação permanente. Como não se conhece a malha de propriedades da região, não é possível identificar as áreas de reserva legal, que pela Lei federal 4.771/65 teria que ser 20% de cada propriedade.

Para a composição das áreas de APP regulamentar foi criado pela função Mapa de Distância do SPRING um “buffer” de 30 metros de cada canal da rede de

drenagem. O espaçamento de 30 metros é utilizado em toda a microbacia que não possui canais maiores que 10 metros, conforme a lei vigente.

Após essa etapa foi feita a edição, através da função Edição Matricial do SPRING tendo como referência o PI criado pela função de Mapa de Distância.

3.4.6 Fator Erodibilidade do Solo – K

O fator erodibilidade dos solos foi baseado no mapa de solo sugerido por Silva (2000) conforme já citado acima, e foram atribuídos os valores para cada classe de solos reagrupada.

O mapa de solos proposto por Silva (2000) foi inicialmente passado para o formato digital por meio de digitalização, o arquivo resultante salvo em formato .TIFF foi importado para o sistema SPRING, através do módulo IMPIMA presente no pacote SIG SPRING que converte o arquivo para o formato .SPG, então prosseguiu-se para o seu registro e posterior digitalização, o que gerou um plano de informação dentro da categoria Temático. O PI possui resolução 2,5 metros. O mapa temático resultante pode ser observado na Figura 7.

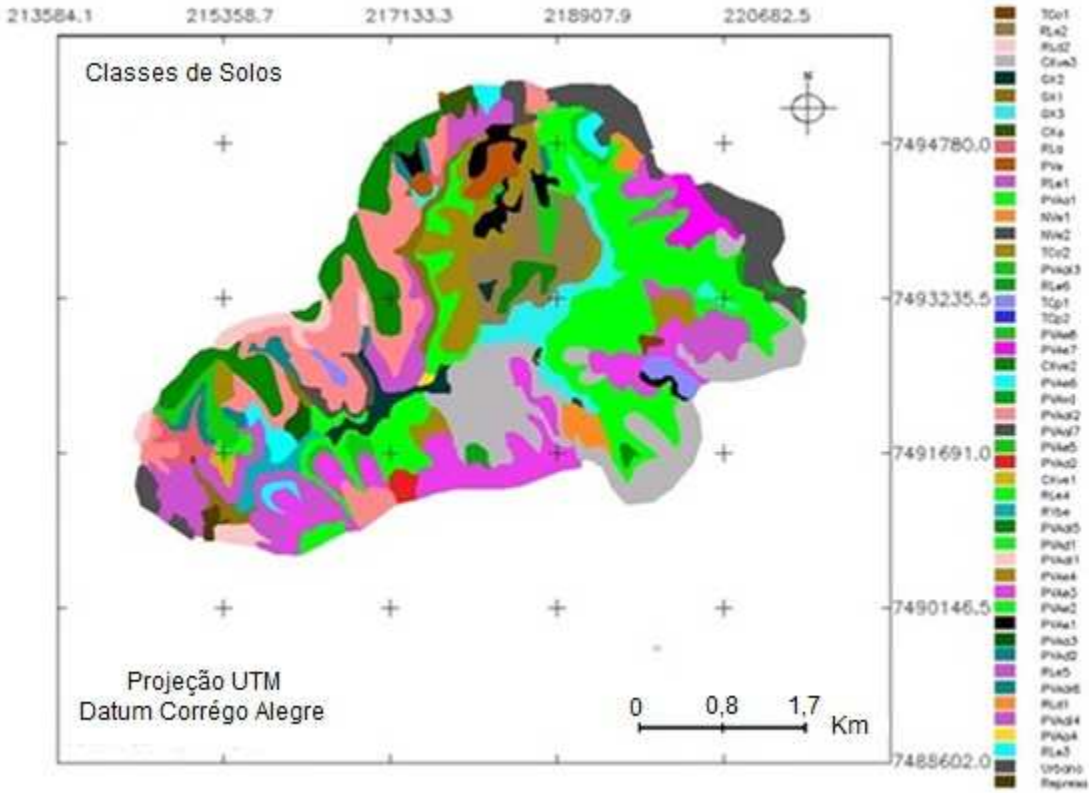

Figura 7 – Classes de Solos da Microbacia do Ceveiro proposto por Silva (2000), já digitalizado no SPRING

Após a etapa de digitalização, foi criada uma nova categoria dentro do SPRING na categoria numérica e então por meio da linguagem LEGAL foi atribuído um novo PI em formato grade onde constam os valores de referência de erodibilidade para cada região da MHC com resolução 2,5 metros. Para atribuição dos valores de erodibilidade para cada tipo de solo, utilizaram-se os valores de acordo com os respectivos trabalhos observados na Tabela 8.

Tabela 8 – Valores utilizados na trabalho para erodibilidade em cada tipo de solo

Tipo de Solo	Valor Erodibilidade	Autor
Argissolo Vermelho Amarelo	0,0340	Silva et al. (2009)
Luvissolo	0,0420	Silva et al. (2009)
Neossolo Litólico	0,0460	Silva et al. (2009)
Nitossolo Vermelho eutrofico	0,0204	Denardin (1990)
Cambissolo Háplico	0,0379	Denardin (1990)
Argissolo Vermelho	0,0440	Lanzanova (2009)
Luvissolo Crômico	0.0350	Denardin (1990)
Neossolo Litólico	0,0400	Ribeiro e Alves (2008)

3.5 Análise Estatística

O presente estudo utilizou a o índice Kappa para verificar os mapas temáticos de estimativa de perda de solo gerados pela utilização dos diferentes modelos de elevação. Escolheu-se o Índice Kappa, para avaliar a exatidão temática por ele ser mais sensível as variações de erros de omissão e inclusão (COHEN, 1960). Sua grande vantagem é que para o seu cálculo não se incluem somente os elementos da diagonal principal e sim todos os elementos da matriz de erro (MOREIRA, 2001). A matriz de confusão tem sido reconhecida como a mais importante técnica de estimativa da exatidão de produtos de dados de sensores remotos (STORY e CONGALTON,1986); (SKIDMORE e TURNER, 1989).

A matriz de confusão é composta pela quantidade de pixels que foram incluídos indevidamente em uma classe, sendo este erro denominado de inclusão. Esta matriz também apresenta os pixels que foram excluídos erroneamente de uma classe, ou seja, pixels que deveriam pertencer a outra classe, esse erro é conhecido como erro de omissão.

Na análise dos planos de informação para modelos de elevação, utilizou-se erro quadrado médio, que segundo Wise (2000) é o método normal para se qualificar modelos de elevação.

3.5.1 Estatística Kappa

O valor do índice Kappa permite analisar comparativamente os resultados da análise dos mapas resultantes da utilização de dados de sensoriamento remoto, dentro de certas restrições (LANDIS e KOCH,1977). A descrição da qualidade pode ser observada na Tabela 9.

Tabela 9 – Valor do índice Kappa e qualidade do mapa representado

Valor Kappa	Qualidade do Mapa Temático
< 0,00	Péssima
0,00 - 0,20	Ruim
0,20 - 0,40	Razoável
0,40 - 0,60	Boa
0,60 - 0,80	Muito Boa
0,80 - 1,00	Excelente

O índice Kappa é uma análise multivariada discreta e segundo Congalton e Green (2008) é calculado da seguinte forma, Equação 5:

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2} \tag{5}$$

Sendo:

$$\theta_1 = \frac{\sum_{i-1}^{r} x_{ij}}{N} \tag{6}$$

$$\theta_2 = \frac{\sum_{i=1}^{r} x_{i+} * x_{+j}}{N^2} \tag{7}$$

x = número de observações na linha i e coluna j da diagonal principal;
i+ x e j x+ = os totais marginais da linha i e da coluna j, respectivamente;
N = número total de observações da matriz de erros.

Quando se realiza estatística Kappa deve ser feito um teste de hipóteses para indicar se o mapa que está sendo validado mostrou um resultado melhor que uma classificação randômica. Nesse caso utilizou-se o valor de Z tabelado de 1,96, portando quando o Z calculado for maior que este valor, rejeita-se a hipótese de que K é igual a 0 (H_0: K=0) e aceita-se a hipótese 1 (H_1:K≠0) e assim o mapa validado é estatisticamente diferente de 0, sendo melhor que uma classificação randômica em 95%.

3.5.2 Erro Quadrático Médio

O erro quadrático médio – EQM, conforme observa-se na Equação 8 é encontrado quando se processa amostras de altitudes de uma fonte confiável com amostras estimadas por outras fontes.

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\mathrm{d_i^2})}{\mathrm{n}}} \tag{8}$$

Sendo:

D= Diferença de altitude entre as fontes em um ponto.

n= número de pontos.

A fonte de altitudes confiável foi proposta como sendo a proveniente da carta topográfica 1:10000, devido ao maior grau de detalhamento. As outras fontes de dados para altitudes foram os obtidos da carta topográfica 1:50000, MNT ASTER e SRTM. Ao final foram comparados 20 pontos escolhidos aleatoriamente de cada mapa de elevação para composição da EQM, anexo C.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Solos Reagrupado

A reclassificação do mapa de solos para utilização em ambiente SIG foi realizada para que fossem atribuídos os valores de erodibilidade. Utilizando a linguagem de programação LEGAL, como resultado pode-se observar o mapa da Figura 8.

A técnica de reclassificação já foi utilizadas em trabalhos anteriores como o de Brito et al. (1998) quando utilizaram o artifício para estimar as perdas de solo utilizando geoprocessamento em Iraí, Minas Gerais. Fiorio et al. (2000) também utilizaram o reagrupamento de solos em ambiente SIG quando estimaram as perdas de solo, avaliaram a cronologia do uso da terra e seu impacto na MHC.

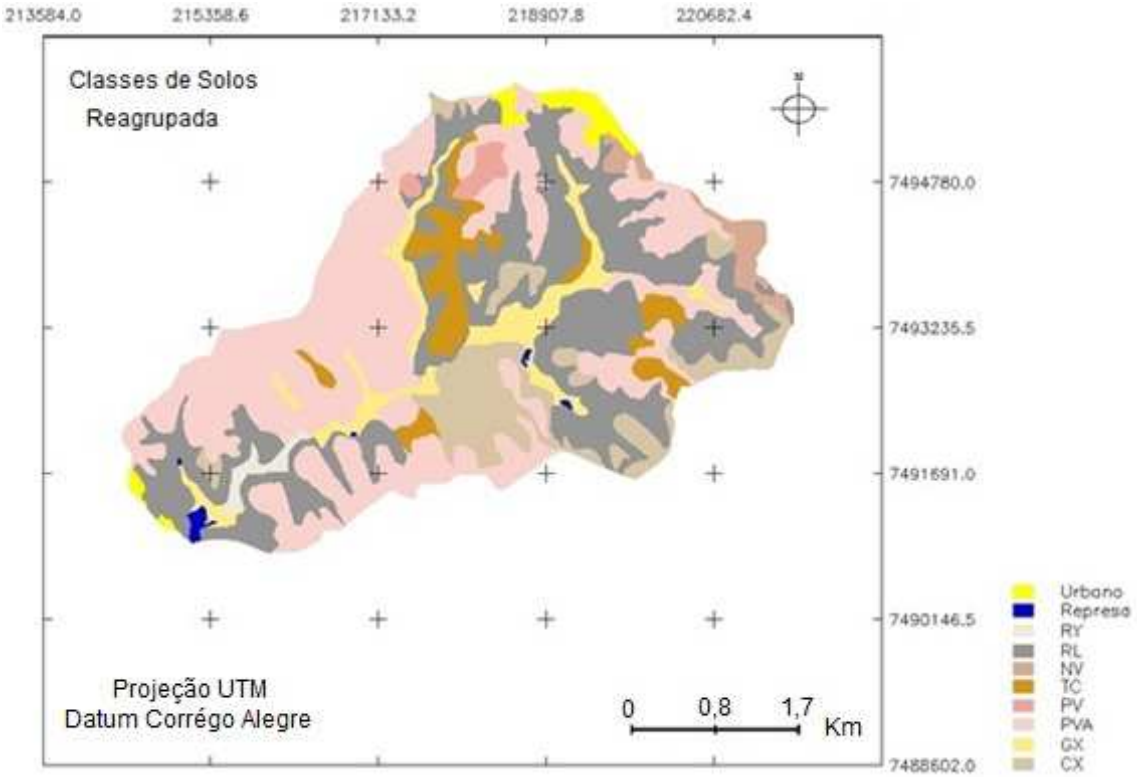

Figura 8 – Representação de solos reagrupados da MHC com base no mapa proposto por Silva (2000)

Alves (2000) utilizou o artifício de reagrupar os solos em grandes grupos e ainda criou uma rotina em LEGAL para atribuição de valores de erodibilidade dos solos para cada grande grupo quando estimava a perda de solo no Distrito Federal

através de técnicas de geoprocessamento. A mesma metodologia empregada no presente trabalho.

Tomazoni e Guimarães (2005) quando sistematizaram os fatores da EUPS para estimar a erosão no sudoeste do Paraná fizeram igualmente uso da linguagem LEGAL para atribuição dos valores de erodibilidade para cada grupo de solos da região de estudo.

