



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-6342-TDI/594

**ANÁLISE DA EROSÃO DO SOLO USANDO A EUPS, ATRAVÉS
DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO
E GEOPROCESSAMENTO**

Gonzalo Álvaro Vázquez Fernández

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo
Dr. Antônio Roberto Formaggio, aprovada em novembro de 1996.

INPE
São José dos Campos
1996

528.711.7:631.459

VÁZQUEZ FERNÁNDEZ, G.E.

Análise da erosão do solo usando a EUPS, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento / G.A. Vázquez Fernandez. - São José dos Campos: INPE, 1996.

163p. - (INPE-6342-TDI/594)

1. Erosão do solo. 2. Microbacias. 3. Sistemas de informação geográfica (GIS). 4. Encostas. 5. Equação universal de perda de solo (EUPS). 6. Imagem orbital. 7. Fotografia aérea. I. Título.

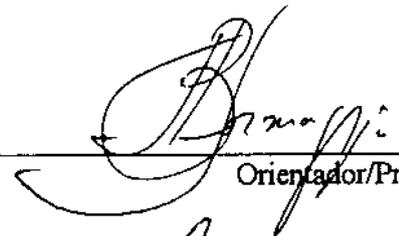
“Porei nas nuvens o meu arco; será por sinal da aliança entre mim e a terra. Sucederá que, quando eu trazer nuvens sobre a terra, e nelas aparecer o arco, então me lembrarei da minha aliança, firmada entre mim e vós e todos os seres viventes de toda carne...”

Genesis 9:13 a 15.

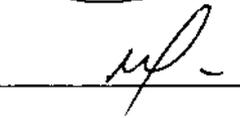
Pois todo o nosso trabalho, dos técnicos em sensoriamento remoto, só é possível porque o Senhor nos deu o arco-íris, luz decomposta que expressa o princípio físico base de nossos estudos.

Aprovada pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de Mestre em
Sensoriamento Remoto

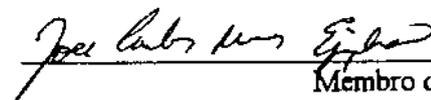
Dr. Antonio Roberto Formaggio


Orientador/Presidente

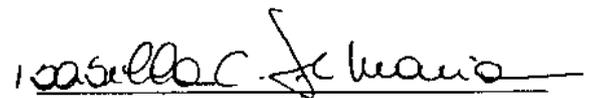
Dr. Mario Valerio Filho


Orientador

Dr. José Carlos Neves Epiphânio


Membro da Banca

Dra. Isabella Clerici De Maria


Membro da Banca
- Convidada -

Candidato: Gonzalo Álvaro Vásquez Fernández

São José dos Campos, 14 de novembro de 1996

Dedico este trabalho à Cristiane, preciosa parceira, minha pérola, e à Ana e ao Pedro, a herança que o Senhor me deu, que sempre me deram a alegria necessária para seguir em frente.

AGRADECIMENTOS

Agradeço por este trabalho primeiramente ao Senhor Deus Pai Todo Poderoso, que até aqui me trouxe, que me colocou nesta posição, me deu sabedoria suficiente para chegar àquilo a que me objetivei três anos atrás e me sustentou e me deu forças, a mim e minha família.

Agradeço à Cristiane, que dedicou parte de seu tempo e projetos esperando pacientemente a conclusão desta minha empreitada. À Ana e ao Pedro, cujos sorrisos sempre foram um alento de renovação.

Agradeço a meus pais, que me passaram valores dos quais só tenho a me orgulhar, que com liberdade e confiança me deram asas, que com amor clamaram em silêncio ao Senhor por mim, que dedicaram todos os seus esforços para que seus filhos tivessem uma história de sucesso.

Agradeço ao colega Formaggio, cujo arreo firme me permitiu uma viagem com partida e com destino. Cujas palavras foram sempre de estímulo e nunca de desânimo.

Agradeço aos colegas de curso, que, havendo oportunidade, me estenderam seus braços e me deram uma mão.

À amiga Etel meu muito obrigado por três anos de dedicação. Aos docentes e coordenadores do curso, por terem dedicado seu tempo à tarefa de transmitir conhecimento, direcionar esforços, organizar a PG-SER.

Agradeço à Silvana e aos colegas da DPI a dedicação na solução de minhas dúvidas. Ao pessoal do LTID por ter sempre procurado fazer do laboratório um local de trabalho e de convívio, apesar dos encentos usuários. Às secretárias da DSR e OBT, que sempre me trataram com a mesma dedicação dada a seus superiores.

Agradeço ao pessoal da Biblioteca a atenção, a presteza e a organização com que levam seu dia-a-dia. Ao Joaquim e ao Coimbra todas os esforços que me dedicaram neste curto convívio.

Enfim, agradecimentos não faltam para dar. Porém, citar todos é tarefa hercúlea e passível de injustiça. Mas a *todos* com quem eu convivi neste período, meu muito obrigado. Pois ninguém trabalha satisfeito se seu ambiente de trabalho não tiver recebido a visita das faxineiras. Ninguém faz nada de útil sem receber um bom dia, mesmo que ache que pode fazer. Nada é fruto das mãos de uma única pessoa. Mesmo o Senhor disse: “*Façamos o homem à nossa semelhança*”. E à sua semelhança, inevitavelmente, *fazemos*. Por isso, mais uma vez, obrigado.

RESUMO

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) tem sido usada em ambiente de sistema de informações geográficas com o objetivo de desenvolver uma metodologia que forneça subsídios ao planejamento agrícola e ambiental. Dados de sensoriamento remoto têm sido usados para mapear a face mais dinâmica da erosão: o uso e o manejo do solo. Valores superestimados de Potencial Natural de Erosão, e de estimativa total de perdas de solo por erosão foram obtidos em vários trabalhos de modelagem bidimensional da EUPS, porém. Contudo, devido à incipiência de trabalhos nesta área, não há ainda trabalhos que expliquem a causa desta superestimativa. Este trabalho foi desenvolvido no Município de Sumaré, São Paulo, na microbacia do córrego Pinheirinho. Desenvolveram-se duas hipóteses: a de que o mapeamento dos fatores antrópicos, tendo como base a fotografia aérea ou a imagem orbital, geram resultados similares, e a de ser o fator topográfico a causa primária da obtenção de valores elevados na integração final da EUPS quando usada em áreas que ultrapassam os 300m de comprimento de encosta. A imagem orbital e a fotografia aérea geraram resultados diferentes quanto às estimativas pontuais de erosão em termos de intensidade, mas são bastante coerentes quanto à indicação sinótica dos locais com maior risco de erosão. Estes locais concentram-se em torno da drenagem e refletem a influência do fator topográfico. Os resultados indicaram também a necessidade de uma modelagem mais rigorosa do comprimento de encosta para estimar perdas de solo por erosão em microbacia, buscando uma equação de regressão para comprimento de encosta e fator topográfico adequada a longas encostas. Deve-se objetivar também um modelo bidimensional do comprimento de encosta que considere os diversos fatores que o alteram, quais sejam: estradas, terraços e outras estruturas físicas que alterem a direção e a velocidade do escoamento da água. Finalmente, mostrou-se ser possível realizar toda a modelagem e integração dos dados dentro de um único sistema de informações geográficas, evitando migração entre sistemas e aplicativos de informática. A única restrição é quanto à escolha do sistema de informações geográficas apropriado, o qual tem que possuir funcionalidade suficiente para permitir o manuseio dos dados sob numerosos aspectos.

SOIL EROSION ANALYSIS, USING THE USLE, USING BOTH REMOTE
SENSING AND GEOPROCESSING TECHNIQUES

ABSTRACT

The Universal Soil Loss Equation (USLE) has been used within geographical information systems targeting the development of means of producing basic planning information. Remote sensing data have been used to map the most dynamic side of erosion: land use and management. Overestimations of erosion and Natural Erosion Potential have been regularly obtained, though, in bidimensional models. Due to the newness of these studies there is not enough data trying to explain why these overestimations occur. This present work developed two hypothesis: first, that the derivation of the land use factor (factor C) based either on aerophotography or orbital imagery takes to similar final results, in terms of soil loss prediction, and that the topographic factor is the main cause of out-of-scope values when using USLE for slopes longer than 300m. TM-Landsat imagery and aerial photography produced different results in terms of punctual erosion, but much coherent in a synoptic view of the geographical distribution of erosion on the catchment. Higher values concentrated, for both products, around natural drainage, which reflects the strong influence of the topographic factor, mainly the slope-length fraction. The results show the necessity of a more accurate regression equation for slope length if USLE is to be used to predict erosion in small catchments. This model shall support the presence of values as high as those found in nature. A bidimensional model for slope length must also consider the presence of roads and terracing, as well as other structures that might alter run-off direction. Finally, it was demonstrated that it is possible to conduct all the modeling steps, including out-put, within one geographic information system alone, avoiding time consumption through software migration, the only limitation being the correct choice of the system to be used.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xvii
LISTA DE TABELAS.....	xix
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</u>	3
2.1.O modelo EUPS.....	3
2.1.1.Formulação	3
2.1.1.1.Erosividade (R).....	4
2.1.1.2.Erodibilidade (K)	5
2.1.1.3.Fator topográfico (FT)	6
2.1.1.4.Uso-manejo do solo (C).....	8
2.1.1.5.Práticas conservacionistas (P).....	9
2.1.2.Grandezas derivadas da EUPS.....	9
2.1.2.1.Tolerância de perdas	9
2.1.2.2.Potencial Natural de Erosão (PNE).....	10
2.1.2.3.Perdas Relativas por Erosão (Pre).....	11
2.1.2.4.Índice de criticidade (IC)	12
2.1.3.A EUPS em relação a outros modelos	12
2.2.Sensoriamento remoto	14
2.2.1.Imagens orbitais multiespectrais.....	15
2.2.2.Extração de informações no sensoriamento remoto	16
2.2.2.1.Processamento digital	17
2.3.Geoprocessamento	22

2.3.1. Entidades de representação	22
2.3.2. Sistemas de informações geográficas	23
2.3.3. Representação digital de dados geográficos	24
2.3.4. Operações em geoprocessamento	26
2.4. Modelo EUPS em ambiente sig	27
<u>CAPÍTULO 3 - ÁREA DE ESTUDO</u>	31
<u>CAPÍTULO 4 - MATERIAL</u>	35
4.1. Dados de sensoriamento remoto	35
4.2. Mapas e cartas	35
4.3. Dados numéricos	35
4.4. Sistemas e equipamentos	36
<u>CAPÍTULO 5 - PROCEDIMENTOS</u>	39
5.1. Contextualização	39
5.1.1. Delimitação da microbacia	40
5.2. Visitas à microbacia	41
5.3. Modelagem das variáveis independentes	42
5.3.1. Fator R	42
5.3.2. Fator K	42
5.3.3. Fator topográfico (FT)	43
5.3.4. Fator C	48
5.3.4.1. Dados provenientes de foto	50
5.3.4.2. Dados provenientes de imagem	50
5.3.5. Fator P	52

5.3.6.Tolerância de perdas de solo (T).....	53
5.4.Integração.....	54
5.4.1.Estimativas de perdas de solo por erosão	54
5.4.2.Avaliação da EUPS.....	55
<u>CAPÍTULO 6 - RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	57
6.1.Delimitação e estudo da microbacia	57
6.2.Visitas ao campo.....	58
6.3.Modelagem das variáveis independentes.....	58
6.3.1.Fator R	60
6.3.2.Fator K e tolerâncias de perdas de solos.....	61
6.3.3.Fator topográfico (FT)	63
6.3.3.1.Declividade de encosta	64
6.3.3.2.Comprimento de encosta	66
6.3.4.Fator C	70
6.3.4.1.Fotografia aérea	72
6.3.4.2.Imagem	76
6.3.5.Fator P	81
6.4.Integração dos dados.....	84
6.4.1.Potencial Natural de Erosão (PNE).....	85
6.4.2.Fator antrópico (CP)	90
6.4.3.Perdas Relativas por Erosão (PRE).....	93
6.4.4.Índice de Criticidade (IC)	98
<u>CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES</u>	105

<u>CAPÍTULO 8 - COMENTÁRIOS</u>	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109
APÊNDICE A - Tabela com numeração das UM, ocupação no verão e inverno, classe de rotação agrícola, classe de fator C e valor de fator C adotado.	117
APÊNDICE B - Tabelas de cálculo do fator C para cada rotação	125
APÊNDICE C - Programas usados em LEGAL para manipulação e integração das variáveis independentes.....	129

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Efeito da varredura e do formato da Terra no tamanho do pixel. Adaptada de Richards, 1986.	18
2.2 - Exemplos de efeitos das mudanças de atitude, velocidade e altitude da plataforma em uma imagem. A cena sem correção em pontilhado e a cena corrigida em linha sólida.	19
3.1 - Localização esquemática da bacia do córrego Pinheirinho, no município de Sumaré (SP).	32
5.1 - Fluxograma de trabalho.	41
6.1 - Limites da microbacia, estradas vicinais e talhões usados no mapeamento dos fatores C e P a partir da fotografia.	59
6.2 - Gráfico da variação anual das médias das chuvas e do índice EI30.	61
6.3 - Solos da microbacia do Pinheirinho. Extraída de Oliveira et al. (1979).	64
6.4 - Ábaco triangular utilizado na caracterização da declividade, calculado a partir de De Biase (1982). Sem escala.	66
6.5 - Carta clinográfica da microbacia do Pinheirinho.	68
6.6 - Comprimento de encosta com correção da influência das estradas e das áreas com terraços para a imagem.	71
6.7 - Sequências culturais a partir da fotografia aérea.	75
6.8 - Sequências culturais a partir da imagem TM-Landsat.	77
6.9 - Potencial Natural de Erosão com correção do comprimento de encosta para estradas e para terraços mapeados a partir da imagem.	88
6.10 - Fator antrópico (CxP) para a imagem, sem correção do comprimento de encosta.	91
6.11 - Fator antrópico (CxP) para a imagem, com correção do comprimento de encosta.	92
6.12 - Vala assoreada na UM 8.33.	95

6.13 -	Encosta em processo avançado de erosão.....	98
6.14 -	Perdas relativas por erosão a partir da fotografia com correção do comprimento de encosta para estradas e terraços.	99
6.15 -	Perdas relativas por erosão a partir da imagem com correção do comprimento de encosta para estradas e terraços.	100
6.16 -	Índice de criticidade (IC) para a estimativa de erosão a partir da fotografia com correção do comprimento de encosta para estradas e terraços.....	102
6.17 -	Índice de criticidade(IC) para a estimativa de erosão a partir da imagem com correção do comprimento de encosta.	103

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Valores estimados de perdas toleradas de solo, em t/ha/ano, a partir de perdas toleradas expressas em mm.	10
5.1 - Valores do fator k para os solo presentes na microbacia do córrego pinheirinho (FONTE: Lombardi Neto, 1995).....	43
5.2 - Classes de declividade e valores de declividade usados na ponderação destas classes	44
5.3 - Exemplo dos parâmetros e valores usados para o cálculo do fator C, para cana renovada em setembro e cortada em fevereiro e para cana seguida de batata.....	49
5.4 - Exemplo dos parâmetros e valores usados para o cálculo do fator P, para cana renovada em setembro e cortada em fevereiro e para cana seguida de batata irrigada.	53
5.5 - Valores das tolerâncias de perdas de solo para as unidades presentes na microbacia do córrego Pinheirinho (FONTE: Lombardi Neto, 1995).	54
6.1 - Médias pluviométricas mensais para os anos usados no cálculo do fator "R", e valores mensais do índice EI ₃₀	60
6.2 - Fator k [t.mm/mj.h], tolerâncias de perdas de solos e área de cada unidade de solo encontrada na microbacia do Pinheirinho.	62
6.3 - Dados de granulometria, de S, T, V, pH e teor de C para um horizonte hipotético de aproximadamente 50 cm das unidades de solo encontradas na microbacia do pinheirinho.....	63
6.4 - Classes de declividade, valor usado na ponderação e área ocupada por cada classe [km ²].....	65
6.5 - Área ocupada pelas classes de comprimento de rampa para os 5 níveis de correção considerados (km ² , %)	67
6.5 - Comprimento médio e máximo de encosta para os diversos níveis de correção.....	70

6.6 -	Classes de sequências culturais identificadas na microbacia do córrego pinheirinho, valor do fator c^1 para cada sequência cultural e áreas ocupadas por cada sequência cultural.....	74
6.7 -	Percentual de amostras-teste classificadas dentro da classe à qual fora designada previamente.....	77
6.8 -	Relação entre classes resultantes da classificação da imagem e classes de fator C.....	80
6.9 -	Valores usados do fator P e área de cada classe de prática conservacionista para a fotografia e a imagem.....	82
6.10 -	Cálculo do fator P para as rotações culturais nas quais se alteram as práticas conservacionistas ao longo do ano agrícola estudado.....	84
6.11 -	Área de cada classe de potencial natural de erosão [km ²].....	86
6.12 -	Área [km ²] e valores máximos de perdas [t/ha.ano] relativas por erosão para a fotografia e a imagem, não corrigidas e corrigidas para comprimento de encosta.....	97
6.13 -	Classes de índice de criticidade [km ²] e [%].....	101

CAPÍTULO I:

INTRODUÇÃO

A erosão é um processo natural, através do qual se formou boa parte da paisagem superficial da Terra. Contudo, a ação do homem tem acelerado em muito este processo. E diversas instituições têm, de uma forma ou de outra, buscado alternativas aos processos produtivos que causam aumento de erosão.

Da experiência do Estado do Paraná no processo de controle da erosão, por exemplo, podem-se tirar algumas lições. A primeira é a necessidade de haver um engajamento de toda a comunidade envolvida no processo, desde os poderes locais constituídos até os produtores agrícolas, passando pelo corpo técnico. A seguir vem a direção adotada de trabalhar em microbacias. Finalmente, a necessidade de dispor de informações confiáveis que levem a atitudes efetivas contra a erosão.

Uma microbacia é um laboratório do ciclo da água na natureza, ocorrendo desde a precipitação até a drenagem da área através da rede de drenagem. Este ciclo não pode ser observado quando se trabalha em unidades que não respeitam a paisagem natural, como uma quadricula ou os limites municipais. Nesse aspecto Resende et al. (1995) vêem a microbacia como unidade natural básica, sobre a qual pode-se realizar um detalhamento progressivo sem perda do sentido do conjunto.

Conhecida a microbacia e suas peculiaridades, podem-se implementar atividades de controle de erosão baseadas na alteração das características morfológicas da drenagem principal e da paisagem como um todo. Isto torna mais fácil o engajamento da população local, pois esta passa a perceber os efeitos da erosão nos locais onde ela causa os maiores danos.

Para que um programa de controle de erosão tenha ação efetiva é necessário que os técnicos envolvidos no projeto tenham uma visão clara do problema. Isto quer dizer: saber porque existe um processo erosivo, onde ele é mais crítico e quais as medidas plausíveis. Se o projeto for de âmbito preventivo, estas informações se tornam mais difíceis de serem obtidas que se o projeto objetivar diminuir um processo já existente de erosão.

Tais informações podem ser fornecidas por modelos espaciais que simulem a erosão, como por exemplo, a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) (Wischmeier e Smith, 1978). Estes modelos são úteis não só para identificar áreas em, ou em vias de entrar em, processo de degradação por erosão, como também para que as autoridades possam decidir entre a necessidade ou não de se iniciar um programa de controle de erosão.

Gerar modelos bidimensionais de erosão exige que se conheçam os modelos conceituais de erosão e os modelos de representação espacial das diversas variáveis que compõem o modelo usado. No primeiro caso pode-se optar por usar um modelo empírico ou determinístico, ou então um modelo complexo e rigoroso ou um modelo mais simples e mais fácil de implementar e de tornar operacional.

A escolha da representação espacial exige que se conheça o comportamento da variável modelada para escolher o formato adequado de espacialização. Deve-se também saber como proceder os cálculos de uma variável no espaço bidimensional. Por último, mas não menos importante, é necessário coletar os diversos dados e transformá-los de uma forma que permita estes sejam integrados e gerem expectativas de erosão confiáveis e repetíveis.

A EUPS é um modelo matemático que estima as perdas de solo causadas pela erosão. Composta de cinco fatores ela discerne suscetibilidade natural à erosão de uma dada gleba da erosão induzida pela ação antrópica. Esta equação tem sido extensivamente estudada no Estado de São Paulo. Isto gerou uma base de dados que permitem o modelo seja operacional. No Brasil tem sido adotada no sentido de fornecer subsídios para o planejamento agrícola, tal qual Wischmeier e Smith (1978) a idealizaram.

Uma linha de trabalho tem sido gerar mapas de estimativas de erosão em ambientes de sistemas de informações geográficas, usando dados de sensoriamento remoto e a EUPS como modelo integrador. Porém, esta modelagem não tem fornecido dados suficientemente confiáveis como para se tornarem recomendações técnicas de imediato. A EUPS ainda deve ser melhor estudada antes de poder gerar modelos bidimensionais claros, objetivos, concisos e coerentes, que representem a realidade com o rigor necessário.

O presente trabalho usou o modelo da EUPS para estimar as perdas pontuais de solo em uma microbacia. Trabalharam-se duas hipóteses: a primeira, de que dois níveis diferentes de detalhamento dos fatores antrópicos (imagem orbital e fotografia aérea) na estimativa das perdas de solo geram resultados similares. A segunda hipótese é de que o fator topográfico especificamente é o responsável pelos altos valores de Potencial Natural de Erosão e conseqüentemente de Perdas Relativas por Erosão. Fazem-se também considerações sobre a modelagem do comprimento de encosta, para cálculo do fator topográfico, e se propõe uma alternativa de representação deste parâmetro, a qual permite uma maior resolução espacial.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O MODELO EUPS

Os primeiros estudos de predição de perdas de solo por erosão datam de 1940 na região do Corn Belt (Bertoni e Lombardi Neto, 1985). A atual equação de perdas de solo foi apresentada nos fins da década de 1950, após análise detalhada dos fatores condicionantes da erosão. O modelo atual foi apresentado por Wischmeier e Smith (1978).

A EUPS estima as perdas anuais médias de solo a longo prazo, numa determinada gleba sob um determinado uso. Ela leva em consideração os fatores mais significativos de condicionamento da erosão, quais sejam: topografia (declividade e extensão de encostas), tipo de solo, o potencial erosivo da chuva (intensidade e frequência), o uso e manejo, e as práticas conservacionistas.

Este modelo foi proposto para estimar a perda média de solo numa área específica e considerando um sistema de manejo e cultivo específico. Por este motivo (especificidade ao manejo e ao cultivo) sua aplicação em áreas extensas exige que certos cuidados sejam tomados.

Um dos maiores limitantes ao uso da EUPS em microbacias é a modelagem do fator topográfico. Os estudos com a EUPS se limitam a áreas com no máximo 300m de comprimento e algo em torno de 20% de declividade. Numa microbacia estes valores são comumente extrapolados. A ausência de modelos de regressão para o fator topográfico em função da declividade e do comprimento de encosta, adequados a microbacias, tem levado, na modelagem bidimensional da EUPS, à extrapolação dos limites de estudo da equação.

Outra limitação se refere ao mapeamento dos fatores antrópicos. Dados de sensoriamento remoto (imagens orbitais ou fotografias aéreas), apenas, não são suficientes para determinar com rigor as rotações culturais, visto o aspecto momentâneo das culturas, contra o aspecto de longo prazo de uma rotação cultural. A dinâmica agrícola é mui acelerada, tornando necessário o uso de dados detalhados de campo para que se possa definir bem as classes de rotação. Isto torna o processo de estimação oneroso, levantando a necessidade de buscar um meio termo, onde o detalhamento seja suficiente e o custo aceitável.