A ponderação foi realizada para cada grupo de solo já reclassificados em grandes grupos como observado na figura 9 e foi atribuído um valor de erodibilidade já propostos por diversos autores em trabalhos anteriores.

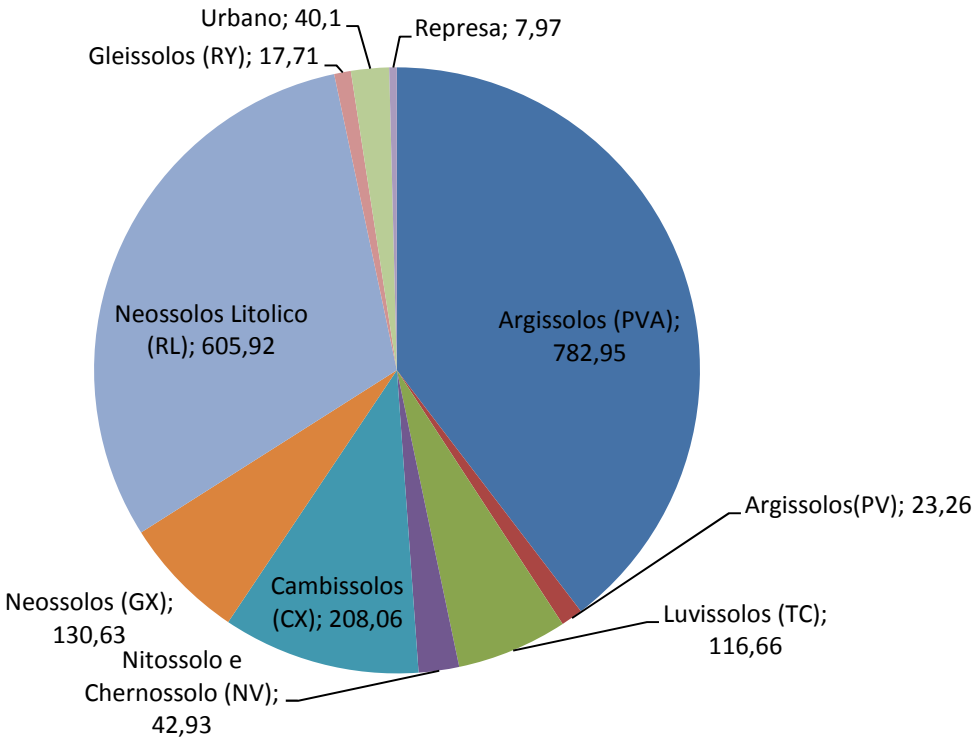

Figura 9 – Representatividade de cada classe de solo em hectares para a MHC

Observando-se a Figura 9 nota-se que o grupo de solo mais representativo da área são os Argissolos com 782,95 ha, seguido dos Neossolos Litólicos e Cambissolos que se estendem por 605,92 ha. Os dois grupos juntos recobrem 70,38% da MHC.

Os Argissolos são solos mais velhos e geralmente mais profundos, em contrapartida a associação Neossolos Litólicos e Cambissolos representam solos mais novos. Os Neossolos Litólicos são bem rasos (< 50 cm) e frequentemente sobre topografia acidentada. Já os Cambissolos apresentam um maior grau de

desenvolvimento. Os Argissolos, antigos Podzólicos, possuem um horizonte de classificação textural, há uma diferença entre a quantidade de argila no sentido da superfície para baixo (Resende et al, 2007).

Os Argissolos tornam-se solos que requerem maior cuidado devido a sua diferença de permeabilidade entre os horizontes o que pode significar excesso de escoamento quando houver muita chuva na região, esse característica já foi citada por outros autores, seguem-se Dechen et al. (2004); Bertoni e Lombardi Neto (2008).

4.2 Uso da Terra e Simulação de Áreas de Preservação Permanentes

Na Figura 10 nota-se que a área de piscicultura, corpos d'água e vinhaça representam as menores porções do uso da terra, com respectivamente 0,46, 3,07 e 0,22 hectares o que lhes conferem uma representatividade de 0,19% da área total da microbacia do Ceveiro conforme o uso da terra em 2010.

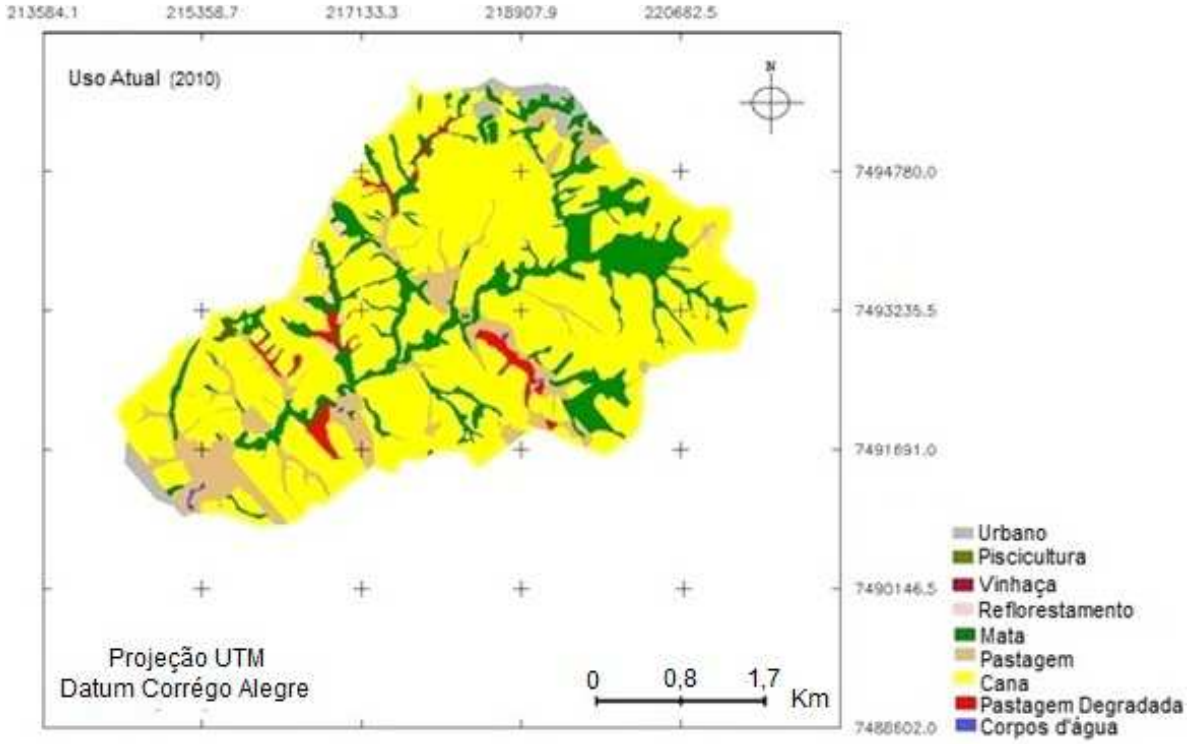

Figura 10 – Representação do uso da terra na MHC

A maior porção (67,89%) da MHC está sendo utilizada para lavoura de cana-de-açúcar, pastagens e mata, sendo que, esta última categoria, também inclui as

áreas de preservação permanente. A área com plantio de cana foi estimada em 1340,25 hectares, pastagem representam 217,68 hectares e mata 119,48 hectares.

Pastagens degradadas, área urbana e utilizada com reflorestamento compõem o restante da MHC, com 40,51, 40,18 e 15,82 hectares (Tabela 10).

Tabela 10 – Uso da Terra em 2010 e caso fosse respeitada a lei federal 4771, artigo 2º

Uso da Terra	Uso Atual	APP respeitada	Diferença (%)
	Área (hectares)		
Cana	1340,25	1199,75	10,48
Urbano	40,18	36,59	8,93
Pastagem	217,68	136,94	37,09
Mata	119,48	119.48	0,00
Pastagem degradada	40,51	15,46	61,84
Corpos d'água	3,07	3,07	0,00
Reflorestamento	15,82	13,52	14,54
Vinhaça	0,22	0,22	0,00
Piscicultura	0,46	0,46	0,00
APPlei	196,38	451,54	129,93
Total das classes	1974,05	1974,05	0,00

O resultado para área de cana-de-açúcar se manteve semelhante a 1995. Conforme Fiorio et al. (2000) a área de lavoura canavieira era de 1319,64 hectares. Ainda considerando o trabalho de Fiorio et al. (2000) pode-se notar que área urbana passou de 36,16 ha em 1995 para os 40,18 hectares em 2010.

A simulação de como deveriam estar disposta e composta a MHC, segundo o código florestal em vigor, está representada na Figura 11.

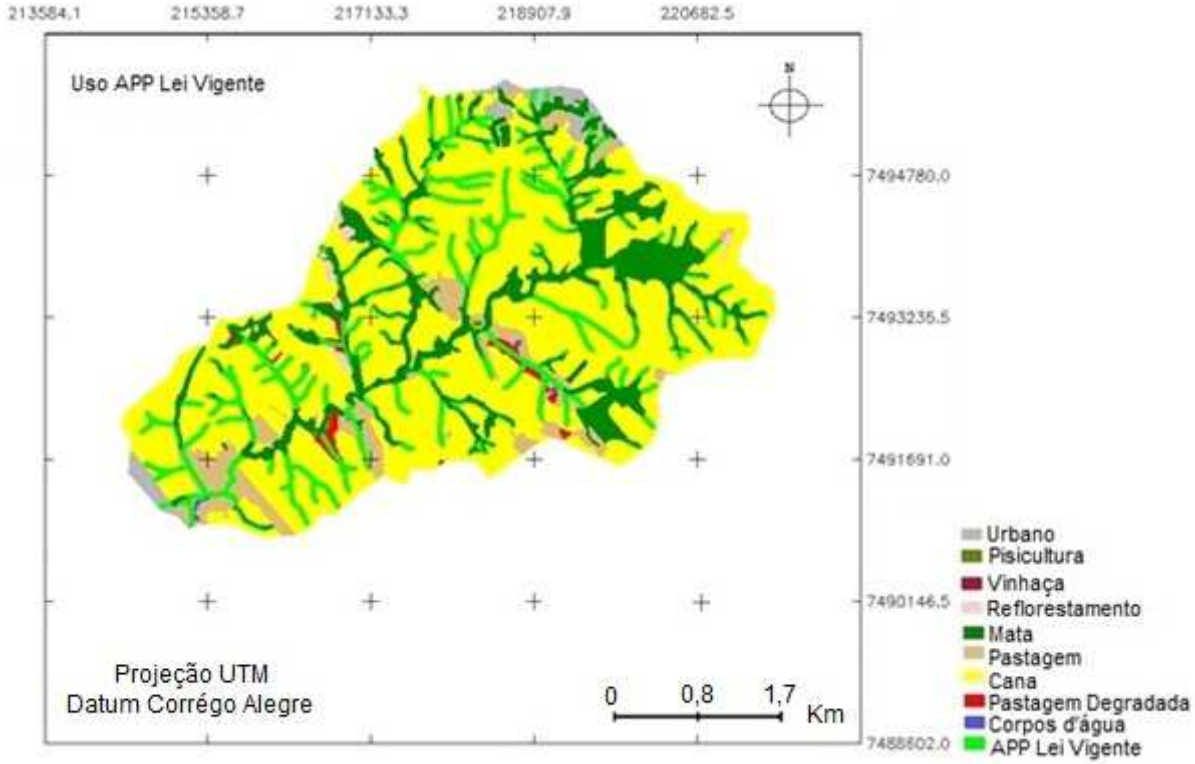

Figura 11 – Representação do Uso da Terra na MHC se fossem respeitadas as áreas de preservação permanentes

As áreas de APPs recompostas seriam de 255,16 hectares caso a lei vigente fosse respeitada.

As áreas de preservação permanente ocupariam uma área de 451,54 hectares, contra os 196,38 segundo o uso da terra em 2010. Caso as APPs fossem restituídas, as categorias que mais perderiam extensão seriam: as pastagens degradadas (25,05 hectares) e pastagem (80,74 hectares), com 61,84% e 37,09%.

A lavoura de cana-de-açúcar teria maior perda de área em termos absolutos, perderia 140,50 hectares, que atualmente estão sendo ocupadas indevidamente e que representam 7,2 % da MHC.

Com base nos dados de Stein et al. (1987) o fator CP, parâmetro utilizado na EUPS para estimar perda de solo, a classe de cana-de-açúcar é de 0,05, sendo mais baixo que pastagem e pastagem degrada, respectivamente 0,12 e 0,25 o que contribuiria para que a estimativa de perda de solo nesses usos fosse menor.

Deve-se ressaltar que no local de estudo não foram constatadas outras formas de APPs, apenas as referentes a margens de canais de drenagem com menos de 10 metros de largura.

Em um trabalho de análise temporal dos processos erosivos em uma microbacia hidrográfica Rodrigues et al. 2011 observaram que a mudança de cobertura vegetal para a cultura de cana-de-açúcar em detrimento da cultura de citros e goiaba pode ter ocasionado mudanças nas práticas agrícolas e proporcionado maior revolvimento do solo e a sua consequente perda nos processos erosivos mais acentuados o mesmo pode ser observado na microbacia do Ceveiro.

Os autores também ressaltam que áreas de vegetação nativa ao redor de algumas nascentes permitem maior proteção dos impactos das gotas da chuva no solo. Entretanto, ainda se verificaram, nos trabalhos em campo, sulcos ocasionais nos períodos de maior precipitação.

Moro (2005), simulando diversos cenários e avaliando a produção de sedimentos na bacia hidrográfica do ribeirão do Marins, afluente do Rio Piracicaba, verificou que quando predomina a cultura de cana-de-açúcar a produção de sedimentos é maior do que quando predomina mata nativa, indicando a importância da preservação de áreas florestadas naturalmente.

A Tabela 11 é o resultado do cruzamento dos mapas de uso da terra em 2010 e as classes de solos reagrupadas.

Tabela 11 – Cruzamento dos Planos de informação Solos e Uso da Terra

Uso da Terra	PVA	PV	TC	NV	CX	GX	RL	RY
	(Hectares)							
Cana	613,94	22,29	99,53	32,68	166,19	37,65	363,42	2,323
Urbano	4,11	0	0	0	0	0	8,82	0
Pastagem	41,16	0	12,63	7,21	154,96	34,97	91,24	8,02
Mata	93,33	0,95	4,31	1,28	21,64	46,28	133,1	7,36
Pastagem Degradada	16,04	0,01	0,18	0	4,24	10,23	9,13	0
Corpos d´água	0	0	0	0	0	1	0,19	0
Reflorestamento	14,05	0	0	1,74	0	0,02	0	0
Vinhaça	0,22	0	0	0	0	0	0	0
Pisicultura	0	0	0	0	0	0,46	0	0
Total	782,85	23,25	116,7	42,91	347,03	130,6	605,9	17,7

A Tabela 11 indica que as áreas de pastagens estão sobre as classes de Cambissolos em 154,96 hectares e Neossolos Litólicos em 91,24 hectares.

A cultura de cana-de-açúcar ocupa 613,94 hectares da classe de solo Argissolos, que representa 78,42% do total dessa classe de solo. A segunda classe com maior uso pela lavoura canavieira são os Neossolos Litólicos com 363,42

hectares. Esses valores encontrados corroboram com Fiorio et al. (2000). Os solos Litólicos e os Argissolos são altamente suscetíveis à erosão, nesse sentido Flores (1995) o considera como classes de solos mais adequadas para áreas de preservação.

Sparovek e Lepsch (1995) consideram que áreas com solos Litólicos são restritivas ao cultivo de cana-de-açúcar, apesar disso os 363,42 hectares ou 59,98% dessa categoria estão sendo utilizadas pela de cultura de cana-de-açúcar e isso pode ser explicado pela grande extensão da área de solos Litólicos na MHC, uma vez que ela é a segunda categoria mais representativa na microbacia.

Na MHC a maior área da categoria Mata 133,1 hectares estão em solos Litólicos, o que como discutido anteriormente vem a contribuir para a menor produção de sedimentos. A segunda classe de solo mais utilizada pela Mata na MHC são os Argissolos que é a maior classe de solo da MHC.

Deve-se observar que a restituição de APPs em propriedades pequenas pode inviabilizar a sua manutenção, mesmo assim os benefícios ambientais em longo prazo são maiores que os prejuízos em curto prazo que pequenas propriedades podem sofrer como concluído por Klunk et al 2011 estudando a implementação de áreas de APPs em propriedades bananicultoras em Santa Catarina, os autores propõem um bônus ou valoração financeira para compensar o beneficio ambiental para toda sociedade que a recomposição de APPs irá gerar.

4.3 Modelos Numéricos de Terreno

A Figura12 mostra o perfil em três dimensões dos MNTs. Por essa representação percebe-se que o modelo originado da carta 1:10000 possui um maior nível de detalhamento das drenagens que fica nítido na observação da cavidade geomorfológica donde se situa o córrego do Ceveiro, que aparece melhor definido na imagem. Ainda nas representações em três dimensões pode-se notar que o perfil originado do MNT 1:10000 é o que possui a melhor distribuição entre os intervalos de altitudes, em toda MHC, já o perfil originado do produto ASTER é o que apresenta a menor distribuição entre as altitudes, pela legenda da Figura 12 percebe-se que este MNT indicou mais pontos com altitudes entre 483 e 588 metros.

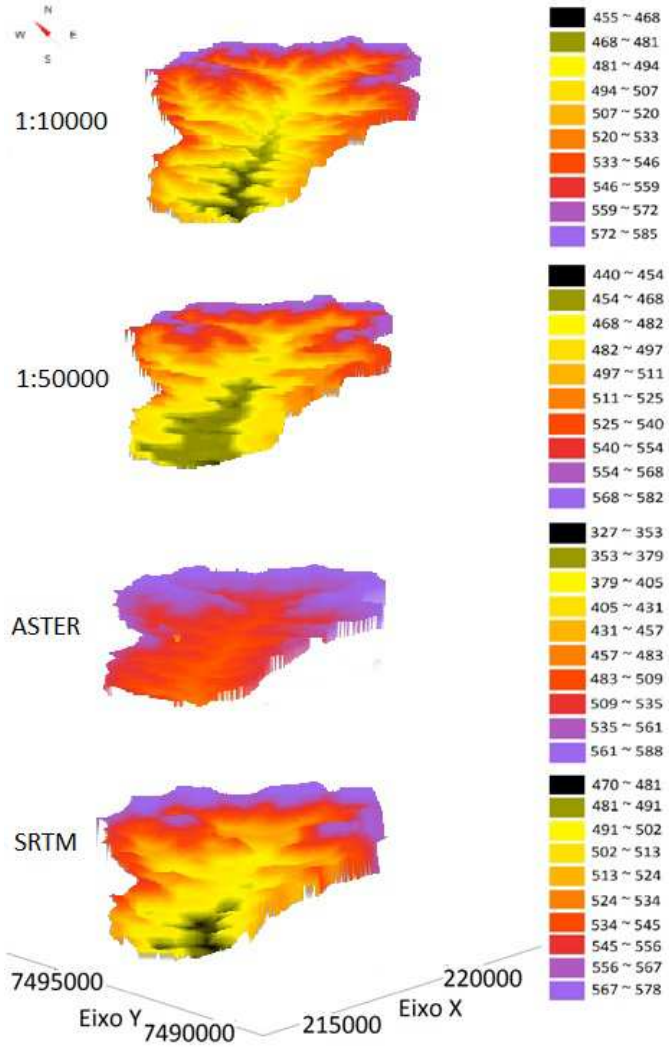

Figura 12 - Perfil em três dimensões dos modelos de elevação obtidos no SPRING

Os mapas cartográficos apresentam os espaços planos extensos com ausência de dados altimétricos, sendo assim o espaçamento entre as isolinhas utilizadas para a geração dos MNTs poderia influenciar no potencial de representação dos perfis topográficos do terreno. Os dados cartográficos do IBGE com escala 1:50000 possuem isolinhas altimétricas com equidistância vertical de 20m, ou seja, para que um perfil topográfico seja representado, ele necessita ter uma variação de altitude maior que 20m. Entretanto os dados cartográficos com escala de 1:10000 e equidistância de 5m permitem representar variações de altitude com amplitude muito menor, favorecendo a modelagem dos perfis topográficos da superfície com maior exatidão, conforme representado na Figura 12.

As fontes de dados altimétricos ASTER GDEM e SRTM são adquiridos e montados como grades matriciais e assim ao contrario das cartas topográficas essas fontes de dados possuem valores para um numero determinado de pontos o que

possibilita a modelagem com dados nessas áreas, que não ficam sujeitas a equidistância de 5 metros ou 20 metros como ocorre respectivamente nas cartas topográficas 1:10000 e 1:50000. Contudo as diferentes características dos dados SRTM e ASTER GDEM, tais como o tipo de processo de aquisição, pré-processamento, resolução, atribuem formas diferentes aos modelos de elevação gerados por eles. Os dados SRTM apresentam resolução menor do que os dados ASTER GDEM, respectivamente 90 metros e 30 metros e mesmo que o processo de interpolação seja utilizado não é possível que se melhore a resolução da grade em que os dados foram montados o que acaba por suavizar os perfis topográficos.

Salgado (2011) trabalhando com aquisição do fator LS através de diferentes fontes de dados; cartas topográficas de diferentes escalas e imagens SRTM e ASTER GDEM; concluiu que os resultados obtidos a partir dos MNT SRTM e ASTER GDEM apresentaram-se mais coerentes com os resultados de LS obtidos a partir dos dados cartográficos na escala 1:10000 do que com os resultados obtidos a partir dos dados com escala 1:50000.

Uma possível explicação para essa diferença é o tamanho da área em que se trabalhou, uma vez que Salgado (2011) fez seu estudo na bacia do rio Una na região do vale do Rio Paraíba do Sul que possui uma área de 476 Km², enquanto que a MHC possui área de 19,73 Km², sendo que para menores áreas, menores resoluções de dados altimétricos podem levar a construção de MNTs disformes. Outra hipótese possível pode ser a interferência que esses dados obtidos por sensoriamento remoto orbital sofreram durante a fase de aquisição.

Na Tabela 12 notam-se as características de cada grade numérica MNT.

Tabela 12 – Número de pontos de elevação e características por modelo de elevação

	1:10000	1:50000	ASTER	SRTM
Média (Metros)	510,04	511,26	514,22	516,96
Desvio Padrão (Metros)	26,91	27,38	27,14	24,4
Valor min (Metros).	455	440	327	470
Valor max.(Metros)	585	582	588	578

Ainda na Tabela 12, na linha das médias, pode-se perceber que o MNT mais detalhado (1:10000) ficou com 510,04 metros enquanto que os seguintes ficaram com valores acima desse, 511,26; 514,22; 516,96 metros respectivamente os

modelos 1:50000, ASTER e SRTM o que pode indicar que nesses as amostras de altitude representam um conjunto com valores maiores que os do modelo 1:10000.

De fato Druzina et al. (2005) ao comparar um MNT derivado do ASTER com pontos de controle terrestre e um MNT derivado de curvas de nível em uma região montanhosa no sul de Santa Catarina e nordeste do Rio Grande do Sul, encontrou que, o MNT ASTER representou uma superfície mais elevada que os pontos de controle terrestre e mesmo a do MNT derivado de curvas de nível.

Na Tabela 13 se verifica que para os 20 pontos analisados o valor máximo encontrado foi maior para o ponto de MNT ASTER GDEM, com 573 metros, já a carta topográfica indicou um valor máximo de 565 metros e ainda no valor mínimo encontrado o MNT ASTER GDEM encontrou o maior valor entre os MNTs analisados, com altitude de 490 metros o que é mais um indicativo da superestimação dos dados ASTER GDEM para a área da MHC, conforme já discutido anteriormente.

Tabela 13 – Característica dos 20 pontos utilizados para comparação dos MNTs em metros

Característica	MNT			
(Metros)	1 : 10000	1 : 50000	ASTER	SRTM
Valor Máximo	565	564	573	570
Valor Mínimo	482	479	490	484
Desvio Padrão	29	28	30	28
Média	521	521	525	522

Na Tabela 14 se pode notar a estimativa das EQM para os 20 pontos analisados em cada modelo de elevação quando comparados com a referência de maior resolução que é a carta topográfica de 1:10000. Nessa análise nota-se que os valores de EQM foram baixos e ainda a imagem SRTM obteve o melhor resultado, com um EQM de 4,9 metros. Esses valores concordam com o que Wise (2000) descreve em seu trabalho que os valores de EQMs da elevação não são uma medida eficiente da qualidade e sugere que outros estudos devem ser feitos para se qualificar um modelo de terreno. Chagas et. al. (2010) de forma análoga concluíram que o valor do EQM não representa necessariamente a verdade quando a intenção é classificar modelos de elevação.

Tabela 14 – Erro Quadrático Médio para os pontos testados

Modelos ComparadosT	REQM (Metros)
1:10000 - 1:50000	6,5
1:10000 – ASTER	5,4
1:10000 – SRTM	4,9

4.3.1 Classes de declividade

Para cada modelo de elevação foi gerado um mapa temático de declividade em porcentagem, que por sua vez foi divida em 10 classes de declividade, a saber: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-45 e >45. As áreas de cada classe de declividade para cada mapa originado de modelos de elevação pode ser observado na Tabela 15.

Tabela 15 – Área de cada classe de declividade para cada modelo de elevação

Classe Declividade (%)	1:10000	1:50000	ASTER	SRTM
	(Hectares)			
0-5	357,02	853,02	549,22	879,30
5-10	624,10	628,76	1005,51	915,12
10-15	551,68	319,79	374,91	175,41
15-20	259,34	112,39	45,70	12,24
20-25	106,12	39,17	2,48	1,26
25-30	42,48	13,91	0,57	0,27
30-35	17,81	3,43	0,00	0,00
35-40	7,72	1,40	0,09	0,00
40-45	3,40	0,73	0,38	0,00
>45	4,47	1,54	3,25	0,00

Na Tabela 15 nota-se que o modelo 1:10000 tido como o mais representativo indica uma área de 357,02 hectares para declividade até 5% enquanto que os outros modelos superestimam essa classe de declividade, sendo o modelo ASTER GDEM o que mais se aproximou do modelo 1:10000 estimando em 549,22 hectares a área com declividade até 5%.