2.1.1.FORMULAÇÃO

A formulação básica da EUPS é a seguinte:

$$A = R.K.FT.C.P \quad (2.1)$$

- onde:
- A = valor computado da estimativa de perdas de solo por unidade de área por período em [t/ha/ano];
- R = fator de erosividade devido à chuva, expresso em [MJ.mm /ha.h];
- K = fator de erodibilidade do solo, que é a taxa de perda de solo por unidade do índice de erosividade, expresso em termos de [t.h/MJ.mm];
- FT = fator topográfico, que considera comprimento (Λ) e declividade de encosta (Θ), é a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação às perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive;
- C = fator devido à cobertura e ao manejo, é a relação esperada de perdas de solo em uma área com cobertura vegetal em relação a uma área sem cobertura vegetal, com o solo exposto;
- P = fator devido ao impacto de práticas conservacionistas, é a medida das perdas de solo sob certas práticas de controle de erosão em relação às perdas sofridas por um solo cultivado no sentido do declive.

As unidades exemplificadas estão de acordo com o Sistema Métrico, recomendadas pelo Sistema Internacional de Unidades (QGUM, s.d.).

2.1.1.1.EROSIVIDADE (R)

O fator R se refere ao potencial erosivo das chuvas. É estimado pelo índice EI_{30} . É calculado em termos de energia cinética (E) multiplicada pela intensidade (I) de uma chuva recorrente de duração de 30 minutos ou mais. Para o presente trabalho usou-se a seguinte formulação(Lombardi Neto, 1995, apud Kuntschik, 1996):

$$EI_{30} = 89,823(p^2/P)0.759 \text{ [MJ.mm/ha.h]}. \quad (2.2)$$

onde “ EI_{30} ” é o índice médio mensal de erosividade, “p” é a precipitação mensal média em milímetros, e “P” é a precipitação anual média, em milímetros. O índice médio

anual de erosividade para uma localidade é o resultado da soma dos índices médios mensais.

Este fator influencia fortemente o cálculo do fator uso e manejo. Geralmente, o preparo do solo, e sua maior exposição, coincidem com a maior intensidade das chuvas, concentrando os maiores valores em poucos meses do ano (Lombardi Neto, 1992). De Maria (1995, p. 67) encontrou valores diferentes de fator C para a cultura do milho, de acordo com a data de preparo do solo e de semeadura. Caso o milho seja plantado no mês de março, este valor é de 0,030, passando para 0,1104 se o milho for semeado no mês de dezembro. Esta diferença se deve à variação sazonal do potencial erosivo das chuvas, cujos maiores valores coincidem com o solo exposto se o milho for plantado em dezembro.

Pinto (1991) usou os valores apresentados por Lombardi et al. (1980). Também usou um valor único, por considerar sua área de estudo de pequena dimensão (14 x 16 km). Castro (1992), que também utilizou um valor único para este fator, baseou-se no mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo. Kuntschik (1996) calculou este fator a partir de dados pluviométricos do Município de Araras (sua área de estudo), fornecidos pelo DAEE, utilizando a mesma fórmula usada neste trabalho (equação inserir ref. Cruz).

IPT (1986), trabalhando em uma área de aproximadamente 4000 km², usou a fórmula desenvolvida por Lombardi Neto (1977) (equação 3.). A partir dos dados fornecidos pelo DAEE, contando com 96 postos pluviométricos, gerou-se um mapa de erosividade. Para tanto os valores de cada estação foram interpolados entre si, gerando uma grade de 9801 pontos de erosividade das chuvas.

2.1.1.2. ERODIBILIDADE (K)

A erodibilidade é definida como a suscetibilidade de um solo à erosão, e é uma propriedade inerente do solo. Depende basicamente da estrutura e textura do solo, as quais afetam a capacidade e a velocidade de infiltração das águas pluviais. Os solos com B textural, p.ex., à excessão da Terra Roxa Estruturada, são muito suscetíveis à erosão devido à baixa infiltração e relevo movimentado associado a estes solos. Já os Latossolos arenosos e Regossolos devem sua suscetibilidade à erosão à textura arenosa e longas encostas (Lombardi Neto, 1992).

De forma geral, este valor é obtido experimentalmente por instituições de pesquisa na área de solos (Pinto, 1991). Bertoni e Lombardi Neto (1985, p. 271) destacam que as medições experimentais são custosas e exigem muitos anos de pesquisa, para serem realizadas de acordo com a metodologia original da EUPS. Além disso, é difícil isolar os efeitos do solo dos efeitos dos outros fatores condicionantes da erosão. Por isso têm sido utilizados métodos que correlacionam as propriedades físicas dos solos com sua erodibilidade para determinação do fator K.

2.1.1.3. FATOR TOPOGRÁFICO (FT)

O fator FT (comprimento de encosta e intensidade da declividade da encosta) reflete a contribuição do relevo na estimativa de perda de solo.

Wischmeier e Smith (1978) apresentaram a seguinte equação para FT:

$$FT = (\Lambda/72,6)^m \cdot (65,41 \cdot \sin^2\Theta + 4,56\sin\Theta + 0,065) \quad (2.3)$$

onde Λ é o comprimento da encosta; Θ é a declividade da encosta; e m é um fator que depende da declividade, o qual varia de 0.2 a 0.5. A equação 7 é válida para o Sistema Inglês de Medidas.

A equação (2.3) é resultado da seguinte relação básica:

$$FT = (\Lambda/\Lambda_\mu)^m \quad (2.4)$$

onde Λ_μ é o comprimento da unidade experimental; e m é o mesmo fator m da equação 7, o qual depende da declividade. A diferença entre as duas equações se deve ao fato da primeira ser corrigida para relevos côncavos, convexos e pouco regulares.

Baseados na equação (2.3) Wischmeier e Smith (1978) propuseram o uso de um nomograma para a determinação expedita deste fator. Adequando este fator às condições do Estado de São Paulo, Bertoni e Lombardi Neto (1985) propuseram a seguinte equação para o fator topográfico, válida para o Estado de São Paulo:

$$FT = 0,00984 \cdot \Lambda^{0,63} \cdot \Theta^{1,18} \quad (2.5)$$

onde FT é o fator topográfico, Λ é o comprimento de encosta em metros e Θ é o grau de declividade em porcentagem.

Na modelagem bidimensional da erosão, utilizando a EUPS, cada fator encontra-se dentro de uma faixa de variação que respeita os limites experimentais de determinação destas variáveis. Ou então, sua formulação segue as recomendações de trabalhos e estudos específicos sobre o fator em condições experimentais. No caso do comprimento de encosta, os valores observados numa microbacia regularmente extrapolam os valores estudados experimentalmente.

Para explicitar esta questão far-se-á uma breve ponderação a respeito da definição desta grandeza e do método corrente de determiná-la. A colocação feita por Castro (1992), de que "não existe uma definição conceitual clara sobre a melhor maneira de estimar este fator", ainda é válida. Isto leva à procura de alternativas para a modelagem deste fator.

O comprimento de encosta é "a distância desde o ponto de origem do fluxo a montante até o ponto onde o gradiente de declividade decresce tanto que a sedimentação se inicia, ou a água do escoamento encontra um canal bem definido, o qual pode fazer parte de uma rede de drenagem ou ser um canal construído" (Smith e Wischmeier, 1947, citado por Wischmeier e Smith, 1978, p.14).

O comprimento de encosta pode ser medido sobre a carta planialtimétrica da área ou estimado a partir de uma relação entre alguma feição fisiográfica e o comprimento de encosta. Saiz (1996), Kuntschik (1996), Castro (1992), Pinto (1991) e IPT (1986) basearam-se neste conceito para calcular o comprimento de encosta. Sausen (1984) usou uma relação entre densidade de drenagem e comprimento de encosta. Chaves et al. (1995) relacionou comprimento de encosta com declividade.

Nenhum destes métodos incorpora dois fatores que afetam sobremaneira o valor de A. O primeiro é representado pelas áreas de deposição. A modelagem deste fator considera que todo o sedimento carreado do topo da microbacia e ao longo do caminho percorrido pela água chega ao exutório da microbacia e se perde definitivamente, o que não representa bem a realidade. Existem áreas de deposição, as quais não são resolvidas pela EUPS (IPT, 1986).

O segundo ponto não incorporado por estes métodos é a presença de estradas e terraços. Tanto as primeiras quanto os últimos interceptam o escoamento da água, diminuindo o comprimento de encosta. Ainda não foi proposto um modelo que incorpore estas variações devido à complexidade destas ponderações.

A relação entre feições fisiográficas e o comprimento de encosta não foi considerada para este trabalho por não haver um modelo aplicável à microbacia em estudo. Sausen (1980) e Chaves et al. (1995) usaram relações dessa natureza para determinar o valor do comprimento de encosta. Porém, o método usado por Sausen (1980) aplica-se a áreas com várias microbacias no total de sua área. E a relação usada por Chaves et al. (1995) não possui aplicação numa microbacia de 26 km². Esta foi desenvolvida para uma escala de 1:500.000 e utilizada na bacia do Rio São Francisco.

Vale a pena destacar que em geral os trabalhos que tratam do fator topográfico isoladamente limitam-se a valores baixos de comprimento de encosta. O Handbook N° 537, de Wischmeier e Smith (1978, p. 13), traz dados em seu nomograma e sua tabela limitados a 1000 pés (~330m) e a declividade de 20%. Castro e Zobeck (1986) fizeram uma avaliação do fator topográfico da EUPS. Os autores observaram declividades máximas de 20% e comprimentos de encosta máximos de 244m. De Maria (1996), numa revisão de 14 trabalhos sobre perdas de solo usando a EUPS encontrou a declividade e o comprimento de encosta limitados a 12,8% e 75m.

Ao contrário dos outros quatro fatores da EUPS, o fator topográfico extrapola os limites experimentais ao ser aplicado em microbacias. A erosividade respeita os limites impostos pela equação 2.2, citada na página 7. A erodibilidade se

limita aos valores já calculados em outros trabalhos, sendo modelada numa microbacia através da ponderação. Os fatores C e P mantêm-se dentro de sua faixa de variação, de 0 a 1. E na paisagem oferecida pela natureza facilmente encontramos declividades maiores que 20% e encostas mais longas que 300m.

2.1.1.4. USO-MANEJO DO SOLO (C)

O fator C expressa a influência da cobertura vegetal e das práticas culturais sobre a erosão do solo. De acordo com Wischmeier e Smith (1978) este fator depende de diversas variáveis, entre elas o clima, dossel, resíduos culturais e resíduos incorporados. Sua determinação é feita através de tabela que considera: a) a sucessão vegetal anual e seu manejo; b) os estádios das culturas de cada rotação; c) as Razões de Perdas de Solos (RPS) para cada estágio das culturas consideradas; e d) o valor de EI_{30} para cada período considerado nos estádios do item b supra (Bertoni e Lombardi, 1985).

Pinto (1991) determinou as classes de uso da terra a partir de imagens orbitais e a cada classe foi associado um valor de C. Usou fotografias aéreas para ajudar a obter dados a partir da interpretação das imagens orbitais.

Price (1993) também se baseou em dados orbitais multiespectrais para a determinação deste fator, nomeadamente, as bandas 2, 3, 4 e 5 do sensor TM - Landsat. Trabalhou sobre uma área semi-árida no Estado de Utah, Estados Unidos da América. O autor comparou a sensibilidade do fator C e das imagens TM (dentre outros parâmetro) à variação da cobertura vegetal e concluiu que as imagens TM-Landsat são mais sensíveis a esta que o fator C da EUPS. Isto é compreensível, se considerarmos que o fator C não pondera apenas a cobertura vegetal, mas o uso do solo e o manejo dado à cobertura ali presente.

Este trabalho mostra a limitação dos dados isolados de sensoriamento remoto na determinação do fator C. Para se chegar a uma caracterização correta do fator de uso e manejo tem de se usar dados ancilares à interpretação ou análise digital de um produto de sensoriamento remoto.

Kuntschik (1996) usou dados do sensor TM, fotos aéreas, dados de campo e dados fornecidos pelos produtores da área de estudo, como cartas da divisão dos talhões e histórico de cada talhão. Conhecendo, a partir desses dados, os talhões usados pelos produtores, designou a cada talhão uma rotação cultural. A imagem orbital serviu como base para mapeamento do uso do solo, e a fotografia aérea e as anotações feitas às visitas ao campo, como verdade de campo, para extração de informações. Usou processos automáticos de classificação e transformações radiométricas diversas, tais como segmentação, classificador supervisionado MaxVer e transformações de principais componentes.

2.1.1.5. PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS (P)

O fator P é definido como sendo a relação entre a perda esperada de solo quando a área é cultivada com alguma prática conservacionista em relação à perda de solo com o cultivo no sentido do declive.

Este fator reflete o impacto de práticas conservacionistas, como plantio em contorno ou terraços de cultivo intercalado, sobre a erosão. Na prática, para a melhor condição conservacionista, este valor seria $P = 0.2$ (cordões de vegetação permanente), e na pior situação este valor seria $P = 1.0$ (plantio morro abaixo) (Bertoni e Lombardi Neto, 1985).

Pinto (1991) utilizou um valor de $P = 0.5$ para o total de sua área de estudo, representando um mínimo de prática agrícola conservacionista. Este valor de P corresponde à prática de plantio em contorno. O autor usou este valor por ter considerado sua área de estudo como de nível tecnificado. Kuntschik (1996) usou um valor para as áreas plantadas com cana (0,5) e outro para as demais áreas (1,0), estas últimas sem práticas conservacionistas.

Wischmeier e Smith (1978, p.37) e Bertoni e Lombardi Neto (1985, p.280) alertam para o fato de que ao se utilizar a prática conservacionista de terraços o valor do comprimento de encosta (Λ) é igual à distância horizontal entre os terraços. O fator P, neste caso, assume o valor do plantio em contorno, pois o solo erodido deposita-se nos canais dos terraços, e considera-se perdido da área de plantio. Os primeiros autores ainda propõem se utilize um fator P igual ao de plantio com cordões permanentes vegetados para a prática de terraços quando se deseja determinar a erosão bruta ("gross erosion") de um microbacia.

2.1.2. GRANDEZAS DERIVADAS DA EUPS

2.1.2.1. TOLERÂNCIA DE PERDAS

A Tolerância de Perda de solo refere-se ao quanto de sedimentos que se admite um dado solo possa perder sem que tenha suas propriedades agrícolas essenciais diminuídas, mantendo-se em condições de produção por longos períodos (Bertoni e Lombardi Neto, 1985).

De acordo com Lombardi Neto (1992), os solos com B textural têm um limite de tolerância de perdas de solo por erosão um pouco menor que os solos com B Latossólico. Para os primeiros, estes limites variam de 4,5 a 13,4 t/ha/ano, e para os do segundo grupo, de 9,6 a 15,0 t/ha/ano.

Quando da ausência de dados de densidade global dos solos estudados, estes valores são expressos em milímetros, representando a lâmina de solo que se admite

seja retirada da área anualmente. Galindo e Margolis (1989) encontraram valores entre 0,09 e 0,98mm/ano para os solos observados. Assim como Lombardi Neto (1992), os autores encontraram que os solos com B textural possuem limites de tolerância de perdas menores que os solos com B latossólico.

Apenas a título ilustrativo, para se ter uma idéia da grandeza destas tolerâncias, pode-se adotar um valor médio de densidade global e estimar o valor das perdas toleradas encontradas por Galindo e Margolis (1989). Costa (1985) propõe valores de 1,25 a 1,50 para solos com baixo teor de Matéria Orgânica, sendo de 1,30 para solos argilo-arenosos. Considerando estes valores, e utilizando a equação 10 os solos estudados por Galindo e Margolis (1989) possuem perdas toleradas de solos entre 1,25 t/ha/ano e 14,70 t/ha/ano (Tabela 2.1). Estes valores são um pouco menores que os encontrados por Lombardi Neto (1992), porém bastante coerentes com eles, mesmo em se considerando a pouca precisão do valor de densidade global usado.

Para transformar os dados expressos em mm para t/ha usou-se a seguinte relação matemática entre massa e densidade global:

$$T[\text{ton/ha.ano}] = T[\text{mm}] \times Dg \times 10 \quad (2.6),$$

onde T representa as perdas toleradas e Dg a Densidade global.

TABELA 2.1 - VALORES ESTIMADOS DE PERDAS TOLERADAS DE SOLO, EM T/HA/ANO, A PARTIR DE PERDAS TOLERADAS EXPRESSAS EM MM.

		Tolerâncias de perda	
		Mínima	Máxima
		0,10	0,98
Dg mín.	1,25	1,25	12,25
Dg máx.	1,50	1,50	14,70

FONTE: Baseada em Galindo e Margolis (1989).

2.1.2.2. POTENCIAL NATURAL DE EROÇÃO (PNE)

O PNE estima o risco potencial de erosão de um solo, considerando não apenas suas propriedades intrínsecas, mas também as condições climáticas e topográficas às quais o solo está sujeito. Esta análise não considera a cobertura vegetal ou as práticas conservacionistas (IPT, 1986).

Para calcular o PNE são necessários os valores dos fatores R, K e FT:

$$PNE=R.K.FT. \quad (2.7)$$

A priori, esta grandeza expressa a suscetibilidade de uma determinada gleba à erosão, sem levar em conta os fatores antrópicos. Serve como indicação de onde ocorreria a maior ou menor erosão caso os fatores antrópicos (C e P) se mantivessem constantes.

Esta conceituação nos leva a concluir que a determinação desta grandeza independe dos fatores antrópicos. Porém, o comprimento de encosta (como apontado no item 2.1.1.3) pode ser alterado por fatores como presença de estradas e terraços.

As estradas são resultado da ação antrópica. Não são contudo consideradas no cálculo dos fatores C e P. Estas afetam tão somente o comprimento de encosta, e é neste fator que elas devem ser consideradas. Na seção 5.4.1, referente ao procedimento de determinação do comprimento de encosta, explica-se como se realizou esta ponderação no presente trabalho.

Os terraços são relacionados com o fator P. E como já explicado na Seção 2.1.1.3, estes podem ser ponderados como cordões vegetados ou como plantio em contorno. Esta última forma de considerar os terraços exige que se saiba onde estão os terraços antes de determinar o comprimento de encosta. I.e., a prática conservacionista observada determina qual o valor do comprimento de encosta, e conseqüentemente do PNE.

Verifica-se assim que o PNE é indiretamente dependente do fator P. O fator P, por sua vez, depende dos dados usados para determinação do uso do solo, como se verá na seção 5.5.1, no capítulo referente aos resultados. Estas ponderações exigem que, ao fazer uso do PNE para determinação da melhor gleba de uma determinada área para um cultivo específico, se considere como foi determinado o comprimento de encosta.

2.1.2.3. PERDAS RELATIVAS POR EROSÃO (PRE)

As perdas relativas por erosão (PRE) referem-se à estimativa final de erosão após a integração de todos os fatores independentes da EUPS. O termo se deve ao fato de não ser esta uma estimativa absoluta da erosão, mas uma estimativa do valor desta erosão em uma dada gleba, em relação ao PNE, após se computar a ação antrópica.

2.1.2.4. ÍNDICE DE CRITICIDADE (IC)

Comparando a tolerância de perda de solo com o valor estimado de perda, tem-se uma medida do risco de erosão à qual o solo está sujeito. O Índice de Criticidade (IC), como proposto por IPT (1986), e utilizado por Pinto (1991), Castro (1992) e Saiz (1996) é a razão entre as perdas estimadas (Perdas Relativas por Erosão - (PRE) de acordo com a EUPS e as perdas toleradas de solos (T):

$$IC = PRE/T. \quad (2.8)$$

Valores de IC menores que a unidade indicam áreas consideradas não críticas, enquanto valores iguais à unidade indicam áreas com risco de erosão potencial. Nas regiões onde o valor estimado é maior que o tolerado, já estaria ocorrendo erosão acima do aceitável.

2.1.3. A EUPS EM RELAÇÃO A OUTROS MODELOS

A partir da EUPS foram gerados alguns modelos mais rigorosos na modelagem da erosão. A EUPS Revisada (Revised Universal Soil Loss Erosion Equation - RUSLE), desdobra os diversos fatores da equação original em subfatores, adequando melhor a equação a condições regionais e sazonais. O fator K, por exemplo, leva em consideração as mudanças sazonais, tais como degelo ou umidade do solo (Renard et al., 1994). A MUSLE, Equação Universal de Perdas de Solo Modificada, estima o aporte de sedimentos em um dado exutório de uma bacia após um evento pluvial (Chaves, 1991).

Outro modelo utilizado, para a predição de perdas de solo por erosão, mas que não pertence à "família" da EUPS, é o WEPP - Water Erosion Prediction Project, também gerado a partir de relações empíricas. Este modelo prediz a erosão hídrica em duas escalas diferentes: a versão Plano, para análise do processo erosivo numa dada gleba com características específicas de comprimento e declividade, e a versão de Microbacia, que prevê o aporte de sedimentos ao canal de drenagem de uma microbacia (Lopez et al., 1993).

Estes modelos ou precisam de quantidades extensivas de dados ou não são adequados às condições da erosão em solos tropicais. A MUSLE e o WEPP necessitam de dados de pluviógrafos (vazão-pico de uma chuva e duração do evento), os quais não existem extensivamente no Brasil. A RUSLE considera dados como congelamento e degelo, fatores que não têm maior importância nas nossas condições climáticas.

Por outro lado, a EUPS está acompanhada de um conjunto histórico de dados, principalmente para o Estado de São Paulo. Esta base de dados permite se estimem as perdas de solo sob várias situações, considerando as características da erosão

nos solos tropicais, com padrões de chuva específicos e com culturas e manejos culturais peculiares. Dos trabalhos que geraram dados para serem utilizados dentro do modelo EUPS, apresentamos como exemplo: Lombardi Neto (1977) e Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), que trabalharam o fator erosividade da chuva; Galindo e Margolis (1989), que estudaram as tolerâncias de perdas de solo; e Nascimento (1994), de Maria et al. (1994) e de Maria (1995) que se dedicaram ao fator uso e manejo do solo. Este fato, aliado ao conhecimento generalizado da EUPS e à simplicidade de seus fatores, fizeram com que esta fosse utilizada em diversos trabalhos de modelagem espacial da erosão, apesar desta não ser adequada para a previsão da erosão em microbacias.

A EUPS foi desenvolvida em pequenas áreas onde todo o solo movimentado pode ser considerado como carregado para fora da gleba. Numa microbacia há áreas de carreamento e áreas de deposição, sendo o volume de solo perdido da área menor que o estimado pelo modelo. A equação não identifica as áreas de deposição, as quais seriam responsáveis pela retenção de parte dos sedimentos (IPT, 1986).

Wischmeier e Smith (1978) propõem essa correção seja feita através do uso de fatores adequados à predição da erosão em glebas ou em microbacias. Para o fator Práticas Conservacionistas, por exemplo, Wischmeier e Smith (1978, p. 37) propõem valores menores para este fator para a prática conservacionista de terraços se o objetivo for estimar as perdas globais de solo numa microbacia e não numa gleba. Contudo, dos diversos trabalhos estudados, nenhum levou em consideração a presença de terraços na estimativa do comprimento de encosta, assim como tampouco consideraram a presença de estradas.