Observa-se que os dados obtidos por sensoriamento remoto orbital foram pouco eficientes em indicar valores de declividade acima de 30%, inclusive o MNT SRTM não encontrou nenhuma área de declividade acima de 30%.

Pode-se atribuir esse resultado a menor resolução das imagens ASTER GDEM e SRTM, conforme concluído por Valeriano (2003) que cita a necessidade de alta resolução espacial para representatividade adequada da variação declividade,

sobretudo na faixa de valores altos. Pelo fato de encontrarem menor quantidade de área nas classes de maior declividade, essas imagens se mostrariam impróprias para identificação de áreas de combate a erosão na MHC quando comparadas com as cartas 1:10000 e 1:50000.

Os resultados de declividade encontrados para as cartas topográficas concordam com os obtidos por Paes e Manzione (2011) que em estudo com mapas topográficos de diferentes escalas para geração de mapas de declive e análise dos padrões geomorfológicos na bacia do Ribeirão da Onça, Brotas, SP concluíram que: os dois modelos representam os padrões de declividade de modo semelhantes para as classes de relevo predominantes, entretanto, o modelo em escala 1:50000, por possuir menor quantidade de dados altimétricos, estaria mascarando informações importantes sobre as classes de declive encontradas em pouca quantidade, mas que necessitam de atenção quanto ao seu uso e ainda que o mapa de declividade em escala 1:10000 seria mais confiável como informação auxiliar no manejo da bacia.

4.3.2 Estimativa de Perda de Solo

Para a análise dos resultados é apresentada, para cada comparação dois a dois, uma matriz de erros com os valores em pixels. Cada pixel equivale a uma área de 6,25 m². Cada matriz de erros é acompanhada de uma tabela onde podem ser notados os erros do produtor e os erros do usuário. As classes de perda de solo apresentadas foram divididas em: 0 a 20 Mg ha^{-1} ano^{-1}, 20 a 50 Mg ha^{-1} ano^{-1}, 50 a 100 Mg ha^{-1} ano^{-1}e >100 Mg ha^{-1} ano^{-1}.

Na Tabela 16 os valores de cada classe de perda de solo estão expressos em termos de área (hectares) e não de pixel. Assim pode-se ter melhor dimensão da estimativa para cada classe de perda de solo e compreender as implicações de se utilizar as diferentes fontes de dados altimétricos.

Tabela 16 – Área para cada classe de perda de solo para os diferentes modelos

Classes de Perda de solo	1:10000*	1:50000*	ASTER GDEM	SRTM
(Mg ha^{-1} ano^{-1})	(Hectares)			
0-20	980,53	1379,40	1286,02	1519,70
20-50	728,30	470,84	580,00	402,41
50-100	201,60	103,57	89,30	45,01
>100	61,73	18,36	16,78	84,00

Nota: *Modelo numérico de referência

Observando a Tabela 16 se pode notar que todos os valores nas classes de 0 a 20 Mg*ha^{-1}*ano^{-1} foram superestimados quando comparados ao modelo de referência 1:10000 e subestimados quando comparados ao modelo de referência 1:50000. O MNT ASTER GDEM indicou 305,49 hectares a mais, quando a referência é a carta 1:10000 e 93,38 hectares a menos quando a referência é a carta 1:50000. O modelo SRTM foi o que mais acusou as perdas de solo dentro da classe 0 a 20; quando comparados com o modelo de referência 1:10000 o valor foi 539,17 hectares maior e quando a referência é a carta topográfica 1:50000 o valor foi de 140,30 hectares a menos dentro daquela classe de perda de solo.

Nas demais classes os valores foram inferiores. Os modelos avaliados não foram eficazes em encontrar corretamente os valores quando comparados com o modelo de referência 1:10000 nessas categorias. Somente nas classes de 20 a 50 Mg*ha^{-1}*ano^{-1} o modelo ASTER GDEM superestimou essa categoria em 109,16 hectares e na classe >100 Mg*ha^{-1}*ano^{-1} o modelo SRTM superestimou em 22,27 hectares quando comparado a referência 1:50000. Esses dados reforçam o resultado já discutido anteriormente. Em que para pequenas áreas modelos numéricos de terreno com baixa resolução de dados altimétricos levam a estimativas de perda de solo para mais, em discordância daquelas com modelos de maior resolução.

4.3.2.1 Carta topográfica 1:10000 e MNT ASTER GDEM

Para a matriz de erros representada pela Tabela 17 o teste Z apresentou um valor de 778,21, sendo, portanto maior que 1,96. Dessa forma o mapa de perda solo estimado pela imagem ASTER GDEM possui classificação considerada melhor que

um aleatório a um nível de confiança de 95%, quando a referência é a carta topográfica 1:10000

Tabela 17 – Matriz de erros para o modelo numérico de terreno da imagem ASTER GDEM, valores em pixels

MNT		1 : 10000				
	Classe (Mg ha^{-1} ano^{-1})	**0_20**	**20_50**	**50_100**	**>100**	**total**
ASTER GDEM	**0_20**	1357540	591765	97659	10673	2057637
	20_50	192405	530497	172471	32630	928003
	50_100	15048	41227	47256	39350	142881
	>100	3758	1798	5169	16122	26847
	total	1568751	1165287	322555	98775	3155368

Exatidão Global = 0,618
Kappa = 0,32 (razoável)

O índice Kappa resultante foi de 0,32 enquadrando as informações do mapa ASTER GDEM em razoáveis quando comparadas as da referência. A exatidão global é indicativo simples da concordância entre os mapas. Ele representa a divisão da somatória da diagonal principal (número de pixel em concordância nos dois mapas) pelo número total de amostras. Para os mapas topográficos ASTER GDEM e o de referência 1:10000 a exatidão global foi de 0,618 ou 61,8%, valor considerado inadequado segundo Congalton e Green (2008), que estabelecem como aceitável 85%. Para os mesmo autores, para uma análise mais detalhada deve-se proceder para o calculo da exatidão do produtor e usuário os quais verificam quanto de uma classe de perda de solo (exemplo 0 a 20) o mapa ASTER GDEM identifica em relação ao que foi encontrado pela referência. Assim, tomando o mapa 10000, observamos na Tabela 18 que o valor para exatidão do produtor é 86,54%, porém somente esse valor não nos permitiria estabelecer a verdade. A exatidão do usuário nos permite estabelecer uma relação pixel a pixel da posição desse acerto. Sendo assim apenas 65,98% tem uma verdade posicional quando se utiliza o mapa ASTER GDEM, pois ele encontra uma quantidade muito maior de pixel para a classe 0 a 20, o que é imprescindível nesse caso. A exatidão do produtor é maior que a do usuário, isso nos mostra que o mapa ASTER GDEM está superestimando essa classe.

Tabela 18 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário

Classes (Mg ha^{-1} ano^{-1})	Exatidão do Produtor(%)	Exatidão do Usuário(%)
0_20	86,54	65,98
20_50	45,53	57,17
50_100	14,65	33,07
>100	16,32	60,05

Ainda na Tabela 18 pode-se notar que o mapa temático com informações altimétricas obtidas por sensoriamento remoto orbital identificou apenas 45,53% das áreas de 20 a 50; 14,65% das áreas de 50 a 100 e 16,32% das áreas com perdas maiores 100 Mg ha^{-1} ano^{-1}. Para as classes de 20 a 50 a exatidão do usuário foi de 57,17%; para a classe 50 a 100 foi de 33,07%, e para a classe >100 foi de 60,05%. Nessas classes o que se percebe é que a exatidão do produtor foi menor que a do usuário, isso nos mostra que essas classes foram subestimadas.

Na Figura 13 verifica-se que as informações do modelo de elevação ASTER GDEM acarretaram em um mapa final de perda de solo onde a classe de 0 a 20 foi superestimada enquanto as demais foram subestimadas.

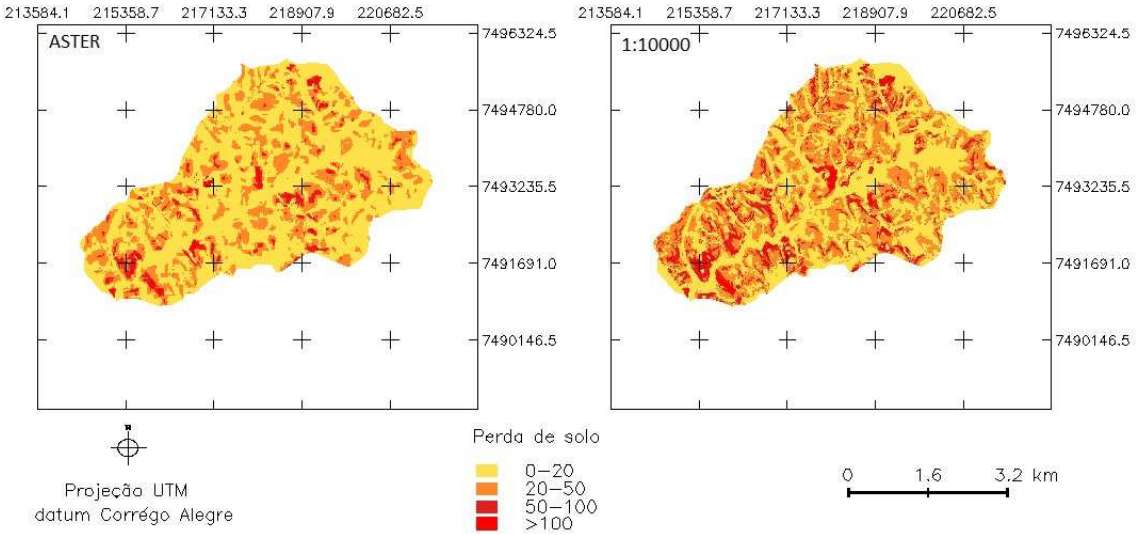

Figura 13 – Representação da estimativa de perda de solo imagem ASTER GDEM e da carta topográfica 1:10000

4.3.2.2 Carta topográfica 1:10000 e MNT SRTM

Para a matriz de erros representada pela Tabela 19 o teste Z apresentou valor de 439,82, sendo, portanto maior que 1,96, dessa forma o mapa de perda solo estimado pela imagem SRTM possui uma classificação considerada melhor que uma aleatória a um nível de confiança de 95%, quando a referência é a carta topográfica 1:10000

Tabela 19 – Matriz de erros para o modelo numérico de terreno da imagem SRTM valores em pixels

MNT		1 : 10000				
	Classe ($Mg*ha^{-1}*ano^{-1}$)	**0_20**	**20_50**	**50_100**	**>100**	**total**
SRTM	**0_20**	1409849	825913	167259	28497	2431518
	20_50	150404	329400	132087	31957	643848
	50_100	8374	9895	20346	33408	72023
	>100	224	79	2863	4913	8079
	total	1568851	1165287	322555	98775	3155468

Exatidão Global = 0,559
Kappa = 0,18 (ruim)

O índice Kappa resultante foi de 0,18 enquadrando as informações do mapa SRTM em ruim quando comparadas as da referência. A exatidão global é de 0,559 ou 55,9%.

Na Tabela 20 podemos notar que o valor para a classe de perda de solo entre 0 e 20 Mg ha^{-1} ano^{-1} na coluna de exatidão do produtor é de 89,87% . Quando se observa a exatidão do usuário na coluna ao lado, pode-se afirmar que no mapa da imagem SRTM 57,98% das áreas de 0 a 20 Mg ha^{-1} ano^{-1}; correspondem a tais na referência, valor inferior ao do mapa da carta ASTER GDEM que é de 65,98% .

Tabela 20 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário

Classes (Mg ha^{-1} ano^{-1})	Exatidão Produtor(%)	Exatidão do Usuário(%)
0_20	89,87	57,98
20_50	28,27	51,16
50_100	6,31	28,25
>100	4,97	60,81

Assim pode-se perceber que o mapa temático com dados altimétricos obtidos pela missão SRTM identificou apenas 28,27% das áreas de 20 a 50; 6,31% das

áreas de 50 a 100 e 4,97% das áreas com perdas maiores 100 Mg ha^{-1} ano^{-1}, valores inferiores que os encontrados no mapa temático obtido com o MNT ASTER GDEM. Os acertos de posição, valores da coluna de exatidão do usuário, também são menores que os do mapa temático ASTER GDEM. Para as classes de 20 a 50 a exatidão do usuário foi de 51,16%; para a classe 50 a 100 foi de 28,25% o e para a classe >100 foi de 60,81%.

Na Figura 14 percebe-se claramente que a classe de perda de solo classificada entre 0 e 20 foi maior no mapa com dados oriundos da missão SRTM e assim nas categoria 20 a 50 e 50 a 100. Já na classe maior que 100 o valor no mapa SRTM é superior ao de referência, resultado das declividades mais acentuadas encontradas pelos dados mais espaçados de altimetria da missão SRTM, que possui resolução de 90 metros.

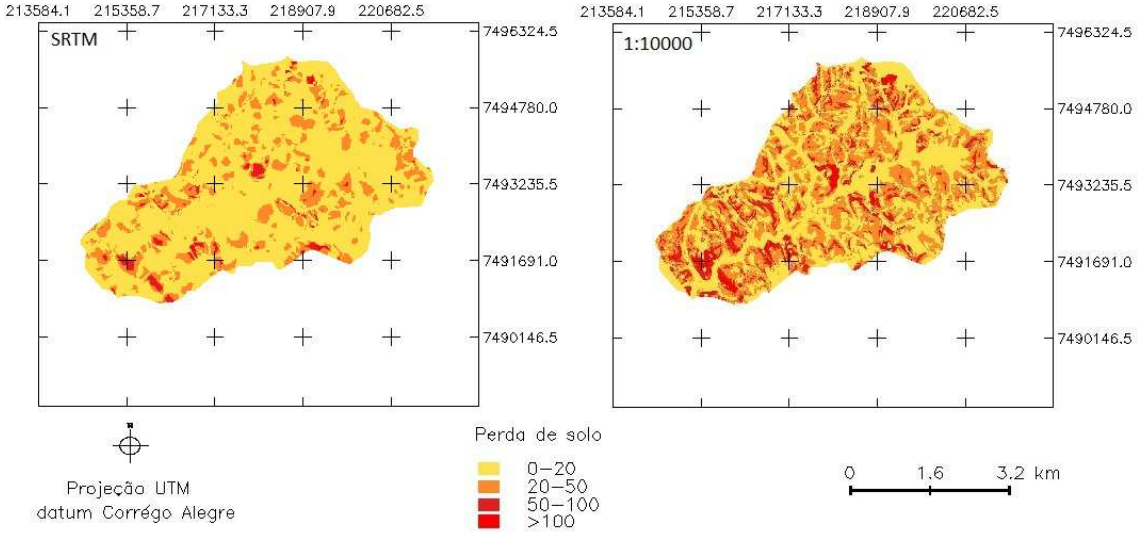

Figura 14 – Representação da estimativa de perda de solo da imagem SRTM e da carta topográfica 1:10000

4.3.2.3 Carta Topográfica 1:50000 e MNT ASTER GDEM

Para a matriz de erros representada pela Tabela 21 o teste Z apresentou valor de 649,81, sendo, portanto maior que 1,96, dessa forma o mapa de perda solo estimado pela MNT ASTER GDEM possui uma classificação considerada melhor que uma classificação aleatória a um nível de confiança de 95%, quando a referência é a carta topográfica 1:50000.

Tabela 21 – Matriz de erros para o modelo numérico de terreno da imagem ASTER GDEM, valores em pixels

MNT		1 : 50000				
	Classe (Mg ha^{-1} ano^{-1})	**0_20**	**20_50**	**50_100**	**>100**	**total**
ASTER GDEM	**0_20**	1673680	326783	54015	3259	2057737
	20_50	456523	377358	85187	8935	928003
	50_100	64647	42727	23846	11661	142881
	>100	12186	6478	2659	5524	26847
	total	2207036	753346	165707	29379	3155468

Exatidão Global = 0,659
Kappa = 0,28 (razoável)

O índice Kappa resultante foi de 0,28 enquadrando as informações do mapa ASTER GDEM como razoáveis quando comparadas as da referência (carta topográfica 1:50000). A exatidão global foi de 0,659 ou 65,9%.

Na Tabela 22 podemos notar que o valor para a classe de perda de solo entre 0 e 20 Mg ha^{-1} ano^{-1} na coluna de exatidão do produtor é de 75,83%. Agora quando se observa a exatidão do usuário na coluna ao lado, pode-se afirmar que em 81,34% das vezes em que o mapa temático ASTER GDEM indica que uma área pertence a categoria de perda de solo 0 a 20, ela realmente corresponderá a verdade posicional na carta de referência 1:50000, ou seja aqui o MNT derivado dos dados ASTER GDEM subestimou essa classe quando confrontados com o mapa de referência (1:50000).

Tabela 22 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário

Classes (Mg ha^{-1} ano^{-1})	Exatidão Produtor (%)	Exatidão do Usuário (%)
0_20	75,83	81,34
20_50	50,09	40,66
50_100	14,39	16,69
>100	18,80	20,58

Ainda na Tabela 22 pode-se notar que o mapa temático com informações altimétricas obtidas por sensoriamento remoto orbital identificou apenas 50,09% das áreas de 20 a 50; 14,39% das áreas de 50 a 100 e 18,80% das áreas com perdas maiores 100 Mg ha^{-1} ano^{-1}. Para as classes de 20 a 50 a exatidão do usuário foi de 40,66%; para a classe 50 a 100 foi de 16,66%, e para a classe >100 foi de 20,58%.

O mapa ASTER GDEM apesar de encontrar menor quantidade de pixels no

intervalo de 0 a 20, também acaba por subestimar as classes de maior perda de solo (50 a 100 e >100), mostrando uma deficiência em encontrar classes de declividade maiores como já visto anteriormente.

Na Figura 15 verifica-se que as informações do modelo de elevação ASTER GDEM acarretaram em um mapa final de perda de solo onde a classe de 0 a 20, 50 a 100 e maior que 100 foi subestimada em relação a carta 1:50000. Já a classe 20 a 50 encontrado pelos dados ASTER GDEM foi maior que no mapa de referência.

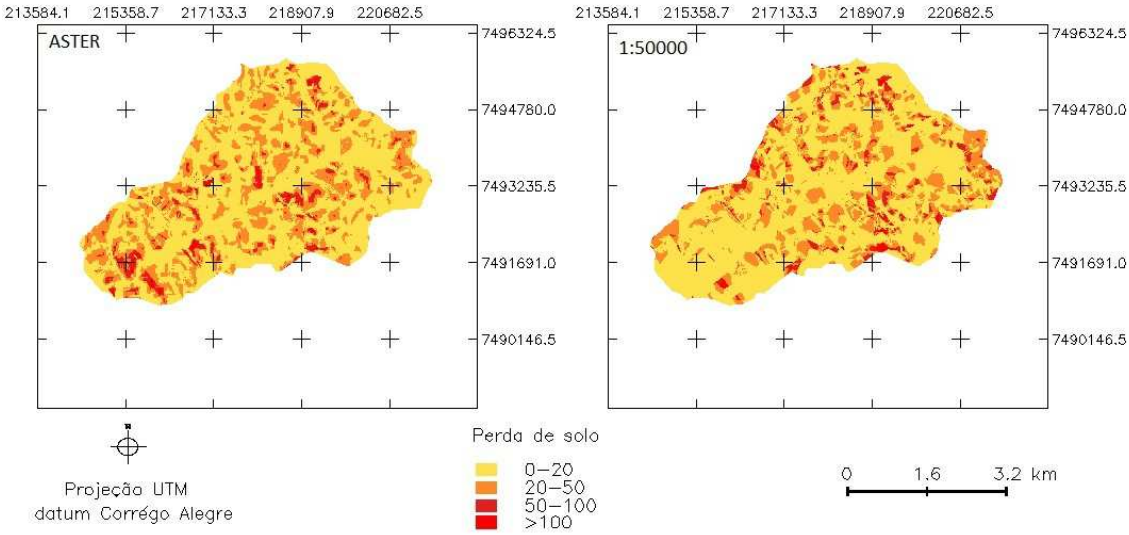

Figura 15 – Representação da estimativa de perda de solo da imagem ASTER GDEM e da carta topográfica 1:50000

4.3.2.4 Carta Topográfica 1:50000 e MNT SRTM

Para a matriz de erros representada pela Tabela 23 o teste Z apresentou valor de 534,85, sendo, portanto maior que 1,96, dessa forma o mapa de perda solo estimado pela MNT SRTM possui uma classificação considerada melhor que uma classificação aleatória a um nível de confiança de 95%, quando a referência é a carta topográfica 1:50000.

Tabela 23 – Matriz de erros para o modelo numérico de terreno da imagem ASTER GDEM valores em pixels

MNT		1 : 50000				
	Classe (Mg ha^{-1} ano^{-1})	**0_20**	**20_50**	**50_100**	**>100**	**total**
SRTM	**0_20**	1862542	482637	77663	8676	2431518
	20_50	307063	252795	75769	8221	643848
	50_100	34391	16157	10729	10746	72023
	>100	3040	1757	1546	1736	8079
	total	2207036	753346	165707	29379	3155468

Exatidão global = 0,674
Kappa = 0,21 (razoável)

O índice Kappa resultante foi de 0,21 enquadrando as informações do mapa SRTM como razoáveis quando comparadas as da referência (carta topográfica 1:50000). A exatidão global é foi de 0,674 ou 67,4%, valor considerado inadequado para Congalton e Green (2008), inferior a 85%.

Na Tabela 24 podemos notar que o valor para a classe de perda de solo entre 0 e 20 Mg ha^{-1} ano^{-1} na coluna de exatidão do produtor é de 84,39%. Agora quando se observa a exatidão do usuário na coluna ao lado, pode-se afirmar que em apenas 76,60% das vezes em que o mapa temático SRTM indica que uma área pertence a categoria de perda de solo 0 a 20, ela realmente corresponderá a verdade posicional na carta de referência 1:50000. Pode-se perceber que o mapa temático com o modelo SRTM identificou corretamente o local das classes de perda de solo apenas em 39,26% das áreas de 20 a 50; 14,90% das áreas de 50 a 100 e 21,49% das áreas com perdas maiores 100 Mg ha^{-1} ano^{-1}.

Tabela 24 – Exatidão do produtor e exatidão do usuário

Classe (Mg ha^{-1} ano^{-1})	Exatidão Produtor (%)	Exatidão do Usuário (%)
0_20	84,39	76,60
20_50	33,56	39,26
50_100	6,47	14,90
>100	5,91	21,49

Na Figura 16 percebe-se claramente que o mapa de perda de solo estimado com os dados da missão SRTM superestimou as áreas da classe de 0 a 20 e também maiores que 100, quando confrontados com o mapa de referência em

escala 1:50000, resultado das declividades mais acentuadas encontradas pelos dados mais espaçados de altimetria da missão SRTM, que possui resolução de 90 metros, como já discutido.

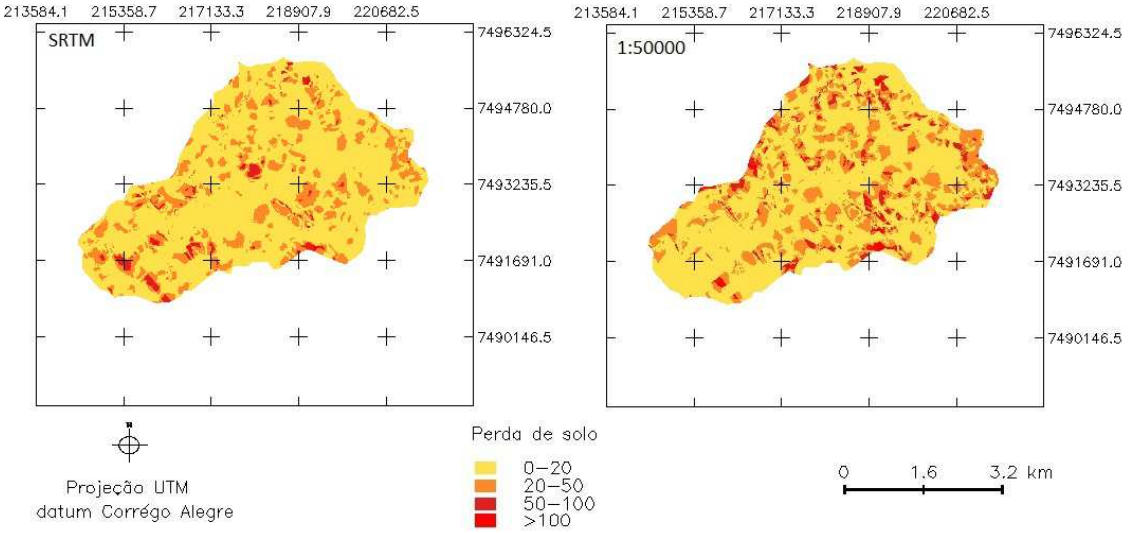

Figura 16 – Representação da estimativa de perda de solo da imagem SRTM e da carta topográfica 1:50000

Como observado, o valor do EQM não foi suficiente para distinguir qual modelo de elevação levaria ao melhor resultado quando se estimasse a perda de solo, o que leva a necessidade da análise qualitativa do resultado que se quer obter, como já foi apontado em estudos anteriores feitos por Wise, (2000) e Chagas et. al. (2010).