Alguns autores realizaram trabalhos com a EUPS, usando dados de sensoriamento remoto dentro de ambiente de sistema de informações geográficas. Estes trabalhos geraram modelos bidimensionais de perdas de solo, estimando as perdas de solo em vários pontos de uma microbacia ou quadricula, ordenados em grade regular. Cada ponto é definido por um par de coordenadas geográficas, por isso *modelo bidimensional*.

Pinto (1991) estudou uma quadricula no Município de Casa Branca, Estado de São Paulo. O autor propôs uma metodologia de integração de dados de sensoriamento remoto e do meio físico para estimar as perdas de solo por erosão utilizando a EUPS. Seu trabalho centrou-se no uso de dados diversos de sensoriamento remoto e no tratamento digital desses dados, com a finalidade de subsidiar o desenvolvimento de uma metodologia de estudo da erosão.

Castro (1992) estudou a bacia hidrográfica do Ribeirão Bonito, no mesmo Estado. Este autor utilizou algumas funções automatizadas dum sistema de informações geográficas, como por exemplo o cálculo da declividade a partir de um Modelo Numérico do Terreno (MNT). Este processo contudo não gerou resultados mui confiáveis em relação à declividade gerada via ábaco analógico. O cálculo da

declividade a partir do MNT subestimou os valores mais altos e superestimou os valores intermediários e mais baixos (Castro, 1992, p. 80).

Mais recentemente, Kuntschik (1996) e Saiz (1996) utilizaram a EUPS em ambiente de sistema de informações geográficas com o apoio de dados sensoriados remotamente. O primeiro autor modelou as perdas de solo por erosão em uma microbacia no Município de Araras. Sua maior limitação foi a determinação do comprimento de encosta, a partir do qual foram gerados mapas com resolução de 250x250 m. Saiz (1996) trabalhou numa área na província de Buenos Aires, República da Argentina. Além da limitação do comprimento de encosta, a autora encontrou escassez de dados referentes ao fator C para sua área, devido ao pequeno número de trabalhos com a EUPS na Argentina.

A EUPS tem sido usada por sua simplicidade na determinação das variáveis independentes e dependentes e por ter um banco de dados históricos bastante amplo. Acrescente-se a isto que modelar bidimensionalmente a erosão exige não apenas conhecimentos do processo erosivo em si, mas também dos modelos espaciais utilizados. Por estas razões este modelo tem sido usado como base para permitir que a representação espacial dos diversos condicionantes da erosão sejam discutidos.

Ao modelar os diversos fatores da EUPS, os fatores topográficos (comprimento de encosta e declividade) têm sido citados como limitantes, nas suas representações cartográficas, a uma estimativa confiável das perdas de solo por erosão em uma microbacia (Castro, 1992, Kuntschik, 1996 e Saiz, 1996).

Quanto aos fatores antrópicos, enquanto as imagens orbitais têm um grande potencial de uso na modelagem bidimensional da erosão (Pinto, 1991), não é possível obter o detalhamento necessário a um grande número de classes de rotações culturais (Vázquez-Fernández et al., 1996), abrindo espaço ao uso de fotografias aéreas. Estas permitem que os dados de campo sejam melhor aproveitados no sentido de determinar as sequências culturais.

No presente momento, a predição de perdas de solo por erosão em microbacias posta-se mais na definição e no conhecimento do modelo espacial a ser utilizado, tanto para modelagem de cada fator condicionante da erosão como do processo de integração em si, que no modelo conceitual a espacializar.

2.2. SENSORIAMENTO REMOTO

Extrair informações do meio físico a partir de imagens orbitais exige que se conheçam as propriedades da interação entre a energia eletromagnética e o alvo observado. À variação destas propriedades ao longo do espectro eletromagnético dá-se o nome de comportamento espectral dos alvos.

Dentre as várias feições superficiais observadas nas imagens de sensoriamento remoto, duas, de interesse agrônomo, têm sido recorrentemente estudadas: vegetação e solo. A vegetação possui uma interação característica, absorvendo quase a totalidade da energia incidente no espectro visível e refletindo até 80% da energia incidente na faixa do infravermelho próximo e médio.

O comportamento espectral da vegetação depende de vários fatores. Alguns destes fatores são a arquitetura do dossel, o índice de área foliar, o volume de biomassa, o estado fenológico da planta, o estresse hídrico da vegetação no momento do imageamento, os pigmentos ativos, a direção das ruas de plantio e o estado fitossanitário do alvo (Goel e Strebel, 1983; Pinter et al., 1985 e Goel, 1988).

Os solos têm um comportamento espectral variável. Sua reflectância depende de diversos fatores, sendo os de maior destaque os teores de óxidos de ferro, matéria orgânica e umidade. A reflectância dos solos costuma aumentar continuamente a partir da faixa visível do espectro eletromagnético, até atingir uma certa estabilidade na faixa do infravermelho médio.

Solos ricos em matéria orgânica ou em ferro têm uma reflectância baixa ao longo de todo o espectro visível. Esta diminuição da reflectância também ocorre em função do aumento de umidade do solo (Epiphanyo et al., 1992).

2.2.1. IMAGENS ORBITAIS MULTIESPECTRAIS

Uma imagem multiespectral, como as geradas pelo sensor Thematic Mapper (TM-Landsat), por exemplo, é uma matriz regular, estando cada célula relacionada a uma área da superfície da Terra. Cada célula é chamada de "picture element", ou pixel, ao qual é atribuído um Número Digital, conhecido como Nível de Cinza

A transformação de energia eletromagnética em níveis de cinza se dá nos sensores. A energia eletromagnética, emitida ou refletida por um alvo, atinge os detetores, os quais, sensibilizados pela radiação, transformam a energia eletromagnética em sinal elétrico (Norwood e Lansing, 1983).

Cada nível de cinza corresponde à intensidade média de energia eletromagnética (refletida ou emitida) dos diversos alvos que cobrem a superfície terrestre no local amostrado. Uma imagem é uma representação da realidade que é bidimensional no espaço, unidimensional no tempo, e multidimensional no espectro eletromagnético (Crósta, 1993; Ehlers et al., 1991; Richards, 1986). O espaço é quantizado em píxeis, e a radiação em níveis de cinza.

Pela relação existente entre os níveis de cinza e as grandezas radiométricas, os diversos autores relacionam os números digitais com radiância, com reflectância, ou com brilho (intensidade). Além dos autores citados, podem ser referidos

os trabalhos de Campi (1988), Bernstein et al. (1983) e Slater (1980), os quais também abordam esta questão.

2.2.2. EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES NO SENSORIAMENTO REMOTO

Ao obter informações a partir de dados sensoriados remotamente dois aspectos devem ser observados. Cada produto tem um conjunto de limitações, ora no aspecto espacial, ora no aspecto radiométrico. Estas limitações são determinadas pela resolução de um produto de sensoriamento remoto.

Resolução de um sistema sensor (incluído seu produto) é a capacidade que este possui de discernir feições similares e próximas entre si. Esta resolução pode ser caracterizada no espaço físico (resolução espacial), na capacidade de discernir diferentes intensidades radiométricas (resolução radiométrica), na faixa espectral recoberta pelo sensor (resolução espectral) ou na frequência de cobertura (resolução temporal).

O segundo aspecto se refere à geometria do produto. Uma imagem orbital tem uma geometria que se aproxima muito de uma projeção ortogonal. Uma fotografia aérea tem por natureza uma projeção cônica. Este aspecto requer modelos de correção geométrica específicos para cada produto (Bernstein et al., 1983).

Dois passos resumem o processo de extração de informações a respeito do ambiente por meio do sensoriamento remoto. O primeiro passo é o relacionamento da imagem com uma projeção cartográfica definida. Quando do uso de dados digitais em sistemas de informações geográficas ou de processamento de imagens, este é o passo final da correção geométrica de uma imagem. Quando da interpretação de imagens ou fotografias aéreas, usa-se uma base cartográfica definida, com feições observáveis na imagem bem cartografadas, como estradas ou rios.

O segundo passo é o relacionamento dos dados radiométricos com alvos ou feições da superfície terrestre. Isto pode ser alcançado através de interpretação ou análise digital dos dados. No primeiro caso usa-se um amplo leque de dados, desde os aspectos radiométricos até padrões de forma e textura. No segundo caso a resposta radiométrica do alvo é preponderante. Só recentemente estão sendo utilizadas outras características dos alvos, como análise textural, segmentação (aproveitamento da correlação espacial entre os píxeis) ou redes neurais para a classificação de dados multiespectrais (Wilkinson, 1996).

A análise digital e a interpretação dos dados de sensoriamento remoto são duas técnicas utilizadas em conjunto. De acordo com Crósta (1993), o processamento digital de imagens objetiva facilitar a extração de informações contidas nas imagens, sendo um estágio preparatório, e praticamente obrigatório, da atividade de interpretação das imagens de sensoriamento remoto.

A interpretação tem a vantagem de englobar inúmeros fatores durante o processo de classificação e delimitação das diversas classes, o que facilita, e de fato permite, a extração de dados a partir de uma imagem. É contudo um processo extremamente dependente do ser humano, de suas habilidades e de sua experiência. O intérprete geralmente nota características de grande escala e está pouco preocupado com os valores radiométricos digitais (Richards, 1986).

De acordo com o mesmo autor, a análise digital tem uma capacidade de resolução radiométrica superior à humana. É muito adequada à análise quantitativa. Isto permite uma delimitação mais precisa entre as diversas classes. Diversas operações são realizadas dentro do espectro da análise digital, com o fim de melhorar a visualização dos alvos estudados, ou seu relacionamento com um ponto geográfico definido (Richards, 1986).

2.2.2.1. PROCESSAMENTO DIGITAL

Bernstein et al. (1983) caracterizam, de forma ampla, o processamento digital em duas categorias: correção da imagem (geométrica e radiométrica) e extração de informações.

Na primeira categoria agrupam-se a correção geométrica, ou registro com uma base cartográfica, e a correção radiométrica dos níveis de cinza, relacionando-os com a radiância da cena, para que os dados possam ser relacionados com variáveis biofísicas. A conversão dos dados digitais em radiância ou reflectância é descrita por Markham e Barker (1986).

A extração de informações inclui processamentos como: ajuste de contraste, conversões entre os sistemas RGB e IHS de representação de cores, classificação de imagens, filtragem, e análise de componentes principais (Campi, 1988 e Crósta, 1993).

Em qualquer das duas situações (interpretação ou processamento digital) faz-se necessário um número grande de ponderações antes de poder relacionar os dados de cena com a realidade. Maiores cuidados ainda são devidos após certas transformações radiométricas, como a transformação por principais componentes, por exemplo. Neste caso, os dados apresentados na imagem não possuem mais relação com a radiância da cena, tornando difícil sua interpretação. Uma exceção seria na exploração geológica, onde a transformação por componentes principais realça diferenças estruturais (Richards, 1986).

a) Correções geométricas

A extração de informações de imagens de sensoriamento remoto exige que correções geométricas sejam feitas (Castro, 1992). Só com imagens corrigidas geométricamente é que a integração dos diferentes dados através dos sistemas de

informações geográficas é possível. As distorções a serem corrigidas podem ser advindas das seguintes causas principais:

i) Rotação da Terra

O movimento de rotação é responsável pelo "deslocamento" de uma linha de amostragem em relação à anterior. Como o satélite possui um deslocamento linear transversal à rotação da Terra, cada nova varredura se inicia um pouco a oeste em relação à anterior. É por esta razão que a área útil das imagens possui um formato de losango.

ii) Geometria da Terra, varredura e ângulo de visada

A geometria terrestre é responsável por uma alteração no tamanho do pixel e no ângulo de visada do sensor (Figura 2.1). Conquanto o IFOV é o mesmo, o pixel é maior nos pontos mais extremos da varredura que nos pontos centrais.

Em verdade, a forma esférica da Terra só vem a agravar o efeito da varredura. A distorção panorâmica, decorrente do movimento perpendicular de parte do sistema sensor, ocorre pelo fato da varredura ser feita com um Campo de Visada Instantâneo (IFOV) constante.

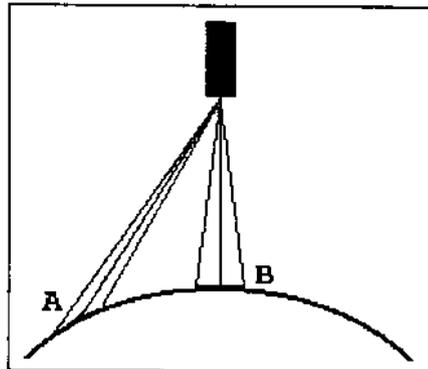


Fig. 2.1 - Efeito da varredura e do formato da Terra no tamanho do pixel.

FONTE: Adaptada de Richards, 1986.

A alteração no ângulo de visada também resulta em um efeito similar ao já descrito. A diferença está no fato do pixel com deformação "zero" não se encontrar no centro da imagem. Este tipo de erro está presente de forma inerente nos dados SPOT. Este satélite adquire dados em diversos ângulos fora do nadir, além da visada a nadir.

iii) Variações na atitude, velocidade e altitude da plataforma

A posição de uma plataforma em relação aos três eixos cartesianos (x, y e z) é chamada de atitude da plataforma. A variação em cada um desses eixos é chamada de Roll, Pitch e Yaw, respectivamente. Estas mudanças de atitude da plataforma, assim como as variações de velocidade e de altitude, resultam em alterações geométricas na imagem. Estas alterações são exemplificadas na Figura 2.2.

De forma geral, estes erros precisam de modelos matemáticos de primeira ordem, ou seja, lineares. Um algoritmo de correção desta ordem exige que se adquiram apenas quatro pontos de controle. Ainda, de acordo com Richards (1986), modelos mais complexos (2ª ou 3ª ordem) são menos confiáveis quando se extrapolam os resultados. Adquirir pontos de controle de forma bem distribuída sobre a imagem é uma forma de chegar a uma correção geométrica confiável.

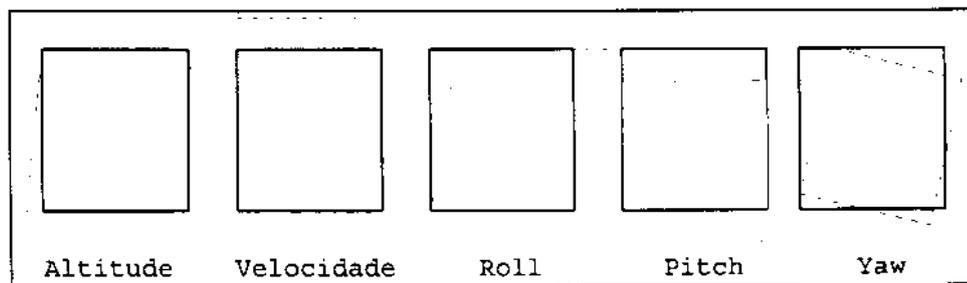


Fig. 2.2 - Exemplos de efeitos das mudanças de atitude, velocidade e altitude da plataforma em uma imagem. A cena sem correção em pontilhado e a cena corrigida em linha sólida.

FONTE: Adaptada de Richards, 1986.

A correção geométrica de fotografias aéreas exige modelos mais complexos. O primeiro passo é retificar a foto, que é o processo de correção da geometria de aquisição. Em segundo lugar transforma-se sua projeção, de cônica para ortogonal. Por último processa-se o seu registro, para o qual são necessários não apenas dados do plano cartográfico, como também dados de altimetria. Os modelos finais são de 5ª ordem (Vieira, 1994).

b) Processamento radiométrico

O processamento radiométrico de dados engloba uma série de transformações dos níveis de cinza de uma imagem. Ao contrário das correções geométricas, que são normalmente feitas sobre a imagem toda, as correções e transformações radiométricas devem ser individuais, pixel a pixel (Richards, 1986).

O *realce de imagens* é um recurso que objetiva otimizar a apresentação visual de uma imagem. Usando-se uma função de transferência de sinal, faz-se uma melhor apresentação visual dos dados mal distribuídos, em termos radiométricos, na imagem. O aumento de contraste também é utilizado na preparação de composições coloridas. Tendo cada uma das bandas sido realçada ao máximo, obtém-se o maior número possível de matizes para cada uma das bandas. Isto gera um grande número de cores, o que auxilia sobremaneira a extração de informação.

As cenas costumam ter os níveis de cinza concentrados em torno de alguns valores. Este fato diminui o contraste da imagem, dificultando o discernimento de valores discrepantes. O aumento linear de contraste leva o valor mínimo de entrada a zero na saída, e o máximo na entrada a 255 na saída (considerando uma quantização em 256 níveis de cinza).

A função de transferência utilizada depende do objetivo específico da transformação. O realce linear trata todos os valores radiométricos da mesma forma. As curvas logarítmica e exponencial realçam os valores escuros e claros, respectivamente. Outras funções de transferência podem ser utilizadas, de acordo com a distribuição dos dados na imagem.

c) Classificação de imagens

A *classificação de imagens* consiste em agrupar píxeis com valores radiométricos similares dentro da mesma classe. A classificação digital de imagens pode ser dividida em *supervisionada* e em *não supervisionada*. No primeiro caso o usuário define diversos parâmetros do processo, como por exemplo, o número de classes. A classificação não supervisionada usa cálculos estatísticos para definir o número de classes em uma imagem.

Os métodos mais conhecidos de classificação de imagens são o método dos paralelepípedos, o da distância mínima, e o da máxima verossimilhança (*MaxVer*). Estes três métodos consideram o agrupamento de píxeis em nuvens, o qual ocorre num espaço n-dimensional. Cada dimensão é uma banda espectral, sendo geralmente usadas três bandas. Não há porém limite teórico para o número de bandas usadas no processo.

Por fim, o processo *MaxVer* faz uso de cálculos de probabilidades para alocar um dado pixel a uma classe. Na classificação supervisionada, o usuário determina alguns grupos de píxeis como pertencendo às classes que deseja separar. Estes grupos são chamados de amostras de treinamento. De posse destas amostras, através de cálculos estatísticos, obtêm-se as distribuições normais em torno da média de cada amostra, para cada classe. Observe-se que a distribuição normal é respeitada para cada uma das bandas utilizadas.

O passo seguinte consiste em calcular, para cada pixel-vetor, a probabilidade deste pertencer a cada uma das classes previamente definida. Este será

alocado na classe de maior probabilidade. Contudo, se um limiar de probabilidade for definido, alguns píxeis não serão alocados a nenhuma classe. Se não houver limiar de probabilidade, todos os píxeis serão definidos como pertencendo a uma classe ou outra.

A classificação pela *distância mínima* também faz uso do agrupamento de píxeis. Considerando o vetor médio para cada nuvem de níveis de cinza no histograma, e considerando cada nuvem como uma classe, os píxeis fora dessas nuvens seriam classificados como pertencentes à classe cuja distância até o vetor médio fosse a menor dentre todas.

Uma forma de melhorar o desempenho dos classificadores é classificar a imagem por regiões, em lugar de classificá-la pixel a pixel. Para tanto é necessário segmentar a imagem antes de classificá-la. Este processo consiste em agrupar os píxeis com valor radiométrico similar (de acordo com uma medida e limiar previamente determinados) dentro de um mesmo segmento. Ao proceder a classificação, cada segmento será atribuído (com todos os seus píxeis) a uma dada classe.

O classificador de Battacharya, um exemplo de classificador baseado na distância mínima, calcula a distância entre nuvens de píxeis de uma imagem previamente segmentada. O primeiro conjunto de nuvens é formado pelas diversas amostras adquiridas pelo analista. O segundo conjunto de nuvens é composto pelos segmentos a serem classificados. Com uma fórmula similar à distância de Mahalanobis, o algoritmo calcula a distância de cada segmento em relação a cada nuvem de dados amostrais. O segmento é atribuído à classe mais próxima, de acordo com a distância de Battacharya.

A distância de Mahalanobis e a de Battacharya são basicamente a mesma. A única diferença está no fato da distância de Mahalanobis calcular a distância entre uma nuvem de píxeis e um pixel isolado. É o algoritmo utilizado pelo SPRING para segmentar uma imagem. A distância de Battacharya calcula a distância entre duas nuvens de píxeis, usando média e variância, permitindo a determinação de um nível de confiança para o classificador (Richards, 1986 e Bins, 1996).

Estes e outros recursos de processamento digital de dados têm sido utilizados para a escolha da melhor composição ou para a integração de dados multitemporais ou provenientes de plataformas diferentes. Ortiz (1993) fez correções radiométricas para eliminar o efeito atmosférico de imagens multitemporais e para uma uniformização radiométrica de todas as cenas utilizadas. Pinto (1991) utilizou a transformação RGB-IHS, adequada para a integração de dados provenientes do Landsat 5 e do SPOT. Pereira Neto (1994) usou o contraste linear para melhorar o aspecto visual de suas imagens.

Kuntschik (1996) usou o classificador MaxVer para extrair informações das imagens orbitais. De posse da imagem classificada e dados de campo e de registro

dos produtores, pode gerar um mapa de uso do solo da microbacia do ribeirão das Araras.

Contudo, a fotointerpretação é considerada mais precisa que a classificação automática (Mead e Szajgin, 1982). Ainda assim grandes esforços têm sido feitos para chegar a uma metodologia de classificação automática de dados multiespectrais. Isto viria a diminuir os custos, a subjetividade inerente ao processo de interpretação e o tempo médio de obtenção dos resultados, facilitando a integração dos dados orbitais com sistemas de informações geográficas (Wilkinson, 1996).

Maiores detalhes sobre o processamento digital de dados provindos de sensoriamento remoto podem ser obtidos em Richards (1986), Campi (1988) e Crósta (1993).

2.3. GEOPROCESSAMENTO

Pode-se chamar de geoprocessamento ao processo de adquirir, manipular, interpretar, analisar e gerar informações com significado geográfico. Conquanto esta é uma técnica tão antiga quanto os primórdios da cartografia, as possibilidades computacionais atuais de processamento de dados deram-lhe um novo impulso. A fim de padronização de linguagem, procederemos a uma pequena introdução sobre o assunto.

2.3.1. ENTIDADES DE REPRESENTAÇÃO

A representação das feições geográficas em ambientes computacionais é feita através de quatro entidades gráficas. Estas entidades são o *ponto*, a *linha*, o *polígono* e o *plano* (Burrough, 1986).

O indivíduo representado recebe o nome de *geobjeto*. Este pode ser representado por um ponto, uma linha ou um polígono. O ponto representa objetos individuais ou locais onde foi feita uma amostragem ou ponderada uma variável. É o caso dos pontos cotados em cartas planialtimétricas. Pode ainda representar indivíduos de um dado tema, como por exemplo, as árvores de uma praça urbana.

A linha pode representar geobjetos por si só, faixas de valores contínuos ou divisas entre classes. No primeiro grupo encontram-se os rios e estradas. As isolinhas são a representação de locais com mesmo valor. Por este método são representadas as regiões de mesma altitude (isolinhas de nível) ou mesmo potencial erosivo (isoerodentes), por exemplo.

Quando as linhas delimitam uma área, formando um polígono, estas são chamadas de *arcos*. Cada polígono se refere a um geobjeto com uma expressão em

área. Além de ser representados no formato vetorial, os polígonos podem assumir o formato matricial.

O conjunto de geobjetos com mesmos atributos formam uma *geoclasse*, ou simplesmente classe, de um tema. A representação de uma variável no espaço bidimensional, onde para cada coordenada representada, há um rótulo, referente a um geobjeto ou valor fluante da variável, é chamado de *geocampo*. Dentro do SGI-INPE um geocampo recebe o nome de Plano de Informação, ou PI (Câmara e Medeiros, 1996).