Conforme visto as estimativas de perda de solo não foram iguais e ainda pouco semelhantes para os diferentes modelos de elevação analisados, o MNT ASTER GDEM e SRTM foram classificados como sendo razoáveis em relação a carta topográfica 1:10000 e carta topográfica 1:50000. As estimativas são bastante diferentes quando se analisa os números apresentados de área por cada classe, exatidão do usuário e exatidão do produtor, dessa forma quando se estima a perda de solo em ambiente SIG deve-se indicar em que escala se da tal estimativa, visto que para diferentes escalas e modelos de elevação utilizados no presente estudo encontraram-se diferentes estimativas de perda de solo e estas bem discrepantes uma em relação à outra.

5 CONCLUSÕES

A maior porção; (67,89%) da MHC está sendo utilizada para lavoura de cana-de-açúcar.

As APPs ocupam uma área de 196,38 hectares e se fossem restituídas conforme a lei vigente ocupariam 451,54 hectares.

A análise do EQM nos 20 pontos amostrados não se mostrou uma forma eficiente para qualificar os MNTs gerados pelas diferentes fontes de dados.

O modelo ASTER GDEM foi o que apresentou melhor concordância nas estimativas de perda de solo com o modelo de referência 1:10000.

Os MNTs obtidos por sensoriamento remoto, quando analisados pela exatidão do produtor e exatidão do usuário encontraram resultados discrepantes de perda de solo para a microbacia hidrográfica quando comparados aos modelos de referência (1:10000 e 1:50000).

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, R.; MOREIRA, F.R.S.; BEISL, C.H. The Serra da Cangaiha astrobleme as revealed by ASTER and SRTM orbital data. **International Journal of Remote Sensing**, Nottingham, v.26, p.833-838, 2005.

ALVES, M. **Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do rio São Bartolomeu - DF, usando técnicas de geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE,2000. 33 p. (Relatório Técnico)

ARAÚJO, P.E. **Aplicação de dados srtm à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. 2006. 88 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José do Campos, 2006.

ASTER GDEM VALIDATION TEAM. **METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, USGS/EROS. ASTER Global DEM validation summary report**. 2009. 28p. Disponível em: <http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/image/ASTERGDEM_ValidationSummaryReport_Ver1.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2012

BAMLER, R. The SRTM mission: a world-wide 30m resolution DEM from SAR Interferometry in 11 Days. **Photogrammetrische Woche** Stuttgart, v. 54, p.145, 1999.

BAPTISTA, G.M.M. **Diagnóstico ambiental da Perda Laminar de solos por meiodo geoprocessamento.** 1997. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

BARROS, R.S.:CRUZ, C.B.M.:REIS, R.B.;COSTA JUNIOR, N.A. Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ**.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO,13.,2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2005. p. 3997-4004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6.ed. São Paulo: Ícone, 2008. 355p.

BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of geographical information systems**. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 1998. 333p.

BOTELHO, R.G.M. Planejamento Ambiental em Microbacia Hidrográfica. In GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos:** conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 57-94.

BRASIL. Decreto-lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o Novo Código Florestal Brasileiro e dá outras providencias. DOU de 16 de setembro de 1965. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm>. Acesso em: 10 mar.2012.

_____. **Decreto nº 5.334 de 6 de janeiro de 2005**. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Decreto/D5334.htm>. Acesso em: 10 mar.2012.

_____. Ministério da Agricultura. **Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas:** manual operativo. Brasília: Coordenação Nacional do PNMH, 1987. 60 p.

BRITO, J.L.S.; LIMA, S.C.; SHIKI, S.;MOREIRA, M.R**.** Uso do geoprocessamento na estimativa de perda de solos por erosão laminar em Iraí de Minas – MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998. Santos. **Anais**...Santos, 1998. p. 2493-2500.

BROWNING, G.M.; PARISH, C.L.;GLASS, J.A.A method for determining the use and limitation of rotation and conservation practices in control of soil erosion in Iowa. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 39, p.65-73, 1947.

CALIJURI, M.C.; BUBEL, A.P.M. Conceituação de microbacias in: LIMA, W.P. ;ZAKIA, M.J.B. (Org.). **As florestas plantadas e a água**. São Carlos: RIMA, 2006. cap 4. p.45-59.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Introdução. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 27 out. 2011.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J.S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E.D.; SANO, E.E. **Sistemas de informações geográficas**: aplicações na agricultura. 2. ed. Planaltina: EMBRAPA, Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, 1998. p.3-11.

CÂMARA, G.; SOUZA R.C.M.; FREITAS, U.M.; GARRIDO J.; MITSUO, F.. Spring: Integrating Remote Sensing and GIS by Object-Oriented data modelling. **Computers & Graphics**, Lisboa, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CATÂNEO, A.; CARVALHO G.M.;VASQUES FILHO, B.S.; LOMBARDI NETO, F. Correlação entre o índice de erosividade EI30 médio mensal e o coeficiente de chuva do município de Mococa - SP. **Revista Científica**, Curitiba, v. 1, n. 19, p. 1-7, 1992.

CHAGAS, CÉSAR S. ;FERNANDES, E.F.; ROCHA M.F.;CARVALHO W.J.; SOUZA, N.C.C. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 2, p. 218-226, 2010.

CHAVES, M.A. **Modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes para a bacia Amazônica**. 2002. 111p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

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

COHEN, J. A Coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement,** New York, v. 20, p. 37-46, 1960.

CONGALTON, R.G.;GREEN, K. **Assessing the accuracy of remote sensing data:** principles and pratctice. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; Francis and Taylor Group, 2008. 210p.

CONGALTON, R.G.; ODERWALD, R.G.; MEAD, R.A. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1983.

DAINESE, R.C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao estudo temporal do uso da terra e na comparação entre classificação não-supervisionada e análise visual**. 2001. 186 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista"Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2001.

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**.1990. 110 p. Tese (Doutorado em e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M.; PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C. L.; LOMBARDI NETO, F. Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. In: LOMBARDI NETO, F. ; CAMARGO, O.A. (Org.). **Microbacia do córrego São Joaquim (Município de Pirassununga, SP).** São Paulo: IAC, 1992. p. 91-119.(IAC - Documentos,29).

DRUZINA, A.G.S.; SILVA, J.L.B.; ZOUAIN, R.N.A.; SOUZA, S.F**.** Estudo do erro de modelos digitais de elevação gerados a partir de imagens ASTER utilizando técnicas de processamento digital de imagens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS PARA PETRÓLEO E EXPOSICARTA, 21., 2005, Macaé. **Anais.**.. Macaé: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2005. Cd-Rom.

FLORES, M.X. Uso agrícola do solo: principais tipos de solo, potencial de utilização e impactos ambientais In: TAUK-TORNISIELO, S.M.; GOBBI, N.; FORESTI, C.; LIMA, T.M. **Análise ambiental estratégias e ações**. Piracicaba:T.A Queiroz, 1995. cap. 7, p. 280-290.

FREITAS, P.L.; KERR, J.C. As pesquisas em microbacias hidrográfica: situação atual entraves e perspectivas no Brasil. In: Manejo Integrado de Solos em Microbacias Hidrográficas. In:CONGRESSO BRASILEIRO E ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISAS SOBRE CONSERVAÇÃO DE SOLO, 8., 1990. Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p. 43-57.

FIORIO, P.R. **Cronologia do uso da terra e seu impacto no ambiente da Microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro da Região de Piracicaba, SP**. 1998. 114p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

FIORIO, P.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; SPAROVEK, G. Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na Microbacia Hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 671-679, 2000.

FONSECA, L.G.M.; OLIVEIRA, C.G.; LEONARDI, F.; ALMEIDA, C.M. . **Apostila de processamento digital de imagens**. São José dos Campos: INPE, 2000. 7p.

GALETI, P.A. **Conservação do solo**; reflorestamento e clima. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1973. 286p.

GODOY, S.C.; DIAZ, E.G. Aplicación del modelo digital de elevaciones de ASTER en geomorfología**.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 2405-2412.

GROHMANN, C.H.; RICCOMINI, C.; ALVES, F.M. SRTM-based morphotectonic analysis of the Poços de Caldas Alkaline Massif, southeastern Brazil. **Computers & Geosciences**, Stanford, v. 33, p. 10-19, 2007.

HIGA FILHO, L.T.; PARANHOS, A.C.; TORRES, T.G.: SALLES, A.T.Avaliação da precisão vertical do modelo SRTM para a bacia do rio Paraguai, no Estado de Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 1., 2006, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária; INPE, 2006. p. 834-840.

HIRANO, A.; WELCH, R.; LANG, H. Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, Twente, v. 57, n. 5/6, p. 356-370, 2003.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLOGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, 1981. Escala 1:500,00.

JARVIS, A.J.;RUBIANO, A.;NELSON, A.; FARROW, M.;MULLIGAN. **Practical use of SRTM data in the tropics:** Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data. Cali: CITA, 2004. 32p. (Working Document, 198).

KLUNK, C.: REFOSCO, J.C.; CAGLIONI, E.; ARMÊNIO, G.A. Impacto na economia das propriedades bananicultoras em Luís Alves-SC, em função da implementação das áreas de preservação permanente. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 707-716, 2011. Edição especial.

KOCH, A.; HEIPKE, C.; LOHMANN, P. Analysis of SRTM DTM – methodology and

practical results. In: JOINT INTERNATIONAL SYMPOSIUM AND EXHIBITION ON GEOSPATIAL THEORY, PROCESSING, AND APPLICATIONS, 2002, Ottawa. **Anais…** Ottawa: ISPRS Commission IV, 2002.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics,** Arlington, n.33, p.159-174, 1977.

LANZANOVA, M.E. **Efeito de sistemas de culturas em plantio direto na erosão e propriedades de um argissolo vermelho**. 2009. 264 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

LAND PROCESSES DISTRIBUTED ACTIVE ARCHIEVE CENTER. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/lpdaac/products/aster_products_table/on_demand/digital_elevation_model/v1/ast14dem>. Acesso em: 05 ago. 2010.

MACEDO, M.A.; RUDDORF, B.F.T. Estimativa da perda de solo por erosão laminar na bacia do Rio São Bartolomeu-DF usando técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO EM PERCEPCION REMOTA Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN ESPACIAL, 9., 2000, Puerto Iguaçu. **Anais...** Puerto Iguaçu, 2000. p. 761-770.

MELGAÇO, L.M.; SOUZA FILHO, C.R.; STEINMEYER, M. Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1215-1220.

MINGOTI, R. **Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da cobertura florestal**. 2009. 101p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

MILLER, C.L.; LAFLAMME, R.A. **The digital terrain model-theory & application**. Boston: MIT Photogrammetry Laboratory, 1958.

MIRANDA, E.E. **Brasil em relevo**.Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 27 ago. 2011.

MOLDAN, B.; CERNY, J. Small catchment research. In: MOLDAN, B.; CERNY, J. **Biogeochemistry of small catchments:** a tool for environmental research. Chicheter: John Wiley, 1994. p.1-29.

MONTOLAR-SPAROVEK, R.B.; VIDAL-TORRADO, P.; SPAROVEK, G. Erosão em sulcos, entressulcos em uma microbacia de Piracicaba (SP) intensivamente cultivada. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 859-865, 1999.

MOREIRA, M.A., **Fundamentos de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

MORO, M.A. **Utilização da interface SWAT-SIG no estudo da produção de sedimentos e do volume de escoamento superficial com simulação de cenários alternativos**. 2005. 100 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 2005.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Jet Propulsion Laboratory. Disponível em: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>. Acesso em: 26 out. 2011.

NEVES, S.M.A.; NEVES, R.J.; FORNELOS, L.F. Aplicação de imagens do radar nterferométrico (srtm) na avaliação da fragilidade da bacia do córrego cachoeirinha, nos municípios de Cáceres e Porto Estrela /MT. **Revista Geográfica Acadêmica,** Goiânia, v. 2, n. 2, p. 124-137, 2008.

OLIVEIRA, C.G. **Avaliação de modelos digitais de elevação gerados a partir de sensores remotos orbitais óptico (ASTER) e radar (RADARSAT-1, SRTM)**. 2005. 184p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.

PAES, R.; MANZIONE, L. Geração de mapas de declive e análise dos padrões geomorfológicos na bacia do Ribeirão da Onça, Brotas/SP a partir de dados topográficos em diferentes escalas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José do Campos: INPE, 2011. p. 5148.

PARADELLA, W.R.; CECARELLI, I.C.F.; LUIZ, S.; MORAIS, M.C.; OLIVEIRA, C.G.; COTTINI, C. Geração de modelos digitais de elevação pela estereoscopia de radar: conhecimento atual e resultados com imagens RADARSAT-1 na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1333-1340.

PINTO, C.R.R.S. **Verificação da adequabilidade do uso de dados SRTM e IBGE para implantação de uma faixa de dutos**. 2008. 110p. Monografia (Especialização) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais,Belo Horizonte, 2008.

RANIERI, S.B.L.; SPAROVEK, G.; SOUZA, M.P.; DOURADO NETO, D. Aplicação de índice comparativo na avaliação do risco de degradação das terras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v. 22, n. 4, p. 751-60, 1998.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K.; YODER, D.C. **Predicting soil erosion by water:** a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington: U.S. Department of Agriculture, 1997. 23 p. (Handbook, 703).

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B. de; CORRÊA, G.F. **Pedologia:** base para distinção de ambientes. 5. ed. Viçosa: NEPUT, 2007. 322p.