2.3.2. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

O ambiente computacional de processamento de dados geográficos são os sistemas de informações geográficas (SIGs). Um sistema de informações geográficas pode ser definido como sendo um sistema para a entrada, arquivo, manipulação, análise e exibição de dados geográficos ou espaciais (Burrough, 1986; Congalton e Green, 1992).

Uma das características mais importantes dos SIGs é a existência de relações topológicas entre as entidades (classes ou objetos representados). Topologia se refere às relações espaciais que independem de métrica, mas apenas de posicionamento relativo entre as partes, ou seja, relações de vizinhança (Burrough, 1986; Tomlin, 1991).

As relações topológicas permitem que o sistema identifique as entidades gráficas com um geobjeto, e que dois polígonos usem uma linha em comum como limite. A cada geobjeto é dado um rótulo, o qual é o identificador da entidade para o sistema. Uma vez feita essa rotulação, o geobjeto é associado a uma geoclasse. O SGI-INPE faz essa rotulação quando da inserção de um centróide.

Outra característica de um SIG é a possibilidade de realizar operações matemáticas entre e dentro de suas entidades de representação (Câmara et al., 1996; Câmara e Medeiros, 1996). Para tanto, um SIG deve contar com a possibilidade de reduzir todos os dados nele introduzidos a um formato comum, sobre o qual são realizadas as operações. Estas operações podem ser de comparação, soma, multiplicação, reclassificação, transformação de formato e outras.

O SGI - INPE (Sistema Geográfico de Informações do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) (Alves, 1990), por exemplo, manipula dados cartográficos nos formatos vetorial ou matricial, Modelos Digitais do Terreno (DTM) e imagens orbitais. Permite a digitalização de isolinhas e mapas poligonais e também permite conexão com bancos de dados externos (via identificadores - um para cada polígono).

Outra característica importante dos SIGs é o fato destes serem um banco de dados tipo dual, i.e., arquivam dados espaciais (interface gráfica) e dados de atributos, não espacializáveis, num banco de dados relacional (Valenzuela, 1988; Alves,

1990). O ILWIS ("Integrated Land and Watershed Information System"), apresentado por Valenzuela (1988) é outro exemplo de sistema de informações geográficas, junto com o SGI - INPE. O ILWIS possui funções de análise espacial, análise de imagens e banco de dados relacional.

O ILWIS faz uso do aspecto dual dos SIGs de forma bastante estruturada. Baseado em um banco de dados relacional (Oracle), um de seus módulos faz avaliações das terras. Este módulo é chamado LECS - Land Evaluation Computer System (Elbersen et al., 1988). Os dados utilizados são vários: dados de solos (de levantamentos antigos e atuais), dados climatológicos, e as áreas de amostragem - TMU (Terrain Mapping Unit, ou, Unidades de Mapeamento do Terreno). No caso dos solos, descrição completa dos perfis, e dados de análises químicas e físicas foram introduzidos no sistema. As TMU descrevem a divisão natural do terreno e representam áreas com características físicas homogêneas (Valenzuela, 1988). O LECS estabelece o tipo de solo presente em cada TMU. Elbersen et al. (1988) usaram esta metodologia para evitar o fracionamento que ocorre quando do cruzamento de diversos mapas da mesma área.

2.3.3. REPRESENTAÇÃO DIGITAL DE DADOS GEOGRÁFICOS

Basicamente há dois formatos de representação espacial dos dados dentro de um ambiente computacional. O formato matricial ("raster") e o vetorial (Burrough, 1986; Ehlers et al., 1991; Berry, 1993; Câmara e Medeiros, 1996).

O formato *matricial* é a forma básica de apresentação dos dados de sensoriamento remoto, digital ou analógico. Consiste de um conjunto de linhas e colunas indexadas, com cada intersecção das linhas com as colunas sendo denominada célula. A cada uma destas células é associado um valor numérico. No caso de imagens, cada célula corresponde a uma localização sobre a superfície terrestre com um nível de radiância.

Este também é o formato utilizado por diversos sistemas de informações geográficas para fazer operações de cruzamentos entre mapas, comparando um mapa com o outro, ponto a ponto (Burrough, 1986).

Uma imagem é representada sobre uma grade regular. A cada ponto corresponde um valor digital, quantizado em 256 níveis de cinza. Um mapa temático no formato matricial se assemelha a uma imagem, com a diferença que para cada célula, ou pixel, corresponde um rótulo, o qual identifica o geobjeto representado.

Um Modelo Numérico do Terreno (MNT) pode ser representado sobre uma grade regular (retangular ou quadrada), ocasião em que o nome matriz cabe, ou irregular (uma triangular por exemplo). A cada valor da grade pode ser atribuído um valor numérico pertencente ao conjunto matemático dos números reais.

Os dados vetoriais, da mesma forma que os dados matriciais, são espacializados sobre uma grade retangular. A diferença é que em lugar de cada linha ou coluna corresponder a uma sequência de células, i.e., espaços, dentro dos quais são colocados os atributos representados, cada intersecção corresponde a um ponto, indexado pela linha e coluna às quais pertence.

A representação vetorial partiu da necessidade de se expressar melhor a variação natural das variáveis espaciais. Enquanto a expressão da realidade em formato matricial parte da premissa da discretização dos dados, a modelagem espacial no formato vetorial tenta manter a variação espacial dos dados (Burrough, 1986). Ao representar um mapa de altitude no formato matricial, cada polígono está associado a uma altitude constante. Ao representá-lo no formato vetorial, cada linha possui um valor, e sabe-se que entre duas linhas a variável pode assumir qualquer valor entre os limites postados por essas duas linhas.

Um resultado da modelagem vetorial dos dados é o modelo de campos. No modelo de campos o alvo em estudo é visto como tendo variação contínua de uma variável ao longo da superfície. O modelo de campos nada mais é que uma grade sobre a qual estão distribuídos os valores pontuais de uma variável espacial. Este modelo encontra sua expressão num MNT ou numa imagem. Assim, o objeto passa a ser um resultado do processo de modelagem (Goodchild, 1993).

A cada ponto da grade, indexado em X e Y, corresponde um valor em Z, o qual corresponde à dimensão, naquele ponto geográfico, da grandeza modelada. Como esta representação atribui um valor em Z a vários pontos indexados em X e Y, gera-se um modelo tridimensional da variável estudada.

As grades geradas podem ser regulares ou irregulares. As primeiras são necessárias para a integração de dados diversos, enquanto as irregulares se prestam melhor à visualização em simulações de visualização em três dimensões e representam melhor a variabilidade espacial dos dados.

Dentre as representações irregulares, a triangulação de Delaunay tem recebido especial atenção. Este modela a variável em uma superfície composta por triângulos conectados entre si por suas arestas. Estes triângulos obedecem a algumas restrições, o que faz com que possam ser gerados diversas vezes e chegar sempre ao mesmo modelo. Cada triângulo é gerado entre três pontos da amostra, e possui uma dimensão diferente daquela do seu vizinho (à exceção da aresta em comum), por isso irregular.

O interpolador que gera a grade triangular é conhecido como TIN, de Triangular Interpolation Net (Namikawa, 1995). Este interpolador, dependendo da implementação feita no sistema utilizado, pode gerar uma grade triangular propriamente dita, ou simular uma grade triangular sobre uma grade regular (Namikawa, 1996).

Cada um destes formatos possui uma funcionalidade específica. Os dados em formato matricial são adequados à comparação e operações de atribuição entre geocampos. Os dados vetoriais preservam a variabilidade original dos dados, permitem uma precisão maior na digitalização dos dados e são computacionalmente econômicos. As grades numéricas permitem que se realizem operações matemáticas entre geocampos, sem limitação no valor da variável representada (Burrough, 1986; Berry, 1993; Goodchild, 1993 e Cordeiro et al., 1996).

2.3.4. OPERAÇÕES EM GEOPROCESSAMENTO

As operações realizadas dentro de um SIG visam a transformação entre formatos de dados, a correção geométrica dos dados, a comparação entre geocampos, a integração de dados de vários geocampos em um último, o cálculo de feições geográficas, como declividade, e vários outros. Nesta seção abordar-se-ão aquelas que foram utilizadas no presente trabalho e presentes no sistema de informações geográficas utilizado (SPRING).

A vetorização e a rasterização transformam dados representados em um formato para outro formato. A vetorização parte de um modelo temático matricial para uma modelo temático vetorial, enquanto a rasterização faz o caminho inverso. Estas operações são necessárias por duas razões.

A entrada de dados via mesa digital é feita no formato vetorial, enquanto as operações entre geocampos são feitas a partir de modelos matriciais. Para poder gerar uma grade a partir de um mapa temático fazia-se necessário primeiro ter o modelo matricial do geocampo. Enquanto o resultado temático das operações entre geocampos era no formato matricial, a saída gráfica numa "plotter" se dava no formato vetorial, exigindo o retorno à representação vetorial.

As operações *Booleanas* realizam operações lógicas na comparação de dois geocampos. Exemplos destas operações podem ser encontrados nos trabalhos de Formaggio et al. (1992) e Pereira Neto (1994).

As operações de *fatiamento* partem de uma grade e geram um modelo temático. Na nova representação cada geoclasse é associada a uma faixa de variação. Esta geoclasse não mais possui significado matemático, pois seus píxeis são rotulados com o identificador da geoclasse correspondente, e não com um valor numérico.

Uma especialização do fatiamento é a geração de uma imagem MNT. Neste processo, o sistema computacional automaticamente divide o intervalo entre o menor e o maior valor presente na grade e o divide em 256 classes (para sistemas quantizados em 8 bits). A cada intervalo é associado um nível de cinza, gerando uma imagem monocromática.

A *reclassificação* parte de um geocampo temático e gera um novo geocampo temático. Para isso atribui a cada geoclasse um novo rótulo, correspondente a uma nova geoclasse.

A *ponderação* parte de um modelo temático e gera uma grade. Esta operação pode ser considerada o oposto do *fatiamento*. A cada geoclasse é atribuído um valor numérico. Este valor numérico é associado aos pontos da grade que se encontrem dentro da área de representação da geoclasse. Kuntschik (1996) utilizou este operador para gerar os PIs de erodibilidade dos solos, declividade, uso e manejo e práticas conservacionistas.

As operações matemáticas são realizadas sobre grades ou imagens. No primeiro caso não há limites nos valores assumidos pelas variáveis, a não ser que seja imposto pelo sistema utilizado. O SPRING, por exemplo, só pode assumir valores positivos (Cordeiro, 1996). Nas operações com imagens deve-se levar em conta a limitação dos níveis de cinza da imagem usada.

IPT (1986) usou as operações entre imagens para obter índices de vegetação, operando entre bandas de uma mesma cena. As operações entre grades foram feitas em planilhas eletrônicas, do tipo Excel. Pinto (1991), Castro (1992), Saiz (1996) e Kuntschik (1996) também realizaram operações entre grades em planilhas eletrônicas.

Para maiores detalhes sobre geoprocessamento e SIGs, o leitor pode se referir a Burrough (1986), Star e Estes (1990), Maguire et al. (1991), Congalton e Green (1992), Berry (1993), Goodchild et al. (1993), Câmara e Medeiros (1996) e Câmara et al. (1996).

2.4. MODELO EUPS EM AMBIENTE SIG

O uso de sistemas de informações geográficas e dados de sensoriamento remoto pode melhorar a implementação da EUPS de três maneiras: a) o uso de dados de sensoriamento remoto auxiliaria a determinação do Fator C (Price e Ridd, 1991 e Pinto, 1991); b) um SIG facilitaria a espacialização dos resultados da EUPS; e c) um SIG facilitaria a integração dos diversos fatores que compõem a equação (Berry, 1993 e Cordeiro, 1996).

Burrough (1986), usando a EUPS (Universal Soil Loss Equation) e outra equação de perda de solo, a SLEMSA (Soil Loss Estimation Model for South Africa), aliado a dados de solos e de topografia, determinou os locais, numa dada região, mais suscetíveis à erosão. Num processo posterior, de simulação, tentou identificar quais as práticas conservacionistas que teriam maior impacto no controle da erosão, e comparou a resposta dos dois modelos. Para isto procedeu a uma estimativa das perdas de solo durante um período de 40 anos. Comparando o mapa de taxa de perda de solo do momento da análise com o mapa da taxa prevista daí a 40 anos identificaram-se os

locais onde as práticas de contenção de erosão seriam mais eficientes e aqueles onde não seriam tão eficientes.

Nesse trabalho o autor utilizou os seguintes recursos do sistema de informações geográficas: *Reclassificação*; *Cruzamento*, que compara dois PIs diferentes, com operações Booleanas; e *Maximizar*, que compara PIs, tomando o valor do maior, ponto a ponto. Vale ressaltar que o autor se refere à linguagem do sistema de informações geográficas que possuía a sua disposição, o qual trabalhava apenas no formato matricial. Ele também não usou dados de sensoriamento remoto: apenas simulou algumas situações de uso do solo.

IPT (1986) realizou trabalho na bacia do Peixe-Paranapanema, Estado de São Paulo. Usaram-se dados de sensoriamento remoto, um sistema de informações geográficas e a EUPS como modelo conceitual de erosão. Este trabalho objetivou conhecer o estado de conservação da região, bem como propôr medidas de contenção da erosão.

O sistema de informações geográficas usado foi o SGI-INPE, o qual teve a função de espacializar cada uma das variáveis independentes da EUPS. A integração dos dados, propriamente dita, foi feita em planilha eletrônica. Para tanto todas os PIs foram expressos no formato grade. Alguns PIs, como o comprimento de encosta foram gerados nesse formato. Outros não. Estes últimos foram convertidos em grade via ponderação.

Saiz (1996) e Kuntschik (1996) usaram o sistema de informações geográficas de forma similar à utilização dada por IPT (1986). O sistema de informações geográficas foi usado para converter o formato dos dados e colocar cada uma das variáveis num formato comum (grade). A integração das variáveis independentes, para obtenção dos índices e estimativas objetivadas, foi feita em planilha eletrônica.

Castro (1992) usou o modelo EUPS na bacia do Ribeirão Bonito, para avaliar a perda de solo por erosão laminar e otimização dos padrões de uso e ocupação agrícola, em função do potencial de perdas relativas.

O trabalho do autor obedeceu a dois níveis de integração. No nível I de integração foi feito o cálculo das estimativas de perdas de solo. Primeiro calculou-se o Potencial Natural de Erosão (PNE), e em seguida foi feito o cálculo das perdas estimadas de solo propriamente dito. O nível II de integração objetivou a identificação das áreas de discrepância (ID) quanto ao uso e manejo, e a definição dos índices de criticidade (IC).

Chaves et al. (1995) fizeram uso da EUPS e de um SIG para predição do potencial de erosão no vale do São Francisco. Os dados de uso do solo foram gerados a partir do mapa de vegetação do Brasil, confeccionado a partir de imagens orbitais. O

fator L da EUPS foi gerado a partir da declividade, usando uma relação logarítmica entre declividade e fator L. A integração dos diversos fatores se deu no ambiente ARC/INFO. A escala de trabalho foi bem menor que as utilizadas pelos autores anteriormente citados: 1:1.000.000.

No aproveitamento da capacidade de um sistema de informações geográficas de manipular dados, a disponibilidade de uma linguagem como a LEGAL (Cordeiro, 1996), permite avançar em relação aos prévios, não tendo que migrar para outro sistema para realizar nenhuma operação. Desde a entrada dos dados, transformações de formatos e integração dos dados, até a geração da saída, pode-se usar apenas um sistema computacional. IPT (1986), Castro (1992), Saiz (1996) e Kuntschik (1996), por exemplo, realizaram a manipulação geral dos dados em sistema de informações geográficas, operando a integração dos dados no formato de grade em planilha eletrônica. Em seguida retornaram ao sistema de informações geográficas para a análise dos resultados e geração das saídas gráficas.

CAPÍTULO 3:

ÁREA DE ESTUDO

A microbacia hidrográfica do córrego Pinheirinho foi escolhida para a realização do presente estudo. A área se encontra no município de Sumaré, Estado de São Paulo. Possui uma superfície de aproximadamente 26km², e está contida no retângulo descrito pelas seguintes coordenadas geodésicas: 22° 47' 40" e 22° 54' 52" sul, e 47° 20' 16" e 47° 20' 23" oeste. A Figura 3.1 mostra sua localização no Estado de São Paulo.

A escolha desta área de estudo levou em conta os seguintes aspectos:

- a) Representatividade do uso agrícola sobre o uso urbano no total de sua área;
- b) Variedade de classes de solos presentes;
- c) Variedade de classes de uso do solo;
- d) Variabilidade topográfica;
- e) Área total de aproximadamente 30 km².

Para chegar à decisão final de qual microbacia seguiu-se o seguinte procedimento. Baseado na carta de levantamento semi-detalhado de solo, da quadrícula de Campinas, delinear-se sete microbacias. Estas foram digitalizadas e sobrepostas numa imagem da região, datada de 23 de setembro de 1991.

Usando o recurso de cálculo da área disponível no SIG, calcularam-se as áreas dessas microbacias. Baseados neste cálculo, na quantidade de classes de solo presentes em cada microbacia e no uso do solo, de acordo com a imagem, foram escolhidas duas microbacias, as quais preenchiam os requisitos estabelecidos para escolha da área de estudo. Uma visita às áreas, no dia 26 de maio de 1995, confirmou as observações feitas na imagem e na carta. Foram visitadas as microbacias do Galvão e do Pinheirinho, escolhendo-se a última, por reunir as características supra citadas.

A topografia da região é de relevo suavemente ondulado, apresentando poucas áreas de várzea. A diferença entre as cotas mínima e máxima é de aproximadamente 150m. A menor cota se encontra um pouco acima dos 540m. A maior cota, de 692m, se encontra próxima às coordenadas UTM 264 kmL e 7466 kmN.

A agricultura como um todo se apresenta nas encostas e topos das colinas. As áreas de baixada são utilizadas para pastagens naturais de pequeno porte e tanques.

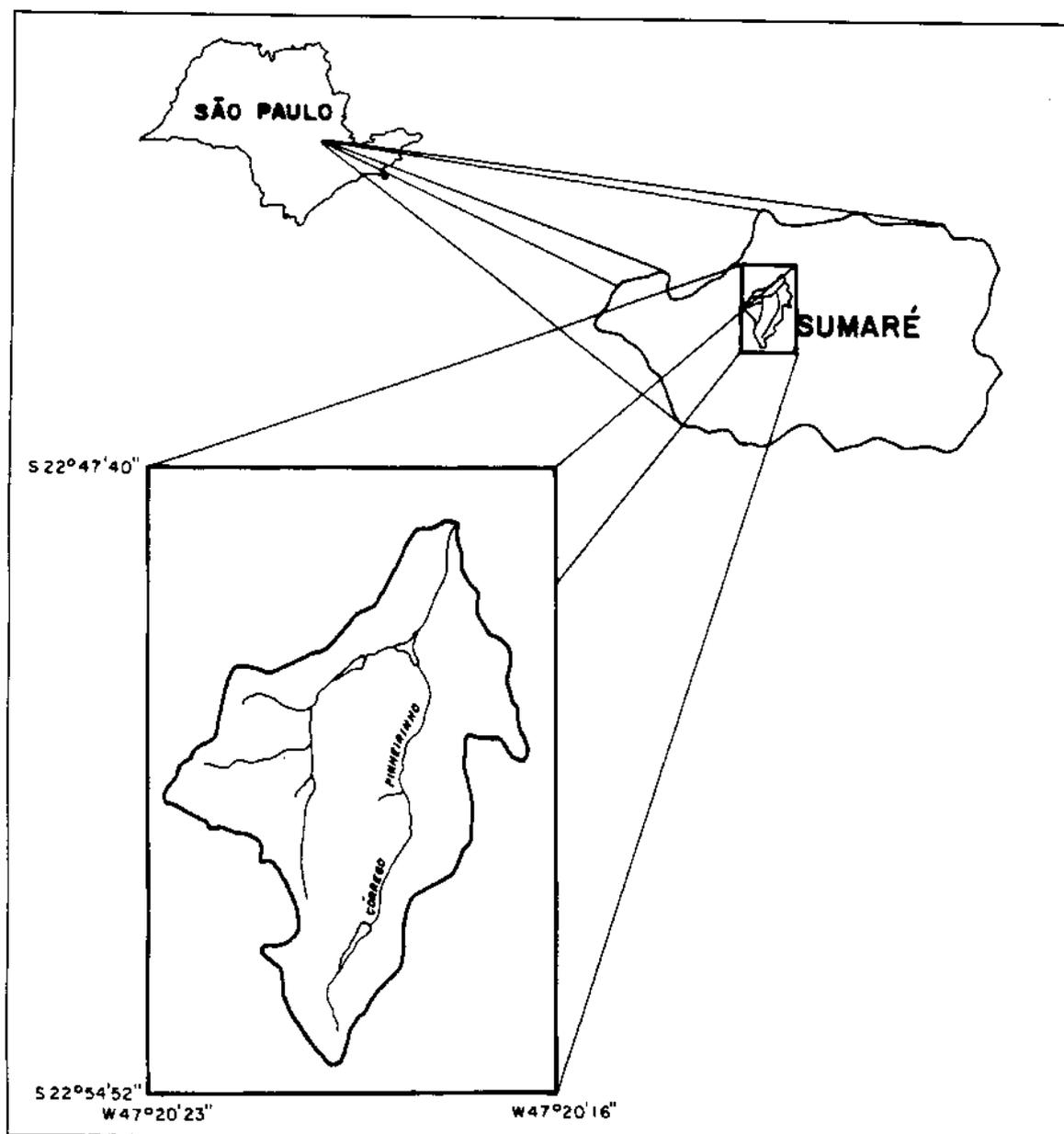


Fig. 3.1 - Localização esquemática da bacia do córrego Pinheirinho, no município de Sumaré (SP).

O uso agrícola da área é baseado nas culturas da cana-de-açúcar, tomate e batatinha, encontrando-se também algodão. Existem áreas de milho, e algumas áreas estão sob rotação (milho e aveia, por exemplo). A batatinha é uma opção para produtores que querem esperar o inverno passar antes de introduzir a cana. Há uma boa porção de área utilizada com pastagem natural e áreas com pequenos remanescentes de matas ou com eucaliptos. Há ainda duas áreas irrigadas com o sistema de pivô central e uma com aspersão convencional tracionada.

O clima da região, de acordo com Oliveira et al. (1979), é do tipo Cwa, segundo o sistema de Köppen, i.e., mesotérmico de inverno. Neste regime, as temperaturas médias oscilam em torno de 20°C, sendo abaixo de 18°C no inverno, e acima de 22°C no verão. As chuvas se concentram nos meses de outubro a março. Nesta época ocorrem 79% das precipitações anuais. A região sofre uma deficiência hídrica média de 15mm.

Os acessos à bacia do córrego Pinheirinho são vários. O córrego deságua no ribeirão Jacuba/Hortolândia, a 500m, aproximadamente, do limite de área construída. Próximo ao seu deságue, este cruza a cidade no seu extremo noroeste. Esta área é cortada por uma ampla rede de estradas vicinais. Os diversos riachos são facilmente atravessados por cima das várias barragens existentes.

CAPÍTULO 4:

MATERIAL

4.1. DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Para a caracterização do uso do solo da microbacia usou-se uma imagem orbital adquirida pelo sensor Thematic Mapper (TM) Landsat 5, órbita e ponto 220/76, quadrante E, de 3 de junho de 1995. O formato digital foi escolhido por permitir tratamento que leve à correção geométrica, comparação de composições coloridas e classificação digital dos dados.

Outro produto utilizado foi um conjunto de quatro fotografias aéreas da microbacia. Estas foram obtidas pela equipe de aerolevantamento do INPE, também em 3 de junho de 1995. As fotografias eram em papel, escala aproximada de 1:38.000, em cores naturais.

4.2. MAPAS E CARTAS

Como a escala do trabalho foi de 1:50.000, como base cartográfica foi usada uma carta do IBGE, nessa escala, com curvas de nível a cada 20m (IBGE, 1970).

Para o traçado dos limites da bacia foram utilizadas 4 cartas, escala 1:10.000, da Secretaria de Planejamento do Estado de São Paulo (SEPLAN, 1979), com curvas de nível a cada 5m.

As classes e limites dos solos presentes na bacia foram extraídos do trabalho de Oliveira et al. (1979) na escala 1:100.000. A área de estudo possui quatro classes de solo. Estes solos são: Podzólico Vermelho Amarelo, textura arenosa/média, com uma área de aproximadamente 11km²; Latossolo Vermelho Escuro, textura argilosa, com uma área em torno de 12km²; Latossolo Vermelho Amarelo Húmico, textura média ou argilosa, com uma área de aproximadamente 1km²; e Latossolo Roxo Distrófico, com uma área aproximada de 2km².

4.3. DADOS NUMÉRICOS

Os dados de fator K e de tolerâncias de perdas de solo foram fornecidos pelo Dr. Francisco Lombardi Neto, pesquisador do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) (Lombardi Neto, 1995).

Para cálculo do fator R foram usados dados da estação meteorológica do Município de Monte Mor. A localização exata deste posto é 22° 56' sul e 47° 15' oeste, próximo ao rio Capivari, no bairro Pavioti. Os dados foram gentilmente cedidos para a

realização deste trabalho pelo Centro de Tecnologia Hídrica (CTH) do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) do Estado de São Paulo, na pessoa do Engº Gré (DAEE, 1995).

Para calcular o fator L usou-se uma carta na escala 1:25.000, com isolinhas a cada 10m. Esta carta foi obtida a partir das cartas 1:10.000 da SEPLAN (1974) O procedimento utilizado para tal se encontra descrito no Item 5.3.3.

Para determinar o fator S usou-se a carta na escala 1:50.000 do IBGE e um ábaco para os limites das classes de declividade. Este ábaco foi traçado de acordo com a metodologia de De Biase (1992).

Os dados necessários à determinação do fator C foram levantados na literatura disponível (Bertoni e Lombardi Neto, 1985; IPT, 1992; Donzelli et al., 1992; Nascimento, 1994, De Maria et al, 1995). Os valores não encontrados na literatura foram cedidos pela Dra. Isabela Clerici de Maria, a partir de registros históricos do IAC.

Para determinação do fator P foram adotados os valores apresentados por Wischmeier e Smith (1978) e Bertoni e Lombardi Neto(1985), largamente utilizados nos trabalhos com a EUPS.

4.4. SISTEMAS E EQUIPAMENTOS

O sistema de informações geográficas usado foi o SPRING, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Este sistema possui uma interface amigável com o usuário. Sua estrutura integrada permite o trabalho com apenas um monitor e o trabalho simultâneo com imagens digitais. Funciona em estações de trabalho com sistema operacional UNIX.

Uma vantagem do SPRING é o seu módulo de edição. Este permite poligonalização sem necessidade de inserir centróides. O SPRING permite que se faça a importação e exportação de dados para o SGI, além de exportar dados no formato ASCII. Desta forma os dois sistemas de informações geográficas podem ser usados concomitantemente, de acordo com as necessidades momentâneas e vantagens pontuais de cada sistema.

Para a entrada dos dados foi usada a versão SPRING1.1. A manipulação dos dados (reclassificação, ponderação e integração) foi feita na versão SPRING2.0, usando a LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) (Cordeiro, 1996). O tratamento da imagem sua segmentação e classificação também foi feita nesta versão. Maiores detalhes sobre a LEGAL podem ser encontrados em Cordeiro (1996) e Cordeiro et al. (1996).

Como equipamento de apoio usou-se uma mesa digitalizadora, um "scanner" de mesa, leitores de fita magnética 8mm, para entrada dos dados nos sistema, e uma "plotter" para a geração de cartas.

CAPÍTULO 5: PROCEDIMENTOS

5.1.CONTEXTUALIZAÇÃO

As etapas metodológicas seguidas no desenvolvimento da presente pesquisa estão logicamente dispostas no fluxograma apresentado na Figura 5.1.

Em linhas gerais, o desenvolvimento do trabalho de deu da seguinte maneira:

1. Seleção da microbacia de estudo.
2. Geração do Potencial Natural de Erosão (PNE), considerando quatro formas de calcular o comprimento de rampa;
3. Geração do fator antrópico para a fotografia e para a imagem (CP);
4. Geração do mapa de Perdas Relativas por Erosão, para o CP da imagem e da fotografia, considerando apenas o resultado de um dos quatro modelos de PNE (PRE);
5. Geração do mapa das tolerâncias de perdas de solo por erosão para as diversas Unidades de solo presentes (T);
6. Comparação da estimativa de perdas (PRE) de solo com a tolerância de perdas de solo (T), gerando o Índice de Criticidade (IC);
7. Geração de saídas gráficas e cálculo de áreas;
8. Avaliação dos resultados.

Cada fator foi modelado tematicamente e introduzido no sistema via mesa digitalizadora, com exceção do fator erosividade das chuvas, do fator P (para a fotografia e para a imagem) e do fator C para a imagem. O fator R é representado por um único número para a microbacia inteira. O fator referente às práticas conservacionistas foi resultado da reclassificação do PI do fator C. E o PI referente ao fator C da imagem foi resultado da classificação automática da imagem TM utilizada.

Uma vez obtida cada uma das variáveis independentes, procedeu-se a integração dos dados, iniciando-se a segunda fase da pesquisa. Primeiro obteve-se o fator topográfico, em seguida o Potencial Natural de Erosão (PNE) e o fator antrópico (CP) para a fotografia e a imagem, e finalmente as Perdas Relativas por Erosão.

A terceira fase se consistiu na obtenção do índice de criticidade (IC). O IC e as perdas relativas por erosão foram determinados apenas para o PI referente ao PNE que forneceu valores aceitáveis dentro do escopo de previsão de perdas de solo por erosão. Este PI foi o referente à correção do comprimento de encosta corrigido para estradas e terraços.

A integração dos dados ocorreu no formato de grade, ou MNT. O PI referente ao comprimento de encosta foi gerado como MNT, a partir de isocômples¹ (ver Item 5.3.3). Os demais PIs foram gerados (digitalizados ou imagens classificadas ou PIs reclassificados) no formato temático e ponderados, gerando uma grade para cada PI.

Para a visualização e análise dos resultados cada PI numérico resultante foi fatiado, gerando uma imagem temática. Estes PIs foram posteriormente vetorizados, para gerar as cartas. A “plotter” só é capaz de imprimir dados vetoriais. Outro cuidado a tomar com a saída na plotter é quanto ao número de cores usadas para representar as classes, que é restrito a 16.

As áreas correspondentes a cada classe, para cada tema, foram calculadas a partir dos dados no formato matricial.

5.1.1. DELIMITAÇÃO DA MICROBACIA

A microbacia foi delimitada sobre as cartas na escala 1:10.000. As isolinhas e os pontos cotados foram digitalizados num PI temático. Sobre as cartas em papel foi traçado o divisor de águas, observando as isolinhas individuais, os pontos cotados e a morfologia superficial como um todo. Em seguida, traçou-se o limite da bacia no SPRING, via “mouse”, acompanhando o traçado em papel, pois no monitor é difícil se obter uma visão sinótica e detalhada ao mesmo tempo, necessárias à observação da geomorfologia.

Este dado não foi digitalizado diretamente via mesa digitalizadora para aproveitar os dados previamente introduzidos no sistema, quais sejam: isolinhas e pontos cotados. Como o divisor de águas passa sobre os pontos cotados, em grande parte, bastava uni-los. Diminui-se assim a ocorrência de erros derivados do registro de um dado proveniente de outro já digitalizado.

¹ Isocômples: do grego, iso, igual, e do latim, complate, comprimento; designa linhas de mesmo comprimento de encosta.

5.2. VISITAS À MICROBACIA

Foram feitas cinco visitas a campo, para levantamento de dados e observação do efeito das chuvas sobre o solo: 19 de abril, 26 de maio, 14 de setembro e 25 de outubro de 1995 e 24 de janeiro de 1996.

A primeira visita se prestou à escolha da microbacia e reconhecimento preliminar da área de estudo. A segunda visita teve por objetivo fazer um mapeamento da área na data da passagem do satélite Landsat, visto que uma imagem para esta data tinha sido adquirida. Contudo, na imagem referente àquela data, a área de estudo estava coberta de nuvens. Com os dados obtidos nestas duas primeiras visitas trabalhou-se a fotografia aérea. Uma segunda imagem TM foi posteriormente adquirida, sendo esta última trabalhada para a obtenção do produto final.

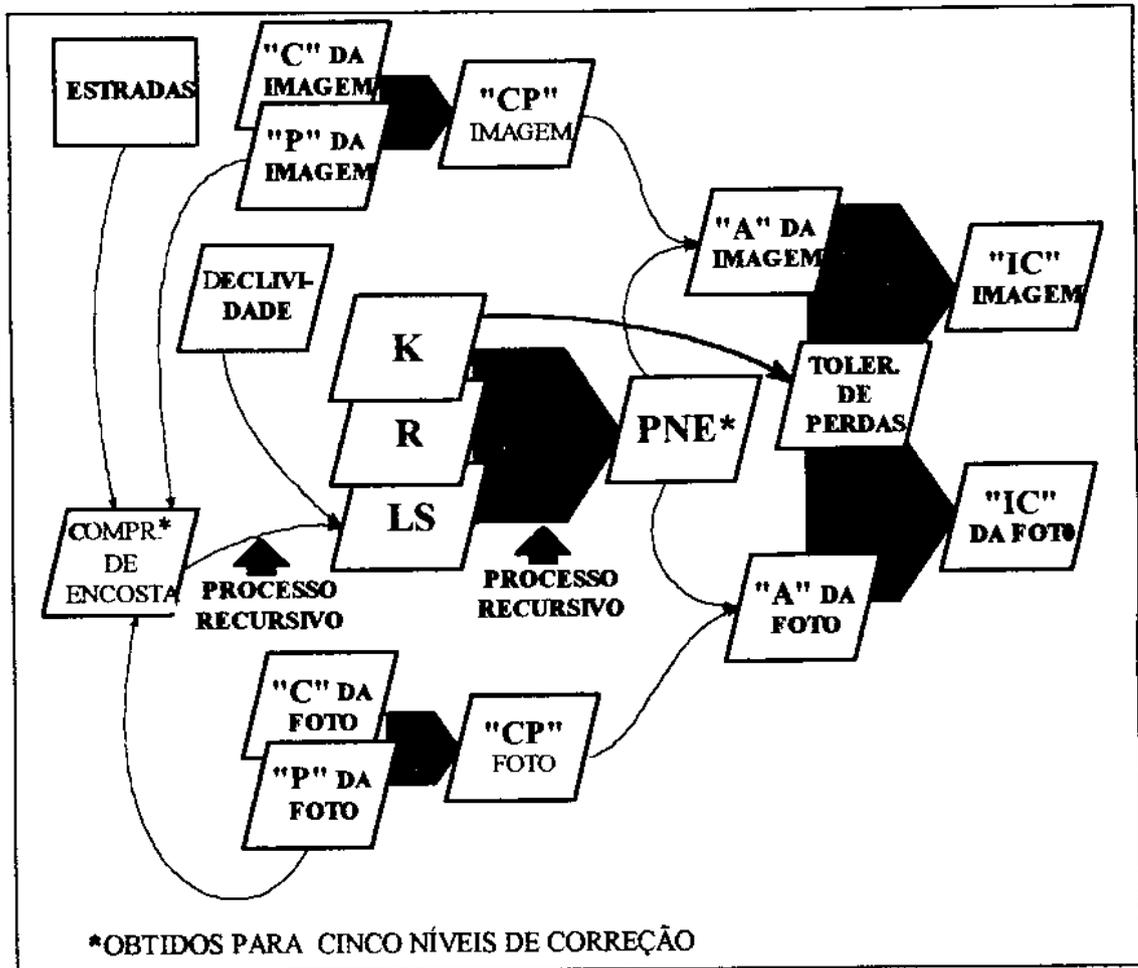


Fig. 5.1 - Fluxograma de trabalho.

As visitas de setembro e outubro de 1995 objetivaram corrigir o mapeamento feito sobre a fotografia aérea, a qual tinha sido previamente dividida em

Unidades de Manejo (UM) (para maiores detalhes ver seção 5.3.4). Nestas visitas observou-se a cobertura de cada UM, subdividindo-as ou unindo-as. Muitos dados foram obtidos a partir de conversas com agricultores, os quais caracterizaram as rotações praticadas. Contudo, os limites de cada UM foram derivados da foto aérea.

A visita de janeiro de 1996 teve por objetivo verificar os efeitos das chuvas sobre a região. No período de dezembro de 1995 e janeiro de 1996 as chuvas forma bem intensas, e por isso achou-se oportuna uma visita à microbacia nessa data.

5.3. MODELAGEM DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

5.3.1. FATOR R

O fator R é indicador do potencial erosivo das chuvas. Geograficamente foi representado por um PI com os limites da microbacia. Nos cálculos final e parciais da EUPS entra como uma constante, não sendo estritamente necessária sua representação geográfica. Porém, este PI foi útil para *recortar* as representações temáticas resultantes dos cruzamentos e reclassificações de PIs temáticos e da classificação de imagens, permitindo mapas dentro dos limites da microbacia.

Para o cálculo do valor deste fator usou-se a equação (2.2), apresentada na seção 2.1.1. Foi usado um valor único para toda a microbacia. Usaram-se as médias pluviométricas mensais registradas no posto meteorológico do Município de Monte Mor.

5.3.2. FATOR K

Os valores de erodibilidade foram fornecidos pelo Dr. Fransisco Lombardi Neto, pesquisador do Instituto Agrônomo de Campinas, Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo, (Lombardi Neto, 1995) e previamente utilizados por Kuntschik (1996). A Tabela 2 mostra os valores de K para os solos presentes na bacia do córrego Pinheirinho.

A geração da grade com os valores de erodibilidade referentes a cada mancha de solo ocorreu em duas fases. Numa primeira instância foram digitalizados os limites das manchas de solo. Estes foram digitalizados dentro do limite geográfico da microbacia, o qual já existia em outro PI. Obteve-se um produto temático no formato vetorial. Este PI foi posteriormente transformado para o formato matricial, e as classes ponderadas sobre uma grade com resolução de 30 x 30 m. Os valores numéricos usados na ponderação se encontram na Tabela 5.1.

A Unidade Camarguinho não possuía registros de erodibilidade. Para determinação de seu valor foram comparados os perfis de alguns solos com o perfil desta Unidade (Tabela 5.2). Calculando a diferença média entre os valores observados para cada Unidade com os valores observados para a Unidade Camarguinho, escolheu-se a erodibilidade referente à Unidade Mato Dentro. Esta Unidade foi a que apresentou o menor valor de soma das diferenças entre os parâmetros observados.

TABELA 5.1 - VALORES DO FATOR K PARA OS SOLO PRESENTES NA MICROBACIA DO CÓRREGO PINHEIRINHO.

SOLO	K [t.mm/MJ.h]
Podzólico Vermelho Amarelo, Unidade Usina.	0.0462
Latossolo Vermelho Escuro Álico, Unidade Limeira.	0.0167
Latossolo Vermelho Amarelo Húmico, Unidade Camarguinho.	0.0246
Latossolo Roxo Distrófico, Unidade Ribeirão Preto.	0.0098

FONTE: Lombardi Neto, 1995

5.3.3. FATOR TOPOGRÁFICO (FT)

Este fator foi calculado a partir do mapa de isolinhas da área. Para este trabalho foi usada a equação 2.5, dividida em dois subfatores (ver Item 2.1.1). O subfator Θ se refere à declividade das encostas da microbacia. O subfator Λ se refere ao comprimento destas encostas.

a) Declividade de encosta

O cálculo da *declividade* (Θ) foi feito através do uso de um ábaco triangular. Baseado nas curvas de nível da área, fez-se correr o ábaco por entre as curvas de nível. O encostar dos dois extremos do cateto menor do triângulo nas duas isolinhas entre as quais se estava fazendo correr o ábaco determinou o limite entre duas classes de declividade. O procedimento de geração da *carta clinográfica* é bem descrito por De Biase (1992). Este método é conhecido como *método da declividade por facetas*.

Através deste procedimento obteve-se uma carta clinográfica temática. De posse deste produto, recorreu-se à conversão destes dados em MNT, conforme

procedimento descrito no item 5.3.3 para a obtenção da grade referente ao fator erodibilidade.

As classes de declividade utilizadas, listadas na Tabela 3 foram as mesmas usadas por Kuntschik (1996) e IPT (1986). Não foi observada nenhuma área com declividade maior que 40%. A ponderação foi feita usando os valores médios da declividade de cada classe.

TABELA 5.2 - CLASSES DE DECLIVIDADE E VALORES DE DECLIVIDADE USADOS NA PONDERAÇÃO DESTAS CLASSES

Classe	intervalo [%]	valor de ponderação
A	0 a 3	1.5
B	3 a 6	4.5
C	6 a 12	9.0
D	12 a 20	16
E	20 a 40	30

b) Comprimento de encosta

Considerando as limitações ao cálculo deste fator, apresentadas na fundamentação teórica, no item 2.1.1.3, calculou-se o comprimento de encosta de quatro formas diferentes.

O primeiro método levou em consideração a distância absoluta entre o início do escoamento da água e o canal principal de deságue. Este método foi batizado de *método das isocômpleres* (Fernández e Formaggio, 1996).

Numa segunda instância ponderou-se sobre o mapa de isocômpleres, já no formato de grade, as áreas com prática de terraceamento. A estas áreas foi atribuído o valor de 50m de comprimento de rampa, valor este observado nas visitas a campo e associado à cultura da cana-de-açúcar.

Uma terceira aproximação considerou-se a influência das estradas no comprimento de rampa. A última aproximação considerou as estradas e os terraços conjuntamente.

i) Método das isocômpleres

O método das isocômpleres consiste em traçar linhas que unam pontos de mesmo comprimento de rampa, tal qual as isolinhas de nível. A partir deste modelo pode-se gerar um MNT. Estas linhas de mesmo comprimento de rampa foram chamadas de *isocômpleres* (do grego *iso*, igual, e do latim *complere*, comprimento). Para chegar à representação do comprimento de rampa via este método seguiram-se as seguintes etapas:

- a) geração de carta na escala 1:25.000, com isolinhas de nível a cada 10 m;
- b) traçado dos caminhos mais prováveis da água;
- c) divisão dos caminhos mais prováveis da água em segmentos equivalentes a 200m no solo;
- d) união dos pontos marcados sobre os caminhos mais prováveis da água, gerando as isocômpleres (isolinhas de comprimento de rampa).
- e) digitalização do limite da microbacia e das isocômpleres num plano de informação (PI) da categoria numérica;
- f) geração de grade TIN;
- g) geração de imagem MNT para verificação de possíveis erros na digitalização das isocômpleres;
- h) observação dos valores da grade gerada em contraste com as isocômpleres, para avaliação da qualidade final da grade.

Como a escala final de trabalho era de 1:50.000, e nesta escala uma distância de 200m equivale a 4mm, esperava-se uma densidade excessiva ao traçar as isolinhas de comprimento de rampa. Por isso decidiu-se por trabalhar sobre uma carta na escala 1:25.000, na qual 200m equivalem a 8mm. Em apenas alguns pontos se trabalhou com o gabarito de 4mm, equivalente a 100m.

Para traçar os caminhos mais prováveis da água as isolinhas foram reduzidas à metade em sua densidade. As cartas do IGC, previamente digitalizadas no SPRING, foram editadas para reduzir o número de curvas de nível. Gerou-se uma carta com isolinhas a cada 10 metros, com os pontos cotados e os limites da microbacia.

Este procedimento é aceitável pois as isolinhas não têm função de quantificar o caminho da água, mas de dar ao intérprete a noção das direções com maior declividade. A carta 1:50.000 tem uma densidade de linhas muito baixa para este fim (isodistância de 20m). As cartas 1:10.000 possuem uma densidade original de isolinhas muito alta, o que no final resultaria em um número excessivo de linhas (curvas de nível,

caminhos mais prováveis da água, isocômpleres), o que dificultaria a leitura do produto a ser digitalizado no sistema de informações geográficas.

O traçado inicial dos caminhos mais prováveis da água foi feito a partir da rede de *drenagem*. Esta foi segmentada em trechos de 8mm, o equivalente a 200m no solo. A partir do extremo de cada um destes segmentos foi traçada uma curva, seguindo em direção a montante, até encontrar o divisor de águas. O traçado das linhas obedeceu sempre a direção de maior declividade entre duas isolinhas.

Algumas áreas da microbacia ficaram com uma densidade de linhas dos caminhos de escoamento da água muito baixa, por serem áreas de captação de água. Nestas regiões foi feita a subdivisão do *divisor de águas* em segmentos de 200m. A partir destes pontos é que foram traçados os caminhos mais prováveis da água, seguindo a jusante.

Uma vez traçados os caminhos mais prováveis da água, estes foram divididos em segmentos de 8mm, equivalentes a 200m. O objetivo era obter uma grade irregular de pontos amostrados. À medida que os caminhos mais prováveis da água iam sendo divididos, os pontos gerados de mesmo valor de comprimento de rampa eram unidos por uma linha, fazendo uma generalização. O trabalho de divisão dos segmentos e traçado das linhas foi concomitante para evitar confusão na união dos pontos.

As isocômpleres foram digitalizadas no SPRING via mesa digitalizadora. Como já existia um PI com o limite da microbacia, essas linhas foram copiadas para o PI numérico que iria conter os dados das isocômpleres. Ao divisor de águas foi atribuído valor zero. Alguns divisores de águas no centro da bacia foram identificados, aos quais também foi dado valor zero.

A geração da grade usou o algoritmo TIN. Este interpolador, à disposição no SPRING, simula a geração de uma grade triangular irregular (Namikawa, 1995 e Namikawa, 1996). A grade foi gerada com uma resolução de 30m, para acompanhar a geometria de uma imagem TM corrigida e georreferenciada.

ii) Método das isocômpleres considerando os terraços

De acordo com Wischmeier e Smith (1978) os terraços podem ser considerados de duas formas, para fim de estimativa de perdas de solo em microbacia. Pode-se considerar o comprimento de rampa contínuo, sem quebra onde houver terraço e um fator P de 0,2, equivalente à prática conservacionista de cordões vegetados (seção 2.1.1.5). Esta é adequada para o cálculo da estimativa de erosão usando o Λ de acordo com o método das isocômpleres, sem nenhuma correção.

Outra forma de estimar as perdas de solo por erosão seria considerar o comprimento de rampa como a distância horizontal entre os terraços. No fator P passa a ser utilizado o índice referente à prática de plantio em contorno (Wischmeier e Smith, 1978, p. 37).