RIBEIRO, L.S.; ALVES, M.G. Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goytacazes/ RJ através de técnicas de Geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2007. p. 3039-3046. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.19.16.01/doc/3039-3046.pdf>. Acesso em: 03 nov. 2011.

RODRIGUES, F.M.; PISSARRA, T.C.T.; CAMPOS, S. Análise temporal dos processos erosivos na microbacia hidrográfica do córrego da fazenda Glória, Taquaritinga, SP, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 745-750, 2011. Edição Especial.

RODRIGUES, J.B.T.; ZIMBACK, C.R.L.; PIROLI, E. . Utilização de Sistemas de Informação Geográfica na avaliação do uso da Terra em Botucatu. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 675-681, 2001.

RODRÍGUEZ, J.L.; MARTÍN, C.; GIMÉNEZ, S. Historical Review of topographical factor, LS, of water erosion models. **Journal of the International Hydrological Programme for Latin America and Caribbea,** Montevideu, v. 2, n. 2, p. 56-61, 2010.

ROSA, R. A utilização de imagens TM/Landsat em levantamento de uso de solo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., 1990, São José do Rio Preto. **Anais...** São José Campos: INPE, 1990. p. 419–425.

ROSA, R.; BRITO, J.L.S.. **Introdução ao Geoprocessamento:** Sistema de Informação Geográfica. Uberlândia: UFU, 1996. 104 p.

SALGADO, M.P.G. **Avaliação dos dados SRTM e GDEM aplicados à modelagem do fator topográfico da USLE.** 2011. 149p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

SILVA, A.M.; SCHULZ, H.E.;CAMARGO, P.B. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas.** São Carlos: RIMA, 2003. 158p.

SILVA, E.F. da. **Mapas de solos produzidos em escalas e épocas distintas**. 2000. 177 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SILVA, F.F.; CANDEIAS, A.L.B. Dados SRTM: como utilizá-los? Um exemplo na Ilha de Itamaracá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Departamento de Engenharia Cartográfica, 2006. 1 CD-ROM.

SILVA, H.P.; MATTOS, J.T. Indicação de zonas de proteção ambiental para o desenvolvimento a partir da compartimentação fisiográfica da parte norte do litoral de Pernambuco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p.975-982.

SILVA, R.M.; PAIVA F.M.L.; SANTOS, C.A.G. Análise do grau de erodibilidade e perdas de solo na bacia do Rio Capiá baseado em SIG e sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 2, n. 1, p. 26-40, 2009.

SILVA JUNIOR, O.M.; FUCKER,M.A. Avaliação da correlação entre modelo digital de elevação aster e carta topográfica para a região de Marabá – estado do Pará. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. **Anais…** Recife:UFPE, 2010. p.1-4.

SKIDMORE, A.; TURNER, B. Assessing the accuracy of resource inventory maps. **Proceedings for Global Natural Resource Monitoring and Assessments:** Preparing for the 21th Century, Venice, v. 2, p. 524-535, 1989.

SMITH, D.D. Interpretation of soil conservation data for field use. **Agricultural Engineering,** St. Joseph, v. 22, p. 173-175, 1941

SOUSA J.M.; LOCH R. Como melhorar a qualidade geométrica do modelo digital de elevação da Shuttle Radar Topography Mission, SRTM-3. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianopolis. **Anais...** Florianopolis, 2007. p. 1369-1376.

SPAROVEK, G.;LEPSCH, I.F. Diagnostico de uso e aptidão das terras agrícolas de Piracicaba. In: TAUK-TORNISIELO, S.M.; GOBBI, N.; FORESTI, C.; LIMA, T.M. **Análise ambiental estratégias e ações**. Piracicaba: T.A Queiroz, 1995. cap. 7, p. 273-280.

STAR, J.; ESTES, J. **Geographic information systems:** an introduction. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 303p.

STEIN, D.P.; DONZELLI, P.L.; GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W.L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópico na Bacia do Peixe-Paranapanema**.** In:SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., 1987, Marília. **Anais...** ABGE/DAEE, 1987. p. 105-135.
STEINER, D. Time dimension for crop surveys from space. **Photogrammetric Enginnering and Remote Sensing**,Falls Church, v. 36, n. 2, p. 187-194, 1970.

STORY, M.; CONGALTON, R.G. Accuracy assessment: a user's perspective. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 61, p. 391-401, 1986.

TOMAZONI, J.C.; MANTOVANI, L.E.; BITTENCOURT, A.V.L.; ROSA FILHO, E.F. A sistematização dos fatores da eups em sig para quantificação da erosão laminar na bacia do rio anta gorda - PR. **Estudos Geográficos,** Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 1-21, 2005.

TOUTIN, T.; GRAY, A.L. State-of-the-art of extraction of elevation data using satellite SAR data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Enschede, v. 55, n. 1, p. 13-33, 2000.

VALERIANO, M.M. Mapeamento da declividade em microbacias com sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 303-310, 2003.

WANG, G.; GERTNER, G.; FANG, S.; ANDERSON, A.B. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM Images and a slope map. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Falls Church, v. 69, n. 8, p. 889-898, 2003.

WEILL, M.A.M. **Estimativas da erosão do solo e avaliação do seu impacto na microbacia do Ceveiro (Piracicaba, SP) através do índice de tempo de vida**. 1999. 100p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

WEILL, M.A.M.; FIORIO, P.R.; SILVA, E.F. da; RANIERI, S.B.L.; SPAROVEK, G.; SCHUNG, E. Erosion and land degradation in the Ceveiro Watershed, Brazil. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 1998, Montpellier. **Proceedings...** Montpellier, 1998. p.1-6.

WILLIAMS, J.R.; BERNDT, H.D. Determining the universal soil loss equation’s length-slope factor for watersheds. In:Eronsion and solid matter in inland waters. **Soil erosion:** prediction and control. Ankeny: SCSA, 1977. p.217-225.

WISE, S. Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. **Hydrological Processes**, Malden, v. 14, p. 1909-1929, 2000.

ZINGG, A.W. Degree and length of land slope as it affects soil loss in runofff. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v. 21 p. 59-64, 1950.

ZOCOLOTTI FILHO, C.A.; CENTENO, J.A.S. Análise da qualidade de informações altimétricas geradas pelo sistema Aster. In: SIMPÓSIO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 1., 2004, Recife. **Anais...** Recife: Editora, 2004. v. 1, p.1-10.

ANEXOS

ANEXO A – Precipitação mensal Base convencional Esalq – Piracicaba – SP

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
1917	295,7	135,8	58,9	116,2	58,5	13,0	13,3	5,4	62,2	58,4	19,8	194,3	1031
1918	291,0	81,3	152,1	25,2	22,9	15,8	55,1	26,9	68,6	130,9	125,9	127,2	1123
1919	262,8	96,2	30,6	78,0	38,9	170,3	0,0	54,6	44,6	68,2	142,0	102,4	1089
1920	209,9	135,3	164,0	50,2	12,3	16,0	42,9	16,8	111,3	82,3	217,6	161,6	1220
1921	265,7	101,5	17,8	31,7	26,5	25,3	3,8	26,5	35,2	59,7	37,7	180,6	812
1922	387,2	176,6	117,2	29,5	17,4	72,6	22,0	76,2	7,7	91,7	109,7	105,6	1213
1923	219,7	144,4	311,4	89,8	82,9	114,7	5,7	31,5	200,5	41,7	60,7	125,5	1429
1924	108,5	154,2	139,5	15,4	53,9	19,0	0,0	13,0	15,5	15,2	128,4	231,8	894
1925	117,9	55,2	84,7	40,4	59,0	73,5	33,0	0,0	42,7	110,7	230,3	159,4	1007
1926	237,0	20,6	214,4	238,5	33,7	32,0	139,2	59,8	69,0	67,6	74,4	360,8	1547
1927	200,6	259,4	189,6	22,5	0,0	31,0	6,0	63,1	257,4	126,1	48,8	109,5	1314
1928	195,5	220,6	155,9	34,2	61,6	66,3	29,3	1,7	0,0	58,8	83,2	272,0	1179
1929	490,9	331,6	32,6	68,2	119,8	4,8	11,8	50,2	33,0	13,4	99,2	303,0	1559
1930	257,0	427,8	23,4	41,0	14,0	22,0	68,5	47,1	52,6	116,4	108,0	328,6	1506
1931	324,2	334,4	184,3	103,0	37,0	16,0	38,9	11,0	138,2	65,8	214,0	149,1	1616
1932	204,2	95,7	124,8	30,4	98,2	44,0	5,6	46,2	48,6	113,4	174,8	336,4	1322
1933	119,6	150,0	41,6	4,0	77,0	53,8	7,0	15,4	50,8	109,2	40,1	302,0	971
1934	220,0	103,4	46,7	21,6	0,0	37,5	0,0	6,0	59,8	70,4	122,9	415,9	1104
1935	91,2	194,4	140,0	68,8	6,8	53,8	16,4	18,4	223,8	211,4	82,0	184,7	1292
1936	84,8	203,4	202,4	37,8	26,6	2,0	20,8	106,4	88,0	51,8	86,8	293,6	1204
1937	139,0	95,8	206,2	203,0	74,4	46,0	0,0	67,0	13,8	155,6	121,8	141,8	1264
1938	158,3	120,6	107,0	66,0	85,5	0,0	13,0	32,5	80,3	171,0	129,6	209,6	1173
1939	275,0	279,9	169,9	49,7	129,8	58,7	20,4	0,0	19,3	41,9	198,9	259,0	1503
1940	220,8	461,7	96,8	18,0	15,1	4,2	1,1	3,2	28,1	95,8	196,1	198,0	1339
1941	215,1	128,7	84,5	56,2	15,2	49,2	15,3	17,6	190,4	115,7	217,0	186,6	1292
1942	136,6	197,2	206,7	84,3	21,8	46,4	57,5	4,0	22,8	24,3	171,3	201,1	1174
1943	325,6	141,4	269,8	37,1	1,2	33,0	0,7	13,5	72,9	215,8	163,3	359,9	1634
1944	118,7	215,2	182,9	23,0	0,9	13,1	2,7	0,0	13,3	183,5	260,1	158,7	1172
1945	322,0	256,7	85,5	120,5	14,3	187,1	29,6	1,6	29,2	126,4	232,9	162,7	1569
1946	202,9	192,6	112,8	18,1	16,9	19,6	88,9	0,3	21,3	96,2	133,4	82,0	985
1947	352,7	338,9	130,7	10,2	39,1	15,0	48,1	68,6	124,0	90,1	114,6	219,6	1552
1948	313,5	247,7	104,3	38,6	52,6	4,1	40,0	15,4	9,1	147,5	147,0	109,0	1229
1949	210,8	206,5	183,3	54,6	49,0	45,0	0,0	5,8	15,8	100,5	45,1	420,5	1337
1950	231,0	321,7	161,1	121,6	8,6	47,9	13,0	0,0	11,1	190,2	179,8	134,0	1420
1951	284,7	215,4	160,4	22,2	8,3	15,5	8,0	33,2	2,3	128,6	222,6	91,0	1192
1952	207,0	218,6	102,4	52,5	0,0	96,9	4,8	7,0	40,7	105,4	117,9	153,6	1107
1953	251,6	107,4	161,8	74,4	27,7	24,3	14,9	23,2	75,6	97,7	82,3	152,4	1093
1954	189,4	204,2	136,6	30,5	99,1	69,7	8,7	0,0	23,2	87,3	39,7	193,0	1081
1955	272,8	63,7	194,5	120,0	57,3	26,5	10,9	86,5	1,0	64,8	127,6	197,3	1223
1956	60,8	136,9	47,1	90,6	114,5	70,2	53,3	74,0	72,7	72,6	23,1	137,0	953
1957	313,6	128,3	185,6	66,9	4,2	20,1	90,6	51,7	123,4	64,2	57,1	197,3	1303
1958	295,6	143,8	167,6	128,2	172,4	70,1	15,2	3,1	96,4	121,2	124,5	151,2	1489
1959	258,4	162,5	196,2	45,2	29,4	19,3	0,1	72,3	23,2	79,6	246,7	191,1	1324
1960	371,9	332,8	74,6	38,4	80,6	63,3	0,0	22,3	8,7	123,1	93,7	314,2	1524
1961	135,5	195,5	129,6	101,7	34,5	14,6	0,1	11,9	2,2	43,4	138,3	157,9	965
1962	132,3	246,0	329,0	17,2	30,8	51,7	20,5	42,0	32,2	198,9	97,3	201,6	1400
1963	308,4	110,6	56,0	5,0	4,2	0,0	0,0	7,6	3,6	148,7	163,4	148,4	956
1964	69,4	202,6	11,8	10,7	44,0	15,0	77,0	18,2	61,3	161,8	52,7	268,4	993
1965	326,6	278,4	147,5	55,3	78,3	27,8	50,9	3,8	51,3	112,1	99,1	292,0	1523
1966	252,1	198,8	55,6	18,2	43,7	0,0	12,1	27,8	128,7	130,4	85,2	225,4	1178
1967	272,2	196,6	152,1	3,6	4,2	81,5	13,4	0,0	88,7	210,5	77,5	154,9	1255
1968	322,5	91,5	45,5	32,7	14,0	27,1	17,6	36,9	16,3	121,4	62,8	235,5	1024
1969	126,1	40,9	173,8	53,1	36,6	30,0	15,5	31,1	59,3	83,4	212,7	198,9	1061
1970	263,8	293,4	96,5	83,2	75,1	40,2	10,5	98,7	90,6	83,7	83,9	138,8	1358
1971	180,6	81,3	173,5	28,3	91,4	109,3	35,6	3,3	35,9	151,4	34,2	178,7	1104
1972	255,1	238,7	92,1	101,5	64,0	5,3	145,1	51,6	38,8	181,6	122,8	91,8	1388
1973	121,1	115,2	83,5	88,0	36,0	35,7	59,6	19,4	55,5	174,6	121,7	328,6	1239
1974	147,1	60,1	301,3	21,4	6,6	115,8	0,0	5,0	24,0	126,6	168,4	247,7	1224
1975	168,1	357,3	32,9	37,3	11,3	0,0	39,6	32,0	55,1	98,0	236,8	315,1	1383
1976	295,2	287,0	140,9	19,2	46,4	61,8	77,7	61,4	124,8	168,3	127,4	191,4	1602
1977	322,7	37,3	199,8	107,7	0,9	46,8	6,7	19,7	91,4	66,7	134,8	238,1	1273

Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Total de Precipitacao em milimetros (Continuação)

ano	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	total
1974	147,1	60,1	301,3	21,4	6,6	115,8	0,0	5,0	24,0	126,6	168,4	247,7	1224
1975	168,1	357,3	32,9	37,3	11,3	0,0	39,6	32,0	55,1	98,0	236,8	315,1	1383
1976	295,2	287,0	140,9	19,2	46,4	61,8	77,7	61,4	124,8	168,3	127,4	191,4	1602
1977	322,7	37,3	199,8	107,7	0,9	46,8	6,7	19,7	91,4	66,7	134,8	238,1	1273
1978	112,6	111,6	85,1	15,5	74,0	40,6	78,9	4,6	57,2	58,2	138,9	96,6	874
1979	122,4	114,4	84,7	63,9	96,9	0,0	28,0	81,4	98,6	101,4	102,8	105,7	1000
1980	147,6	163,3	42,3	165,3	13,4	36,3	0,0	22,6	62,5	52,5	145,2	185,1	1036
1981	290,1	71,2	65,5	74,5	44,9	68,5	1,6	3,6	5,9	231,2	167,2	211,2	1235
1982	260,0	221,8	132,3	125,7	62,7	162,7	24,5	44,7	8,1	254,5	210,2	215,0	1722
1983	207,5	283,9	225,6	189,5	334,7	174,0	24,0	2,2	197,4	129,1	88,4	161,4	2018
1984	91,5	18,7	47,1	51,5	45,9	0,0	8,9	112,1	90,4	27,0	201,1	196,0	890
1985	131,8	118,6	203,1	134,5	42,6	22,5	1,5	21,8	76,4	11,3	134,3	71,7	970
1986	143,0	96,2	320,8	47,5	88,6	0,0	10,5	133,2	36,7	52,9	110,4	282,3	1322
1987	342,9	203,1	105,6	70,6	199,9	122,7	10,7	5,9	72,9	67,0	113,3	190,5	1505
1988	185,3	328,3	194,3	140,0	104,3	26,8	0,0	0,0	4,1	196,9	86,0	200,4	1466
1989	370,8	298,3	99,0	103,9	33,0	47,0	85,2	32,0	36,1	46,3	99,9	195,1	1447
1990	271,4	145,9	240,2	37,2	47,1	12,7	134,6	40,9	61,0	125,4	124,4	61,1	1302
1991	266,6	217,6	431,9	129,6	42,1	35,1	15,2	4,7	68,9	70,5	56,8	194,5	1534
1992	99,2	72,4	232,7	79,9	73,8	0,6	36,6	11,1	87,5	242,1	232,3	142,2	1310
1993	179,9	232,1	155,9	57,7	119,7	47,0	13,7	51,8	154,4	73,4	91,6	146,4	1324
1994	134,8	154,4	222,7	114,9	56,2	36,7	24,7	0,0	0,5	126,8	249,2	260,8	1382
1995	197,3	415,6	194,6	85,7	64,2	23,5	59,1	1,2	37,6	190,2	156,3	222,2	1648
1996	314,8	258,3	146,5	12,0	36,3	23,3	2,3	23,7	135,2	238,5	212,0	188,3	1591
1997	352,2	87,1	73,1	22,0	55,0	124,5	15,4	15,9	95,0	62,8	264,8	186,7	1355
1998	121,2	362,2	127,8	66,7	97,6	26,6	21,8	21,8	89,3	183,1	26,6	292,6	1437
1999	382,8	198,3	210,8	89,0	51,3	68,6	2,7	0,0	85,9	28,5	52,1	269,9	1440
2000	235,9	124,0	185,3	0,8	5,3	5,2	60,4	84,4	91,2	114,2	239,2	196,2	1342
2001	229,6	92,7	164,2	24,1	60,6	19,9	27,2	44,2	48,4	173,3	152,4	204,2	1241
2002	320,2	187,9	272,4	27,2	112,4	0,0	23,4	79,6	45,6	49,4	176,4	164,7	1459
2003	302,4	58,6	180,9	55,2	54,7	9,2	16,4	17,8	12,1	89,2	168,0	139,9	1104
2004	196,4	194,0	79,1	92,3	105,9	49,7	78,4	0,0	7,1	156,9	105,9	99,8	1166
2005	238,7	67,8	111,6	30,7	164,3	42,5	8,1	24,1	38,4	120,4	117,8	127,1	1092
2006	240,5	176,2	154,0	33,7	2,0	18,6	32,4	17,4	54,7	80,3	200,2	251,7	1262
2007	267,0	241,9	80,5	36,8	58,4	22,6	169,3	0,0	1,9	92,6	120,3	188,6	1280
2008	418,5	153,7	132,4	174,6	72,4	43,5	0,0	68,7	46,1	108,7	24,3	153,0	1396
2009	162,0	143,5	125,1	21,8	10,6	55,1	61,6	61,4	143,8	56,7	196,5	274,3	1312
2010	250,2	158,6	99,0	76,4	24,4	16,7							
Media	230,3	176,1	159,5	71,3	68,1	43,4	33,4	32,0	65,2	113,1	145,3	190,8	1331,7
Total	8520,2	6513,9	5901,0	2636,3	2520,4	1607,1	1201,1	1150,9	2346,2	4070,9	5232,2	6867,5	47942,3

ANEXO B – Cálculo da erosividade para a região da MHC

Meses	Prec. (mm)	EI (MJ/ha) (mm/mês)
Janeiro	229,76	1594,53
Fevereiro	182,38	1076,77
Março	142,66	709,23
Abril	63,31	178,22
Maio	53,64	134,46
Junho	42,28	89,71
Julho	29,47	48,57
Agosto	29,60	48,94
Setembro	62,19	172,89
Outubro	109,81	454,55
Novembro	130,65	610,73
Dezembro	199,98	1259,43
Anual		1275,71
EI		6378,04

ANEXO C – Pontos utilizados para a composição do EQM e as respectivas altitudes em metros

Ponto	Coordenadas Planas		Altitude (metros)			
	x	y	1:10000	1:50000	ASTER	SRTM
1	218575,25	7495254,30	560,737	556,778	573,000	553,984
2	218369,29	7494513,49	545,797	541,197	552,805	545,282
3	219838,51	7494719,27	560,799	559,558	560,916	560,068
4	217971,04	7493498,34	505,000	500,843	508,114	503,371
5	218740,00	7493909,96	532,493	535,327	536,556	528,246
6	220456,43	7494307,77	565,000	563,848	568,000	569,566
7	218190,75	7492469,67	504,368	510,965	507,098	505,235
8	219289,27	7492908,58	532,390	540,724	537,632	536,746
9	219948,36	7492743,98	564,037	564,037	567,079	558,446
10	220895,82	7493045,74	557,167	546,128	563,000	554,466
11	215156,15	7492469,71	497,900	502,068	500,971	504,915
12	215664,20	7492661,80	507,263	495,552	503,321	500,414
13	216446,86	7492771,42	510,000	501,572	507,915	508,812
14	217092,28	7493361,30	515,000	522,192	514,867	521,647
15	216927,47	7493841,38	521,258	526,898	524,154	531,531
16	214950,14	7491372,26	485,227	479,365	490,456	488,775
17	215938,86	7491372,29	485,528	486,591	491,731	484,056
18	216529,28	7491715,20	490,000	493,039	492,038	491,159
19	217147,16	7491701,49	500,143	501,605	509,963	501,737
20	217325,67	7492222,74	481,840	495,399	489,892	490,047

ANEXO D – Linguagem Legal utilizada para geração dos mapas de estimativa de perda de solo

Reclassificação do mapa de solos da MHC em grandes grupos.

```
{
Tematico solo ("Solo");
Tematico solorecl ("Soloreclass");
Tabela tabrecl (Reclassificacao);
tabrecl = Novo (CategoriaIni = "Solo)",
CategoriaFim = "Soloreclass";
ACt1 : PV,
ACt2 : PV,
ACt3: PV,
ACt4 : PV,
ACtq : PV,
ACtl1 : PV,
ACtl2 : PV,
PVAa1: PVA,
PVAa2 : PVA,
PVAal1 : PVA,
PVAal2 PVA,
PVAdq : PVA,
PVAdl : PVA,
PVAdv : PVA,
PVAe1 : PVA,
PVAe2 : PVA,
PVAe3 : PVA,
PVAeq : PVA,
PVAel1 : PVA,
PVAel2 : PVA,
PVAel3 : PVA,
PVAel4 : PVA,
PVe : PV,
TCp : TC,
TCpq : TC,
TCol1 : TC,
TCol2 : TC,
NVet : NV,
NVe : NV,
CXve : CX,
CXva : CX,
CXvbe : CX,
CXvbed : CX,
GX1 : GX,
GX2 : GX,
GX3 : GX,
RLa : RL,
RLd1 : RL,
RLd2 : RL,
RLe1 : RL,
RLe2 : RL,
```

```
RLe3 : RL,
RLe4 : RL,
RLe5 : RL,
RLe6 : RL,
RUbe : RY,

solo = Recupere (Nome = "Solo");
soloreclass = Novo (Nome = "Solosrec", ResX= 2.5, ResY=2.5, Escala =
10000);
soloreclass = Reclassifique (Solo, tabrecl);
}
```

Integração dos Fatores L e S

```
{
Numerico decliv ("Declividade");
Numerico rampa ("mapadistancia");
Numerico LS ("LS");
decliv = Recupere (Nome = "declividade");
rampa = Recupere (Nome = "mapadistancia");
LS = Novo (Nome = "FatorLS", ResX=2.5, ResY=2.5, Escala=10000, Min=0,
Max=30707.9199);
LS = 0.00984*rampa^0.63* decliv^1.18;
}
```

Ponderação das classes de solos (erodibilidade)

```
Tematico entrada1 ("RECLSOLO");
Numerico saida1 ("FatorK");
Tabela tab (Ponderacao);
entrada1= Recupere (Nome="solosegundaordem");
saida1= Novo (Nome="K", ResX=2.5, ResY=2.5, Escala=10000);
tab = Novo (CategoriaIni = "RECLSOLO" ,
"PVA" : 0.034,
"PV" : 0.044,
"TC" : 0.042,
"NV" : 0.02,
"CX" : 0.037,
"GX" : 0.035,
"RL" : 0.040,
"RY" : 0.040,
"represa" : 0,
"urbano" : 0);
saida1=Pondere(entrada1,tab);
}
```

Ponderação das classes de uso da terra

```
{
```

```
Tematico uso ("Uso");
Tabela cpu (Ponderacao);
Numerico cp ("FatorCP");
uso = Recupere (Nome = "Usoatual");
cpu = Novo (CategoriaIni = "Uso",
“Urbano”                0,00000
“Vinhaça”               0,00000
“Corpos d’água”:        0,00000
“Piscicultura”:         0,00000
“Reflorestamento”:      0,00010
“Cana”:                 0,05000
“Mata”:                 0,00004
“Pastagem”:             0,12000
“Pastagem               0,25000;
degradada”:
cp = Novo (Nome = "Fatorcp", ResX=2.5, ResY=2.5, Escala = 10000, Min=0,
Max=1);
cp = Pondere (uso,cpu);
}
```

Integração dos fatores da EUPS

```
{
Numerico R ("FatorR");
Numerico K ("FatorK");
31
Numerico LS ("FatorLS");
Numerico CP ("FatorCP");
Numerico EUPS ("EUPS");
R = Recupere (Nome = "erosividade");
K = Recupere (Nome ="FatorK");
LS = Recupere (Nome = "FatorLS");
CP = Recupere (Nome = "CP");
EUPS = Novo (Nome = "EUPS", ResX=2.5, ResY=2.5, Escala=10000, Min=0,
Max=2000);
EUPS = R*K*LS*CP;
```