Para considerar os terraços no valor de Λ usou-se o PI que continha os dados de práticas conservacionistas, mapeado a partir da fotografia aérea. Gerou-se um MNT temporário que indexava as práticas conservacionistas em 0 e 1. As práticas conservacionistas que usassem o terraço ou fossem terraço no ciclo inteiro recebiam o valor 0. As outras práticas conservacionistas receberam o valor 1. Para detalhes quanto à determinação das classes de práticas conservacionistas referir-se à seção 5.4.5.

Com este PI realizou-se uma operação sobre o PI que continha os dados de comprimento de rampa, corrigido para presença de estradas e não corrigido para estas, gerando-se um novo PI numérico, com o comprimento de encosta corrigido para a presença de terraços. A operação realizada foi a seguinte:

$$\Lambda_T = ((\Lambda_O - 50) * F_{PC}) + 50. \quad (5.1),$$

onde Λ_T é o comprimento de rampa corrigido para a presença de terraços, Λ_O é o comprimento de rampa original (com ou sem correção para a presença de estradas) e F_{PC} é o PI matricial das práticas conservacionistas no formato dicotômico, onde “0” indica presença de terraços e “1” indica ausência de terraços.

A lógica desta fórmula é manter as áreas que não são cultivadas com a prática de terraceamento com o seu valor original de comprimento de rampa, e dar às áreas que são cultivadas com esta prática, o valor médio da distância horizontal entre terraços, observado em campo. Os 50m subtraídos na primeira parte da equação são repostos no fim. A multiplicação desse primeiro termo da equação pelo PI F_{PC} mantem o valor das áreas sem terraço com o seu valor menos 50m, e atribui zero às áreas terraceadas. Somando-se mais tarde 50, as áreas que sem terraços voltam a seu valor original, e as áreas com terraços passam a ter um Λ igual a 50m.

Este procedimento resolve parcialmente a modelagem do Λ , visto não ser capaz de considerar a intercepção das estradas. As áreas que não são cultivadas com terraceamento continuam a apresentar valores extremos de Λ .

iii) Comprimento de rampa considerando as estradas

Para gerara o MNT referente ao comprimento de rampa considerando as estradas foi necessário se traçar um novo mapa de isocômples. O traçado deste novo mapa considerou que não apenas o limite da microbacia tinha cota zero, mas as estradas também.

Uma vez traçados os caminhos mais prováveis da água, estes foram sobrepostos por uma transparência com o traçado das estradas. Entre o limite da microbacia e as estradas o traçado do comprimento de rampa se processou da mesma forma que se estas não existissem. Ao atingir uma estrada esta retomava o valor zero, e uma nova rampa se iniciava.

Foram consideradas as estradas que efetivamente cortavam o caminho mais provável da água. Aqueles que corriam mais ou menos paralelas ao caminho mais provável da água não foram consideradas como início de uma nova rampa.

iv) Comprimento de rampa considerando as estradas e os terraços

A última aproximação do comprimento de rampa foi considerar as estradas e os terraços num mesmo PI. Para tanto foi usada a metodologia já explanada, usada para determinar o comprimento de rampa considerando a distância horizontal entre os terraços. A única mudança foi o PI base, que foi o comprimento de rampa que levou em conta o impacto das estradas no escoamento das águas.

5.3.4. FATOR C

O fator C estima o quanto um dado uso do solo e manejo da cultura consegue proteger este solo da erosão. Parte-se do princípio de que a cobertura do solo tem um papel importante na diminuição da energia cinética das chuvas. Uma maior cobertura significa uma maior proteção do solo contra a energia erosiva da precipitação pluviométrica.

A determinação deste fator se deu em três fases. Numa primeira instância fez-se um reconhecimento da microbacia, observando quais as culturas presentes. Esta primeira fase ainda se constituiu na delimitação dos talhões na fotografia aérea e das classes espectrais na imagem orbital. Esta fase foi encerrada com a determinação das rotações culturais observadas e mapeadas na fotografia aérea.

A segunda fase correspondeu à determinação dos valores de fator C para cada rotação observada no campo. Para poder calcular o valor deste fator, bem assim como as classes de rotação cultural, fez-se uso intensivo de dados de campo, quais sejam: visitas às propriedades, observação dos restos culturais, conversas com agricultores da região e observação do calendário agrícola.

Para a determinação deste fator foram considerados o ciclo da cultura, ou rotação, o estágio de desenvolvimento da cultura, as Razões de Perdas de Solo (RPS) para o estágio e a porcentagem da erosão anual ocorrendo no período em questão. A Tabela 4 exemplifica, com as rotações de cana renovada em outubro e para cana seguida de batata no inverno, a mecânica do cálculo do fator C.

As RPS usadas foram equivalentes ao valor do fator C para cada cultura, com excessão da cana. Para a cana o valor das RPS por estágio estavam bem definidas, usando-se então o valor do último estágio (0,05) para a cana em plantio contínuo ou em final de cultivo e o valor do primeiro estágio (0,35), quando cabia (renovação da cana - ver exemplo na Tabela 5.3). De Maria et al. (1994) apresentaram um valor médio para o fator C da cultura da cana que não foi usado por considerar o ciclo completo da cultura, de pelo menos 4 cortes.

TABELA 5.3 - EXEMPLO DOS PARÂMETROS E VALORES USADOS PARA O CÁLCULO DO FATOR C, PARA CANA RENOVADA EM SETEMBRO E CORTADA EM FEVEREIRO E PARA CANA SEGUIDA DE BATATA.

MÊS	% erosão	Rotação: cana/pousio		Rotação: cana/batata	
		RPS média	Fator C	RPS média	Fator C
out	0,06	0,0500	0,0032	0,0500	0,0032
nov	0,13	0,0500	0,0063	0,0500	0,0063
dez	0,24	0,0500	0,0119	0,0500	0,0119
jan	0,21	0,0500	0,0107	0,0500	0,0107
fev	0,12	0,0500	0,0062	0,0500	0,0062
mar	0,09	0,0500	0,0045	0,0500	0,0045
abr	0,03	0,0500	0,0016	0,0500	0,0016
maio	0,03	0,0500	0,0016	0,0500	0,0016
jun	0,02	0,0500	0,0010	0,5500	0,0107
jul	0,01	0,0500	0,0007	0,5500	0,0076
ago	0,01	0,0500	0,0006	0,5500	0,0071
set	0,03	0,3500	0,0114	1,0000	0,0326
TOTAL	1,00		0,0598		0,1040

Algumas culturas receberam o valor do fator C de culturas que fornecessem proteção similar ao solo. É o caso da cultura do tomate, que não possuía dados de RPS ou de fator C. A esta cultura foi atribuído o valor do fator C da cultura do feijão, que se considerou fornecesse o mesmo nível de proteção.

O fator uso e manejo foi calculado por rotação observada. Cada UM foi associada a uma rotação, e a esta rotação associado um valor de fator C, gerando-se um mapa temático. Este mapa temático foi ponderado, da mesma forma que a já descrita para a declividade.

No caso da imagem a associação não foi feita com as UM, as quais não existiam. A associação foi feita com as classes espectrais que se pôde resolver quando do tratamento digital. A cada classe espectral foi associada uma cultura e seu respectivo valor de C anual.

5.3.4.1.DADOS PROVENIENTES DE FOTO

O primeiro passo na determinação do fator C a partir da fotografia foi delimitar as Unidades de Manejo (UM). Estas UM foram delineadas por fotoleitura das fotografias. A escala das fotos era de 1:38.000, não havendo base cartográfica nessa escala.

Esta dificuldade foi contornada com a produção de uma carta que contivesse as estradas e a drenagem na escala 1:38.000 em papel vegetal. Esta carta foi gerada usando os dados digitalizados no SPRING a partir da carta 1:50.000 do IBGE (1970). Usou-se o módulo SPRINGCARTA, que gera saídas em formato "Pós Script" para impressoras laser.

O objetivo desta primeira fotoleitura foi identificar áreas que o agricultor tratasse como unidade mínima de manejo. Identificaram-se inicialmente 227 UM. As UM eram divididas entre si por estradas, cercas, carregadores ou qualquer outra feição da paisagem que funcionasse como particionador.

Nas quatro primeiras visitas a campo (19 de abril, 26 de maio, 14 de setembro e 25 de outubro de 1995), levantaram-se dados e confirmou-se e corrigiu-se o mapeamento resultante da fotoleitura e fotointerpretação. Nestas visitas observou-se a cobertura de cada UM, subdividindo-as ou unindo-as. Muitos dados foram obtidos a partir de conversas com agricultores, os quais caracterizaram as rotações praticadas.

Após a caracterização das diversas rotações culturais para cada UM no verão de 1994 e no inverno de 1995, usando uma planilha eletrônica ordenaram-se alfabeticamente as UM. As sequências culturais repetidas foram reduzidas a uma classe de uso e manejo. Assim, as várias UM que tinham cana no verão e batata no inverno constituíram uma classe de manejo, à qual pôde ser atribuído um valor do fator C.

A cobertura com as UM foi introduzida no SPRING via mesa digitalizadora. Para permitir seu uso em operações de cruzamento, ponderação e reclassificação, os dados vetoriais foram convertidos no formato matricial.

5.3.4.2.DADOS PROVENIENTES DE IMAGEM

Os dados provenientes da imagem permitiram a determinação deste fator a partir da caracterização dos limites espectrais resolvíveis pelo SPRING. O processo usado foi o da segmentação inicial da imagem e posterior classificação, usando algoritmo supervisionado.

O primeiro passo foi o registro da imagem com a base cartográfica utilizada. As bandas utilizadas no processamento digital foram as TM 2, 3, 4, 5 e 7. No registro se buscou obter um erro menor que um pixel nos dois eixos cartesianos.

A imagem registrada foi a seguir segmentada. O algoritmo usado foi o de crescimento de regiões, que vai agrupando píxeis cujos valores radiométricos (em todas as bandas usadas) se encontrem dentro de um limiar de aceitação definido pelo usuário. Cada segmento é composto de uma quantidade mínima de píxeis, também definida pelo usuário (Richards, 1986).

A segmentação generaliza uma imagem em segmentos com valores similares. A escolha adequada destes dois limiares depende das feições que se desejam separar (Le Moigne e Tilton, 1995). Desta forma se obtém um produto com aparência próxima ao resultado de uma fotoleitura sobre um produto analógico.

Vários testes tiveram de ser realizados para poder se chegar a um limiar de segmentação que fosse considerado adequado ao objetivo almejado, que era caracterizar o maior número possível de classes de sucessão vegetal. Limiares mui rigorosos levam a uma segmentação excessiva da imagem, separando variações sem significado em termos de variação de tema. Limiares largos tendem a agrupar em um mesmo segmento píxeis que pertencem a classes diferentes do mesmo tema.

A imagem segmentada foi classificada usando o algoritmo de Battacharya. Este método estima a distância entre duas nuvens de píxeis, rotulando-os para uma ou outra classe de acordo com o Teorema de Distribuição Central (TDC) e a distância de Battacharya (Bins et al., 1996). A distância de Battacharya é uma extensão da distância de Mahalanobis, e seus parâmetros são estatísticos (média e variância dos vetores componentes das nuvens de píxeis). A escolha do melhor limiar de aceitação e de segmentação também exigiu que se fizessem testes de classificação, até chegar aos parâmetros aceitáveis.

O resultado deste processo supervisionado de classificação foi uma imagem temática classificada. A geração de um PI temático requeria que ainda se fizesse um mapeamento para geoclasses. Este mapeamento consiste em mapear cada classe radiométrica, resultante da classificação, com a classe correspondente do tema objeto de análise.

As composições coloridas se fizeram úteis na aquisição das amostras para a classificação. Quatro bandas foram usadas nessas composições, nomeadamente as bandas 3, 4, 5 e 7 do sensor TM. Diversas combinações de bandas e contrastes se fizeram, até chegar a um produto informativo o suficiente. Vale destacar que a possibilidade de discriminar feições oferecida pela composição em uso não necessariamente tem sua contrapartida na capacidade de discriminação por parte do algoritmo classificador.

5.3.5. FATOR P

Os PIs com os dados referentes ao fator P, da mesma forma que o fator C, foram obtidos para a imagem e a fotografia. Numa fase inicial, concomitante ao mapeamento do fator C, foram levantadas as práticas conservacionistas existentes na área. Para isso foram usados recursos de fotoleitura e fotointerpretação e dados de campo.

A cada cultura foi associada uma prática conservacionista. Isto foi possível visto o nível técnico da região. A fotoleitura se deu no mesmo passo daquela realizada para a definição do fator C. A associação foi feita após a definição das classes de rotação cultural, por interpretação da fotografia e dados de campo.

Como se observaram diversas sequências culturais, as práticas conservacionistas de uma cultura nem sempre eram coerentes com as práticas da cultura antecessora. É o caso da cana seguida de batata irrigada. A cana plantada em terraços era sucedida pela batata plantada no sentido do declive, para permitir o tracionamento do sistema de irrigação.

Para poder calcular o valor do fator P para as situações em que houvesse variação de prática conservacionista ao longo do ciclo estudado, definiram-se algumas regras:

- não havendo uma mudança drástica da prática conservacionista de um cultivo para o outro, esta seria considerada constante, como é o caso do feijão plantado após a cana, que aproveita os restos culturais da cana e não resistemiza o solo para seu cultivo;
- havendo mudança evidente de prática conservacionista, esta seria ponderada ao longo do período estudado tal qual as RPS para fins de cálculo do fator C (ver Tabela 5.4);
- as áreas em pousio conservaram as práticas conservacionistas das culturas ativas, pois estas só mudam quando do preparo do solo.

Os dados provenientes da interpretação da fotografia aérea e das visitas foram usados para a atribuição do fator P à foto e à imagem. A diferença se encontra no fato da cobertura correspondente à foto ser mais detalhada que a referente à imagem.

Uma vez definido o fator P este foi ponderado e gerada uma grade numérica, para integração com os outros fatores da EUPS. Este processo seguiu os passos já descritos para o fator K, na seção 5.3.2.

5.3.6. TOLERÂNCIA DE PERDAS DE SOLO (T)

A tolerância de perdas de solo para cada mancha foi fornecida por Lombardi Neto (1995). Os valores referentes a esta grandeza se encontram na Tabela 5.5.

Da mesma forma que o fator K não existia para a Unidade Camarguinho, tampouco se possuía o valor das tolerâncias de perdas para esta Unidade. O procedimento para escolha deste valor foi o mesmo usado para a escolha do fator K, descrito na seção 5.4.2. Ou seja, uma vez escolhido o fator K, já estava associado o valor de tolerância de perdas correspondente.

TABELA 5.4 - EXEMPLO DOS PARÂMETROS E VALORES USADOS PARA O CÁLCULO DO FATOR P, PARA CANA RENOVADA EM SETEMBRO E CORTADA EM FEVEREIRO E PARA CANA SEGUIDA DE BATATA IRRIGADA.

MÊS	% erosão	Prática:	Rotação:	Prática:	Rotação:
		T	cana/pousio	T/MA	cana/batata
out	0,06	0,2000	0,0130	0,2000	0,0130
nov	0,13	0,2000	0,0251	0,2000	0,0251
dez	0,24	0,2000	0,0477	0,2000	0,0477
jan	0,21	0,2000	0,0426	0,2000	0,0426
fev	0,12	0,2000	0,0250	0,2000	0,0250
mar	0,09	0,2000	0,0180	0,2000	0,0180
abr	0,03	0,2000	0,0063	0,2000	0,0063
maio	0,03	0,2000	0,0066	0,2000	0,0066
jun	0,02	0,2000	0,0039	1,0000	0,0194
jul	0,01	0,2000	0,0028	1,0000	0,0138
ago	0,01	0,2000	0,0026	1,0000	0,0129
set	0,03	0,2000	0,0065	1,0000	0,0326
TOTAL	1,00		0,2000		0,2629

T: terraços; MA: Morro Abaixo.

A forma de obter a grade de tolerância de perdas foi a mesma usada para a obtenção da grade do fator K. A partir do mapa temático vetorial gerou-se um PI matricial, o qual foi ponderado dentro do SPRING, usando a LEGAL.

5.4. INTEGRAÇÃO

A integração dos dados deu-se em blocos. O primeiro bloco integrou os dados da paisagem, gerando o PNE. Os dados de uso e manejo do solo e de práticas conservacionistas foram integrados a seguir, obtendo-se os mapas referentes ao fator antrópico. O terceiro passo foi integrar a cobertura referente ao PNE com as coberturas referentes ao fator antrópico, obtendo as perdas relativas por erosão. O último passo foi estimar o índice de criticidade para os dados provenientes da fotografia e da imagem.

5.4.1. ESTIMATIVAS DE PERDAS DE SOLO POR EROSÃO

a) Potencial Natural de Erosão (PNE)

O Potencial Natural de Erosão foi estimado de quatro formas, considerando os quatro modelos de cálculo do comprimento de rampa. Conquanto se avaliaram os resultados dos quatro modelos gerados, estes não foram todos usados para a estimativa da Perdas Relativas por Erosão (PRE). Apenas o modelo que mais se aproximou da realidade foi usado.

TABELA 5.5 - VALORES DAS TOLERÂNCIAS DE PERDAS DE SOLO PARA AS UNIDADES PRESENTES NA MICROBACIA DO CÓRREGO PINHEIRINHO

SOLO	T [t/ha]
Podzólico Vermelho Amarelo, Unidade Usina.	9,60
Latossolo Vermelho Escuro Álico, Unidade Limeira.	12,30
Latossolo Vermelho Amarelo Húmico, Unidade Camarguinho.	12,60
Latossolo Roxo Distrófico, Unidade Ribeirão Preto.	13,00

FONTE: Lombardi Neto, 1995.

b) Fator antrópico (CP)

A integração do fator antrópico obedeceu o modelo gerado de PNE. A razão disso é que o PNE podia ser calculado levando em conta os terraços no comprimento de rampa ou não. Caso o melhor modelo fosse o do comprimento de rampa sem considerar os terraços, estes deveriam ser considerados no fator P. Caso

contrário, na cobertura referente ao fator P, as áreas correspondentes à prática de terraceamento deveriam ser ponderadas com o valor da prática conservacionista de plantio em contorno. Esta ponderação é prévia à integração dos fatores C e P para obtenção do fator antrópico.

c) Perdas Relativas por Erosão

As Perdas Relativas por Erosão também foram integradas usando a LEGAL, dentro do ambiente de SIG. Estas foram obtidas para a imagem e a fotografia, consideradas as limitações da geração do fator antrópico. O mapa relativo às PRE foi obtido a partir do PNE escolhido a priori, como explicado no Item 5.4.1.a) supra.

O resultado foi um PI no formato numérico. Este foi convertido para o formato matricial usando o recurso de fatiamento, e em seguida para a representação vetorial, para geração da saída em “plotter”. A área foi calculada no formato matricial.

5.4.2. AVALIAÇÃO DA EUPS

a) Índice de Criticidade e Índice Antrópico Tolerável

O Índice de Criticidade (IC) visa identificar áreas com erosão estimada maior que a tolerada. Este índice foi gerado com a finalidade de avaliar a adequação da EUPS à modelagem da erosão na bacia do Córrego do Pinheirinho. A confrontação do mapa deste índice com as observações de campo mostraria a existência ou não de convergência entre o modelo e a realidade.

O Índice Antrópico Tolerável (CPT) é o resultado da razão entre a tolerância da perdas (T) e o PNE. Este índice é uma recomendação conservacionista: quanto maior o CPT, mais agressiva, em termos de erosão, pode ser a agricultura sobre aquela área. Este índice também foi usado com a finalidade de avaliar o rigor do modelo EUPS.

b) Simulações

As simulações realizadas no presente trabalho se concentraram na proposição de alternativas de modelagem do fator topográfico, especificamente no cálculo do comprimento de rampa. Estas seguiram os procedimentos indicados nos itens anteriores. A avaliação dos modelos de comprimento de rampa foi feita no conjunto dos dados gerados para o PNE.

c) Edição dos dados

A edição dos dados foi necessária para a geração das cartas. As cartas foram geradas no módulo de edição gráfica do SPRING, o SPRINGCARTA. Estes

receberam uma escala de cores que se tentou manter para todos os dados plotados. Os dados foram todos convertidos para o formato vetorial para gerar estas cartas.

A uniformização das cores visou facilitar a compreensão dos resultados. A cor verde foi usada para os valores mais conservacionistas ou menores em todas as cartas. Em seguida vinha a cor amarela, o ciano, o azul e laranja. As situações menos conservacionistas ou que indicassem maiores riscos de erosão foram pictadas com a cor vermelha, diminuindo sua intensidade nos tons de rosa e violeta.

CAPÍTULO 6: RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. DELIMITAÇÃO E ESTUDO DA MICROBACIA

Os limites da microbacia traçados na carta mostraram-se coerentes com as observações feitas no campo. Baseados nesses limites os talhões e demais referências puderam ser facilmente encontrados.

Muitas das estradas vicinais seguem os divisores de água limítrofes e internos da microbacia. Isto pôde ser verificado no campo. Esta coincidência entre o traçado das estradas e os divisores de água foi verificada depois de traçado o limite da microbacia e enquanto se realizava o trabalho de cálculo do comprimento de encosta. A Figura 6.1 dá uma visão geral da microbacia, com os talhões, o divisor de águas e as estradas registradas em cartas topográficas. Estas duas figuras permitem se tenha uma visão geral da microbacia.

O estudo de uma microbacia tem vantagens do ponto de vista de observação da natureza e de operacionalização das medidas comunitárias, como já observado na introdução. Porém, nem todos os produtores têm uma visão clara de microbacia na qual sua propriedade está inserida. Conquanto aqueles que viram uma imagem ou mapa, facilmente se localizaram na área, além da microbacia, poucos conheciam a relação entre o córrego Pinheirinho e seu afluente. Isto foi verificado nas primeiras visitas, quando as equipes tinham de se informar muito com as pessoas do local para poder se localizar. Os tanques eram mais conhecidos que qualquer dos dois córregos (Pinheirinho e seu afluente).

A explicação a esta visão dos produtores talvez esteja na forma como a terra é tradicionalmente dividida. Faz parte de nossa cultura dividir glebas usando córregos e rios. Basta observar divisas estaduais ou municipais. O enfoque de bacias faz dos cursos d'água parte integrante da paisagem, ao contrário desta visão culturalmente forte de ter os cursos d'água como divisores.

A sistematização da microbacia em Unidades de Manejo (UM) caracteriza este antagonismo. Os córregos e tanques não dividem uma possível UM em nenhum caso. As margens direita e esquerda são sempre limites de diferentes UMs. Por outro lado, algumas UM localizadas no cume dos morros são cortadas pelo divisor de águas. As UM 2.7 e 2.18 são exemplo disto.

Quanto ao aspecto da análise de dados geográficos, há uma desvantagem que deve ser considerada. Dentro de um SIG um projeto é definido num formato retangular. Como a microbacia não é retangular, há espaços ao redor da área de estudo que não têm significado algum. Matematicamente, porém, estes espaços possuem uma

representação, geralmente um valor nulo ou zero. Este aspecto impede que cálculos convencionais de correlação entre bandas ou de média sejam feitos.

Para que isto seja possível, é necessário que o SIG utilizado realize cálculos dentro de uma máscara definida pelo usuário. No caso de estudo de uma microbacia esta máscara corresponde ao próprio limite da microbacia. Atualmente este recurso não existe no SPRING.

6.2. VISITAS AO CAMPO

As visitas as campo mostraram uma área de uso extensivamente agrícola. A presença de tanques e áreas de irrigação por pivotamento denotam investimentos a longo prazo, porém direcionados à agricultura anual. Verificou-se também uma dinâmica agrícola em torno da cana-de-açúcar.

Contudo, há uma transição entre a agricultura tradicional e outras formas de explorar a terra. Existem tanques novos para piscicultura em número considerável. Áreas com eucaliptos e pomares, assim como áreas com café foram observadas. Contudo essas áreas estavam em estado de abandono. E enquanto as áreas de pasto eram às vezes sucedidas com culturas anuais, o inverso não foi observado, mostrando a dificuldade de extrair uma renda de culturas perenes.

6.3. MODELAGEM DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES

A modelagem de cada variável independente mostrou haver uma necessidade de padronizar o modelo EUPS em termos de aquisição de dados e modelagem dentro de um SIG. Conquanto os fatores antrópicos são adquiridos em termos de UM para a fotografia, os fatores topográficos, p.e., são adquiridos para toda a microbacia, sem considerar o uso do solo. Esta característica cria uma série de polígonos espúrios quando da integração dos dados para obtenção do PI de Perdas Relativas por Erosão (PRE) ou mesmo do Potencial Natural de Erosão (PNE).

Outro aspecto importante da análise dos dados finais é a interdependência existente entre os diversos fatores da equação. Wischmeier e Smith (1978) definem o comprimento de encosta como sendo contínuo, mesmo que o uso do solo seja alterado, mas isto não foi verificado no campo. As cercas vivas, por exemplo, podem alterar a direção de escoamento da água, concentrando a erosão em um lado ou outro da cerca viva. E esta - a existência ou não de cerca viva - é uma característica ligada às UM.

Os fatores C e P também são interligados entre si. Esta correlação observada entre os dois fatores reflete o aspecto conservador do empresário rural, que costuma trabalhar de acordo com a forma que seus vizinhos trabalham. Com raras exceções, o manejo de uma cultura é o mesmo em toda a área, independente do produtor.

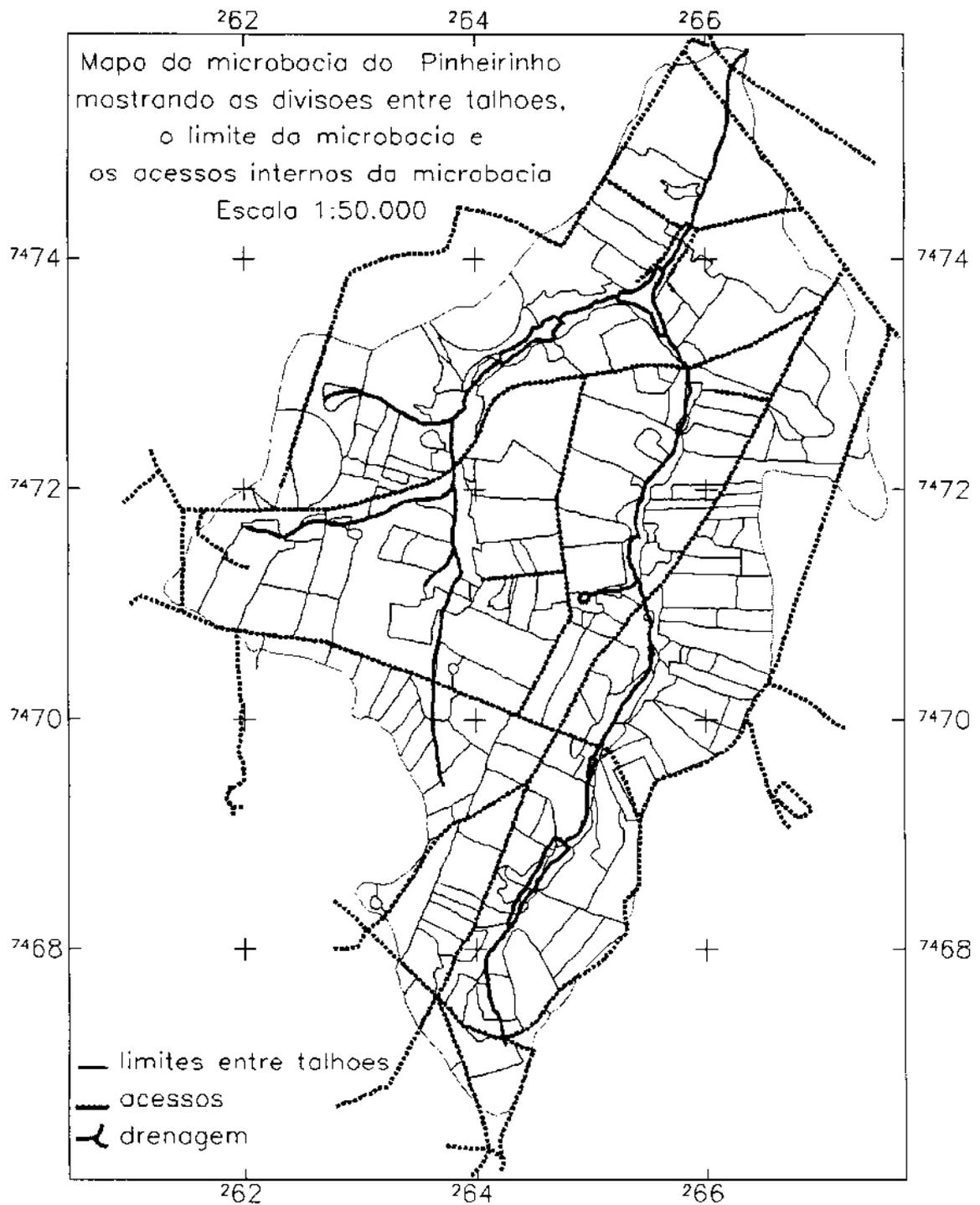


Fig. 6.1 - Limites da microbacia, estradas vicinais e talhões usados no mapeamento dos fatores C e P a partir da fotografia.

Os fatores P e LS também são interdependentes. Ao considerar-se no PI do comprimento de encosta a distância entre terraços, reflete-se a forma de mapeamento

do uso do solo. As áreas de cana-de-açúcar, cultura associada aos terraços, não são as mesmas para a fotografia e a imagem, apesar de serem similares. Logo, as áreas de terraços são diferentes para a imagem e a fotografia. Conseqüentemente, o fator topográfico é diferente para os resultados integrados a partir da imagem ou da fotografia.

6.3.1. FATOR R

Para este trabalho foram usadas as médias pluviométricas mensais registradas no posto meteorológico do Município de Monte Mor (Seção 4.3). Este posto meteorológico foi escolhido por ser o mais próximo, daqueles que possuíam dados de 20 anos. Um posto presente no Município de Sumaré possuía dados de 6 anos apenas, pois tinha sido instalado em 1988.

Contudo, os dados fornecidos pelo DAEE, apesar de cobrirem o período de janeiro de 1974 a setembro de 1995, não eram completos na sua cobertura. Faltaram dados para os anos de 1983, 1985, 1987, 1988 e 1995. Utilizaram-se então os dados de 17 anos, eliminando os anos com dados incompletos (Lombardi Neto, 1995). (Ver a Tabela 6.1 e a Figura 6.2).

TABELA 6.1 - MÉDIAS PLUVIOMÉTRICAS MENSAIS PARA OS ANOS USADOS NO CÁLCULO DO FATOR "R", E VALORES MENSIS DO ÍNDICE EI₃₀.

	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	Σ
chuva	107,7	159,5	233,7	218,7	159,0	131,0	70,4	72,0	52,6	42,9	41,2	71,6	1101,1
%	0,10	0,14	0,21	0,20	0,14	0,12	0,06	0,07	0,05	0,04	0,04	0,06	1,00
EI ₃₀	536,7	974,0	1738,5	1571,9	969,2	721,9	281,3	291,0	180,5	132,8	124,9	288,4	7811,0
%	0,07	0,12	0,22	0,20	0,12	0,09	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	1,00

FONTE: calculada a partir de DAEE (1995).

O valor calculado deste fator foi igual a 7.811,05 MJ.mm/ha.h.ano, equivalente a 797,0 tm.m/ha.a. Para este cálculo usou-se a fórmula 2, na página 4. Este valor está entre 700 e 750 tm.m/ha.a, de acordo com o mapa de isoerodentes apresentado por Bertoni e Lombardi Neto (1985, p.266).

Kuntschik (1996), usando o mesmo procedimento de cálculo obteve um valor de EI₃₀ igual a 6645 MJ.mm/ha.h.a. Sua região de estudo se encontra 90 a 100 km distante de Sumaré, em Araras.

Saiz (1996) usou valores já calculados de EI₃₀ para a região de estudo, extraídos de um mapa de isoerodentes. O valor utilizado por ela foi de 3747

MJ.mm/ha.h.a, o equivalente a 382 tmm/ha.a, numa região ao sul de Buenos Aires, na Argentina.

Castro (1992) utilizou um valor de 625 tmm/ha.a para sua quadrícula de estudo. Este valor foi extraído do mapa de isoerodentes do IAC. Pinto (1991) também usou um único valor para sua área de estudo, extraído do mapa de isoerodentes do Estado de São Paulo, de 750 tmm/ha.a.

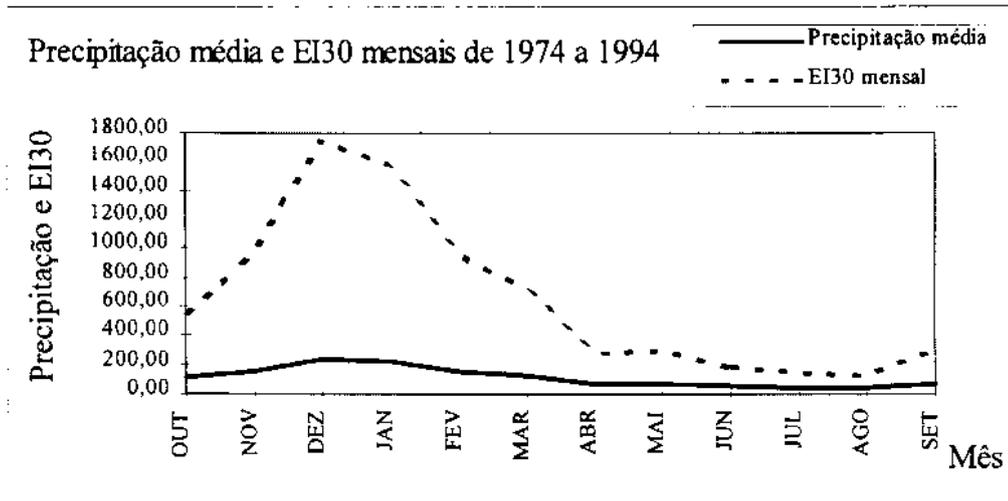


Fig. 6.2 - Gráfico da variação anual das médias das chuvas e do índice EI₃₀.

À exceção do valor usado por Saiz (1996), todos os valores se apresentam próximos ao utilizado neste trabalho. A área de estudo dessa autora é, porém, de uma região bem distante à utilizada no presente trabalho, ao contrário dos outros trabalhos realizados, todos no Estado de São Paulo. Considerou-se então que a utilização de 17 anos na série de cálculo do EI₃₀, ao invés de 20, como indicado na literatura, não inseriu um grande erro no modelo.

6.3.2. FATOR K E TOLERÂNCIAS DE PERDAS DE SOLOS

O fator K e as tolerâncias de perdas de solo partiram da mesma base cartográfica: o mapa de solos do levantamento semidetalhado da região de Campinas, realizado por Oliveira et al. (1979) e os dados de Lombardi Neto (1995). A Tabela 6.2 mostra os valores de K, de tolerâncias de perdas (T) e a área ocupada por cada Unidade de solo. A Figura 6.3 é o mapa de solos da microbacia. A Tabela 6.3 mostra os valores de um horizonte hipotético de aproximadamente 50 cm para as quatro Unidades de solo presentes, a fim de facilitar comparações qualitativas.

Os solos encontrados na microbacia são: Latossolo Roxo distrófico, Unidade Ribeirão Preto (LRd); Latossolo Vermelho Amarelo Húmico, Unidade Camarguinho (LH); Latossolo Vermelho Escuro Álico, Unidade Limeira (LE-1) e Podzólico Vermelho Amarelo, Unidade Usina (PV-2).

TABELA 6.2 - FATOR K [T.MM/MJ.H], TOLERÂNCIAS DE PERDAS DE SOLOS E ÁREA DE CADA UNIDADE DE SOLO ENCONTRADA NA MICROBACIA DO PINHEIRINHO.

Unidade	fator K ^{**}	Tolerâncias ^{***}	Área (km ²) ^{**}
LRd:	0,0098	13,00	2.06
LH:	0,0246	12,60	1.83
LE-1:	0,0167	12,30	13.38
PV-2:	0,0462	9,60	8.93
Total:			26.16

; ^{**} resultados; ^{*}[T.mm/MJ.h]; ^{***}[T/ha.ano]

¹FONTE: Lombardi Neto (1995)

Junto com o Latossolo Vermelho-Amarelo Húmico (LH), o PV-2 possui os menores valores de pH, tanto em água como em KCl. Possui também o menor valor de teor de matéria orgânica (MO), refletido no percentual abaixo da unidade do teor de C. O seu valor de saturação por bases é o 2º menor, perdendo apenas para o LH. Neste último, porém, o baixo valor de V é compensado pelo alto teor em MO (3,6%).

Estas características encontram reflexo no baixo valor de tolerâncias de perdas de solo e alto valor de fator K. A sua textura mais arenosa em relação aos outros solos presentes, aliada a sua acidez, baixo teor de C e baixo índice de saturação de bases fazem do PV-2 o solo menos adequado à agricultura, do ponto de vista conservacionista. É, mesmo assim, e dentro da classe dos podzólicos, um solo bastante resistente à erosão, vista a profundidade de seu horizonte A (53 cm) e os baixos teores de argila e limo. Os baixos teores destas frações granulométricas são pouco alteradas no horizonte B.

As outras Unidades presentes, todas da Classe dos Latossolos, têm pouca variação entre si quanto às perdas toleradas, mas uma grande variação quanto ao fator K. Observando apenas o aspecto erodibilidade e tolerância de perdas, o melhor solo corresponde aos 2,06 km² da Unidade Barão de Geraldo (LRd).

De forma geral, os solos da microbacia possuem um bom condicionamento agrícola: fertilidade média e resistência alta à erosão. Neste aspecto os 13,38 km² de LE-1 (Unidade Limeira) se destacam, com saturação de bases igual a

60%. Assim, as áreas abandonadas são explicadas mais por condições conjunturais que por inadequação da área à agricultura.

Estas características de maior ou menor suscetibilidade de uma dada Unidade à erosão ficam bem evidenciadas quando da estimativa do PNE (seção 6.4.1) e das PRE (seção 6.4.3).

TABELA 6.3 - DADOS DE GRANULOMETRIA, DE S, T, V, PH E TEOR DE C PARA UM HORIZONTE HIPOTÉTICO DE APROXIMADAMENTE 50 CM DAS UNIDADES DE SOLO ENCONTRADAS NA MICROBACIA DO PINHEIRINHO.

Horizonte	LRd	LE-1	LH	PV-2
Primeiro (%)	0,49	0,58	1	0,75
Segundo (%)	0,51	0,42	-	0,15
Terceiro (%)	-	-	-	0,10
Hipotetico	0-50	0-52	0-42	0-52
caolinita	55,0	65,0	55,0	60,0
gibbsita	10,0	27,0	23,0	11,0
A. Grossa	9,0	10,7	12,0	20,2
A. Fina	19,5	29,7	33,0	66,2
Limo	7,0	10,4	8,0	5,4
Argila	65,0	49,2	47,0	8,2
pH H2O	5,0	5,3	4,8	4,8
pH KCl	4,7	4,5	4,0	4,4
S	3,2	3,2	1,5	0,5
T	8,5	5,5	15,7	2,5
V	37,3	60,9	10,0	22,4
C	1,9	1,8	3,6	0,7

6.3.3. FATOR TOPOGRÁFICO (FT)

O fator topográfico reflete a declividade e o comprimento de encosta da área observada. No presente trabalho a declividade foi considerada uma constante. O comprimento de encosta foi caracterizado de quatro formas diferentes: a) natural, ou seja, considerando a microbacia como se não fosse em nada alterado pela ação antrópica, b) considerando as estradas como canais bem definidos feitos pelo homem, c) considerando o comprimento de encosta nas áreas de terraço como a distância horizontal

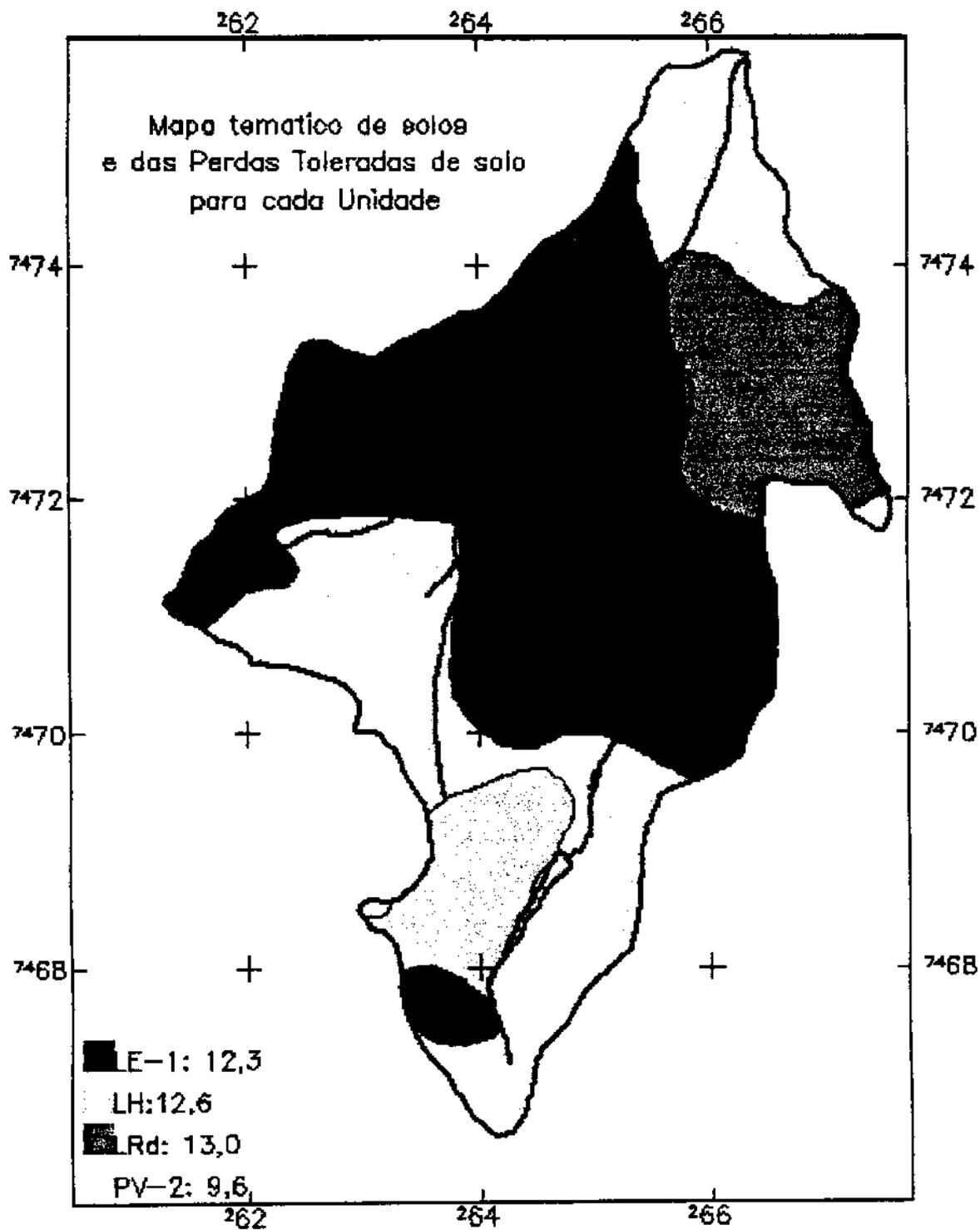


Fig. 6.3 - Solos da microbacia do Pinheirinho.
FONTE: Extraída de Oliveira et al. (1979).

6.3.3.1. DECLIVIDADE DE ENCOSTA

A declividade de encosta foi caracterizada usando o método das facetas, descrito por De Biase (1982). As classes utilizadas são as mesmas que as utilizadas por IPT (1986). A Tabela 6.4 e a Figura 6.5 mostram os valores das classes de declividade, os valores usados para ponderação e a área ocupada por cada classe.

Este método pode ser considerado conhecido, tendo sido utilizado pela maioria dos autores citados anteriormente (Pinto, 1991; Castro, 1992; Kuntschik, 1996 e Saiz, 1996). Tem como vantagem seu resultado ser um produto repetível. Sua deficiência é encontrada no momento da ponderação e na caracterização da declividade das áreas mui planas.

TABELA 6.4 - CLASSES DE DECLIVIDADE, VALOR USADO NA PONDERAÇÃO E ÁREA OCUPADA POR CADA CLASSE [KM²].

Classe	Intervalo (%)	Valor de ponderação	Área
A	0 a 3	1,5	6.47
B	3 a 6	4,5	11.63
C	6 a 12	9,0	6.88
D	12 a 20	16,0	1.13
E	20 a 40	30,0	0.08
F	40 ou mais:	ausente	0.00
Total:			26.20

Ao ponderar as classes de declividade, para posterior integração com os outros fatores, faz-se necessário escolher um valor de ponderação. A prática, adotada no presente trabalho, foi usar o valor médio da classe. Esta prática leva consigo um erro referente à irregularidade da forma de cada faceta. Como cada faceta representa um intervalo espacial dentro do qual a declividade é no mínimo o limite inferior do intervalo e no máximo o limite superior, não é possível saber com certeza qual o valor da declividade, mas apenas que ela se encontra dentro de determinados limites. Isto significa que o valor médio não é o necessariamente o melhor estimador da declividade de cada faceta.

A segunda deficiência se encontra ao modelar a declividade em áreas planas, como o entorno de rios ou topos de morros. Nestes locais não há ponto por onde se possa passar o ábaco (Figura 6.4) de acordo com as regras de determinação da declividade, estabelecidas em De Biase (1982). Nestas áreas se adotou o critério de

marcar a área dúbia com a classe de declividade seguinte à última classe cujo limite foi possível medir. Estas áreas ficaram em sua maioria classificadas nas classes A e B.

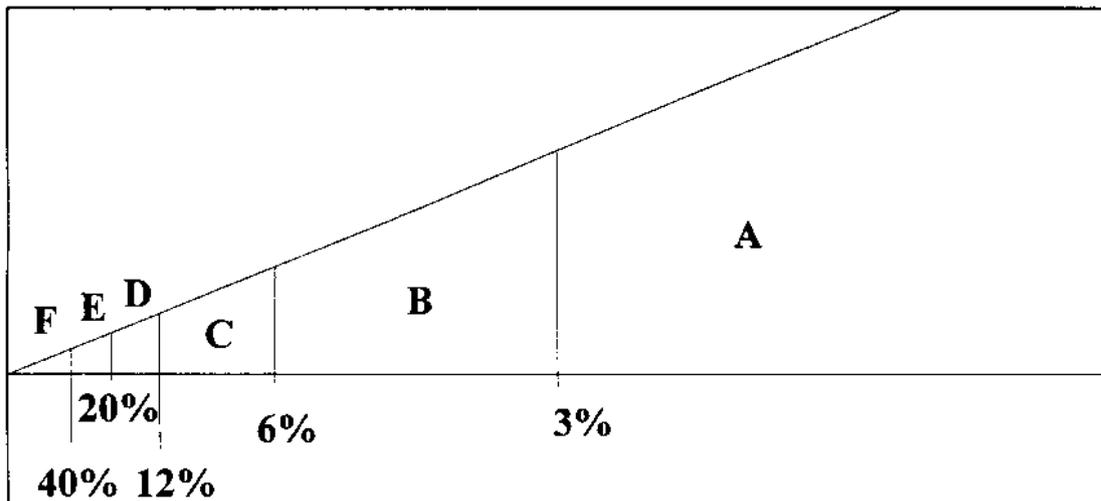


Fig. 6.4 - Ábaco triangular utilizado na caracterização da declividade, calculado a partir de De Biase (1982). Sem escala.

Contudo, como este método representa bem a declividade, do ponto de vista geométrico, e é bem definido em termos de procedimento, considerou-se ser um método adequado de representação da declividade de encosta. Deve-se contudo objetivar a estimativa mais precisa da declividade em trabalhos futuros.

6.3.3.2. COMPRIMENTO DE ENCOSTA

O comprimento de encosta foi modelado usando o método das isocômpleres (Fernández e Formaggio, 1996). A modelagem convencional, bem assim como este método, considera o comprimento de encosta sem levar em conta os fatores antrópicos de alteração da paisagem que possam alterar a topografia e o consequente escoamento da água. As estradas e a distância horizontal entre terraços foram considerados no presente trabalho, inicialmente de forma isolada e posteriormente em conjunto.

A Tabela 6.5 mostra a área, em km^2 e em percentual, de cada classe de comprimento de encosta. Para os dados sem correção nenhuma, classe com maior valor é de 1800 a 2000 m, sendo o valor máximo verificado de 1885m. Este comprimento de encosta corresponde ao que seria observado caso não houvesse a intervenção do homem, sendo uma encosta uma superfície contínua entre os divisores de água e a rede de drenagem.

No presente caso, a ação do homem se manifesta nas estradas e na construção de terraços como prática conservacionista. A inclusão de estradas no modelo se faz considerando as estradas como isocômpleres de valor zero: uma estrada é o ponto final de drenagem da gleba a montante dela, e início de uma nova rampa, aquela que se encontra entre a estrada e a drenagem.

A correção do comprimento de encosta para a interferência das estradas pressupõe venha a haver uma diminuição das classes de maior valor e um aumento da área das classes de menor valor. A Tabela 6.5 confirma esta expectativa. A faixa de 50 a 300 m passa de 27,5% para 44,8% do total da área da microbacia. Todas as outras classes têm maior extensão ao se modelar o comprimento de encosta sem correção que ao se modelar o comprimento de encosta com correção de estradas, mantendo-se quase invariável a classe que compreende os comprimentos de 300 a 600 m. Feita esta correção, o maior comprimento de encosta observado na grade foi de 1624 m (Tabela 6.6).

TABELA 6.5 - ÁREA OCUPADA PELAS CLASSES DE COMPRIMENTO DE RAMPA PARA OS 5 NÍVEIS DE CORREÇÃO CONSIDERADOS (KM², %)

	Tipo de correção									
	nenhuma		terraços		estradas		estradas e terraços			
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	foto		imagem	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
0_50	0,00	0,0	13,33	52,2	0,00	0,0	13,33	53,6	13,13	50,3
50_300	7,03	27,5	2,91	11,4	11,24	44,8	4,52	18,2	5,26	20,1
300_600	8,18	32,0	4,02	15,7	7,97	31,8	4,14	16,6	4,45	17,0
600_900	6,64	26,0	3,46	13,5	3,98	15,9	2,08	8,4	2,23	8,5
900_1200	2,60	10,2	1,17	4,6	1,47	5,9	0,61	2,4	0,93	3,6
1200_1500	0,78	3,0	0,48	1,9	0,35	1,4	0,15	0,6	0,12	0,5
1500_1800	0,24	0,9	0,11	0,4	0,05	0,2	0,05	0,2	0,02	0,1
1800_2000	0,06	0,2	0,04	0,2	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
Area total	25,54	100,0	25,54	100,0	25,06	100,0	24,88	100,0	26,13	100,0

A correção do comprimento de encosta para as áreas com terraços se deu dentro do módulo Legal do SPRING, realizando uma operação matemática entre grades. O primeiro passo foi gerar uma grade onde as áreas correspondentes à prática de terraço possuíam valor igual a 0 (zero), e as áreas com outras práticas conservacionistas valor igual a 1 (um). De posse desta grade, aplicou-se-lhe a equação 5.1 (pág. 43), a qual permitiu que as áreas de terraço fossem representadas por um comprimento de encosta

igual a 50 m (ver Seção 5.3.3). Esta correção foi aplicada ao comprimento de encosta não corrigido e ao comprimento de encosta corrigido para a presença de estradas.

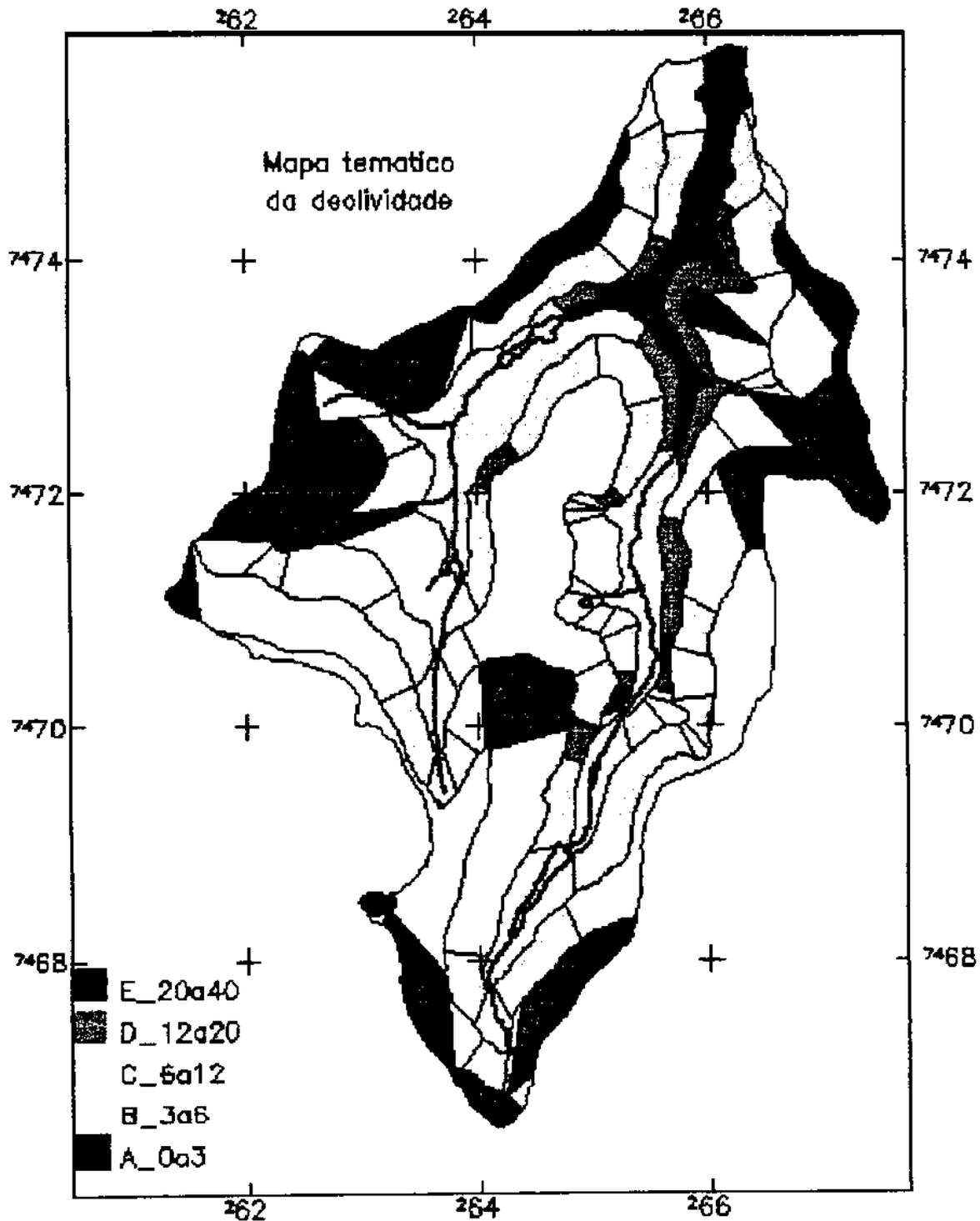


Fig. 6.5 - Carta clinográfica da microbacia do Pinheirinho.

É importante ressaltar aqui que esta correção gera resultados diferentes quando aplicada a partir dos resultados da imagem e dos resultados da fotografia aérea. A fotografia aérea e a imagem geraram produtos genericamente similares mas pontualmente diferentes no que se refere ao uso do solo, e conseqüentemente à cobertura por cana-de-açúcar. Este aspecto é melhor discutido na seção 6.3.4. Para fins de observação e discussão do efeito da correção do comprimento de encosta foi usado apenas o produto fotográfico. Para a integração final dos dados, gerando a estimativa de perdas de solo por erosão foi usado o mapeamento do solo proveniente da fotografia e da imagem, com correção para terraço e estradas, sendo estes dois últimos produtos discutidos logo a seguir.

A Figura 6.6 mostra o resultado da correção do comprimento de encosta para presença de estradas e terraços. O fator P, para obtenção das áreas de terraço, neste caso, foi gerado a partir da imagem.

Ao observar o comprimento de encosta considerando as estradas verifica-se a diminuição do maior comprimento de encosta (Tabela 6.6). No modelo que não considera as estradas o maior comprimento de encosta é de 1885m. No modelo corrigido para a presença de estradas o maior comprimento de encosta é de 1624m.

TABELA 6.6 - COMPRIMENTO MÉDIO E MÁXIMO DE ENCOSTA PARA OS DIVERSOS NÍVEIS DE CORREÇÃO.

	Tipo de correção				
	nenhuma	terraços	estradas	estradas e terraços	
				foto	imagem
Média	555,5	289,1	424,5	220,0	220,0
Máximo	1885	1877	1624	1624	1624

Ao considerar os terraços, o maior comprimento de encosta está relacionado à carta base. Isto é, se a correção para terraços for feita sobre o mapa de comprimento de encosta sem nenhum tipo de correção, o valor máximo é de 1877m. Se for feita a correção para terraço sobre o mapa previamente corrigido para a presença de estradas, o maior comprimento de encosta é de 1624m.

Conquanto esta correção não é significativa em termos de diminuição do valor máximo do comprimento de encosta, o seu valor médio é alterado significativamente. Enquanto o comprimento médio de encosta para a situação não corrigida é de 555m, ao se considerar as estradas passa-se a um comprimento médio de encosta de 424m. Considerando-se a influência dos terraços sobre o comprimento de encosta passa-se a um valor médio de 290m. Este valor de comprimento médio de encosta é ainda menor quando consideramos a correção do comprimento de encosta para

estradas e terraços, chegando a um valor de 224m. Ao analisar estes dados valem os cuidados observados quando da análise da declividade, no que diz respeito à representatividade do valor médio da classe como valor de ponderação, visto ter sido este valor utilizado no cálculo do valor de comprimento médio de encosta.

A diminuição do comprimento médio da encosta ao aplicar as correções para presença de estradas e terraços é corroborada pelo aumento da área ocupada pelas classe 0 a 50 m e 50 a 300m. O aumento de área para estas classes ocorre em detrimento da área das classes de maior valor de comprimento de encosta. A Tabela 6.5 explicita esta discussão. O que estes dados não mostram é que, conquanto necessárias e pertinentes, estas correções não são ainda suficientes para permitir uma modelagem correta da erosão em termos quantitativos.

A obtenção de valores de PNE da ordem de 15000 t/ha.ano e de PRE da ordem de 3000 t/ha.ano (seções 6.4.1 e 6.4.3), mui elevados, mostram a necessidade de estudar melhor a EUPS para usá-la na modelagem da erosão em microbacias.

Vale ressaltar aqui que valores altos como os citados acima foram obtidos por todos os autores que trabalharam com a EUPS em ambiente SIG e dados de sensoriamento remoto e previamente citados. Dentre esses trabalhos destacam-se o de Kuntschik (1996) e Saiz (1996), os quais são explícitos quanto à problemática do FT, principalmente o comprimento de encosta.

6.3.4.FATOR C

O fator C foi determinado a partir de dados fotográficos e de imagens adquiridas pelo sensor TM-Landsat5. O primeiro mapeamento foi baseado nas Unidades de Manejo (UM). O segundo na resposta espectral dos alvos. Os dois levantamentos usaram dados ancilares de campo. Os dados provenientes da fotografia foram considerados verdade de campo para o mapeamento do uso do solo a partir da imagem.

A microbacia, na fotografia aérea, foi dividida em 10 seções. Cada seção foi subdividida em talhões, chamados de Unidades de Manejo (UM). Estas UMs foram numeradas usando o N° da seção como indexador, para facilitar a localização das UMs a partir dos registros em tabelas. A divisão em seções se deu acompanhando as estradas e a drenagem.

O objetivo desta primeira fotoleitura foi identificar áreas que o agricultor tratasse como unidade mínima de manejo. Cada uma dessas UMs teria um manejo específico, com rotação própria. A cada rotação foi posteriormente associada uma classe de fator C, o qual possuía um valor numérico. Identificaram-se 226 UM, e um mapeamento inicial foi realizado, o qual foi mais tarde confrontado nas quatro visitas ao campo realizadas.

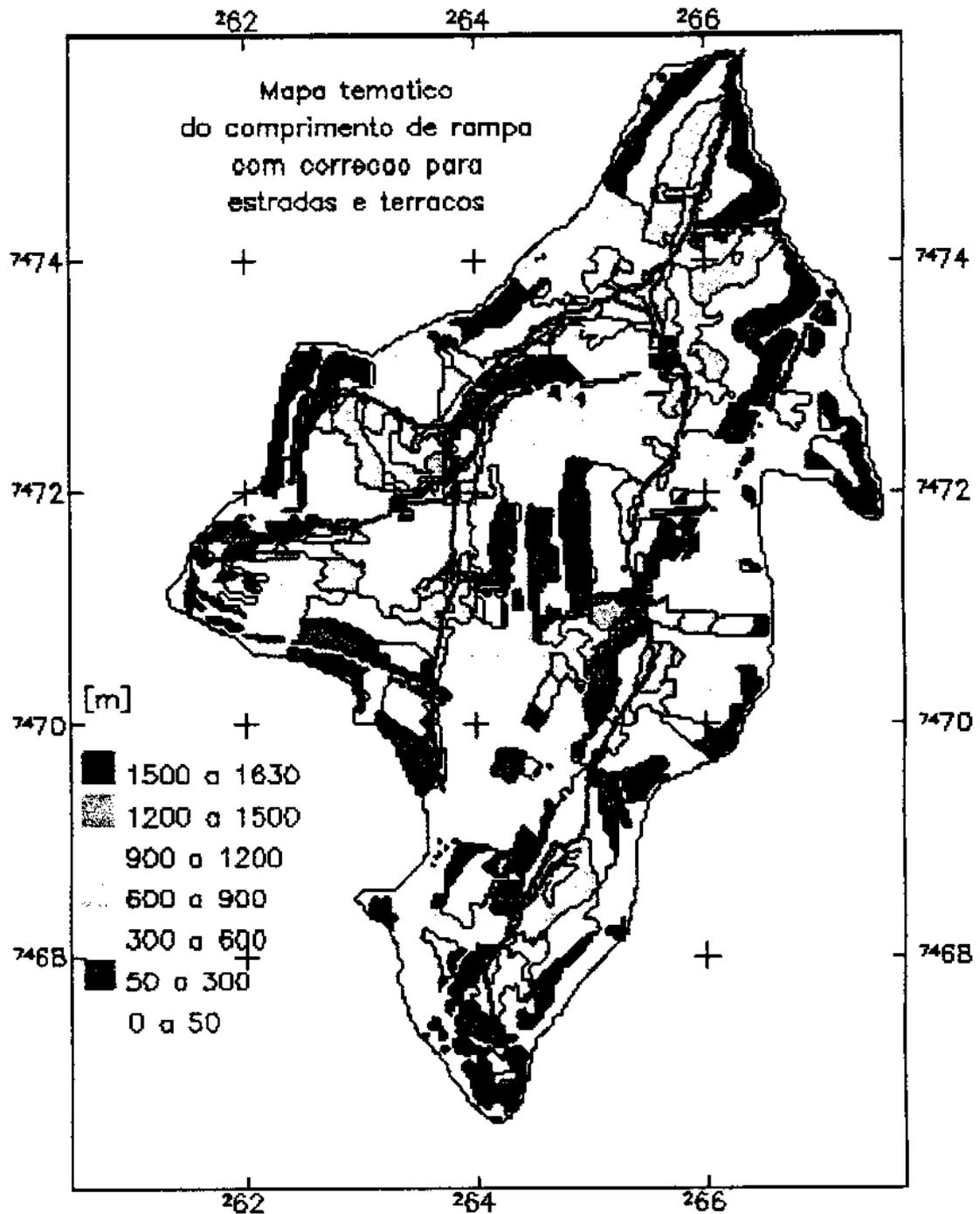


Fig. 6.6 - Comprimento de encosta com correção da influência das estradas e das áreas com terraços para a imagem.

Após a caracterização das diversas classes de uso para cada UM no verão de 1994 e no inverno de 1995, usando uma planilha eletrônica ordenaram-se alfabeticamente as UM. As sequências culturais repetidas foram reduzidas a uma classe

de uso e manejo. Assim, as várias UM que tinham cana no verão e cana no inverno constituíram uma classe de manejo, à qual pôde ser atribuído um valor do fator C. A Tabela 6.7 lista o valor do fator C para cada classe de manejo e a área ocupada por cada classe, em km², para a fotografia e para a imagem. No Apêndice A encontra-se o conjunto de tabelas que resume as rotações de cada talhão e a classe de fator C para cada rotação.

Em alguns casos, duas rotações culturais diferentes pertenciam à mesma classe de manejo. É o caso do milho e sorgo. Como não há registros específicos que permitam determinar o valor do fator C para o sorgo e as duas culturas se assemelham, as duas rotações culturais - milho apenas e sorgo apenas - pertencem à classe de manejo chamada milho, com um único valor de fator C. Outro exemplo é a classe não-agrícola, que engloba área urbana, área residencial rural e tanques de água.

Em contraposição ao detalhamento da fotografia, obteve-se o uso do solo a partir da imagem. Esta foi classificada no formato digital, após segmentação, conforme explicado na seção 5.3.4.1. As amostras foram obtidas a partir da resposta espectral característica do alvo e do conhecimento local. Este último foi usado para "forçar" o classificador a inserir na classe desejada áreas com resposta espectral pouco característica. Esta medida foi usada com parcimônia, pois corria-se o risco de inserir na estatística dados muito fora da média, dificultando a correta discriminação de classes.

Apesar da fotografia aérea ser mais detalhada no seu resultado, este é mais difícil de ser obtido. A aquisição de fotografias aéreas exige aprovação de projeto de aerolevanteamento junto ao Ministério da Aeronáutica e a aquisição regular de dados orbitais não necessita de tal tipo de aprovação.

Outra vantagem das imagens orbitais sobre as aerofotografias é a possibilidade de correção geométrica. Isto permite o uso analógico ou digital dos dados. As primeiras são facilmente corrigidas usando sistemas de informações geográficas de fácil acesso, como o SPRING ou o SGI. O uso de fotografias aéreas no formato digital, para posterior integração dos resultados com outros dados, exige que se gere uma ortofoto. Este processo faz uso de programas e procedimentos mais complicados.

É importante ressaltar que o grande detalhamento obtido a partir da fotografia aérea foi possível por se trabalhar em uma microbacia. Graças à pequena extensão desta área todos os talhões puderam ser visitados, razão pela qual se considerou este mapeamento como verdade de campo.

6.3.4.1. FOTOGRAFIA AÉREA

O mapeamento da área a partir da fotografia resultou em 31 tipos de rotações ao longo do ano agrícola 94/95 (de 1º de outubro 94 a 30 de setembro de 1995). Este mapeamento está expresso na Tabela 13. A Figura 18 exhibe as sequências culturais da microbacia mapeadas a partir da fotografia aérea.

TABELA 6.7 - CLASSES DE SEQUÊNCIAS CULTURAIS IDENTIFICADAS NA MICROBACIA DO CÓRREGO PINHEIRINHO, VALOR DO FATOR C¹ PARA CADA SEQUÊNCIA CULTURAL E ÁREAS OCUPADAS POR CADA SEQUÊNCIA CULTURAL.

Rot		fator C	Foto	Imagem
1	algodão:	0,4737	0,26	
2	arvoredo:	0,0001	0,11	
3	café ou citrus:	0,1350	0,08	
4	cana-de-açúcar ²	0,0500	10,29	11,25
5	cana-de-açúcar; batata:	0,1040	0,78	
6	cana; feijão; batata; milho:	0,4679	0,00	
7	cana; milho; batata:	0,1899	0,76	
8	cana; milho:	0,1065	0,26	
9	cana; milho; feijão:	0,1855	0,20	
10	cana; pousio:	0,0598	0,04	
11	cana; sorgo:	0,0585	0,14	
12	canal; tomate:	0,1008	0,93	
13	crotalária; feijão; tomate	0,4131	0,12	
14	feijão:	0,5054	0,10	
15	feijão; batata:	0,5118	0,17	
16	lavouras:	0,5000	0,14	2,89
17	milho:	0,1104	0,85	
18	milho; feijão:	0,1415	0,07	
19	milho; feijão; girassol:	0,1670	0,03	
20	milho; feijão; tomate:	0,1670	0,09	
21	milho; pousio; batata:	0,1338	0,12	
22	milho; pousio; feijão:	0,1233	0,21	
23	milho; tomate:	0,1670	0,14	
24	não agrícola:	0,0000	5,25	3,22
25	pasto:	0,0080	4,01	6,46
26	pasto batata:	0,0856	0,05	
27	pasto degradado:	0,0300	0,53	2,24
28	pasto tomate:	0,0792	0,31	
29	pomar:	0,0500	0,11	
30	solo exposto:	1,0000	0,06	
31	tomate:	0,1152	0,00	
	Area total:		26,20	26,05

¹Valores de Fator C a partir de Donzelli et al. (1992), De Maria et al. (1994), Nascimento (1994), De Maria (1995) e IAC (1996). ² O valor do fator C para a cana-de-açúcar mapeada a partir da imagem é igual a 0,11.

As culturas de milho, feijão, sorgo, as pastagens, o algodão e as poucas áreas de eucalipto são, de modo geral, independentes da cultura da cana-de-açúcar. Já as culturas de tomate, batatinha, às vezes milho e feijão, visam completar a renda

advinda da cana-de-açúcar entre o fim de um ciclo e a renovação da área cultivada com cana-de-açúcar.

Um fato interessante é a impossibilidade de dividir o ano agrícola em inverno e verão simplesmente. Algumas das rotações observadas consistem em três safras anuais. Um exemplo claro é a cana-de-açúcar cortada em fins de outubro, seguida de milho, colhido em abril, seguido de batatinha e mais duas safras de feijão. Ao fim deste ciclo faz-se a renovação da cana-de-açúcar, com cana de ano e meio, no início de outubro.

Neste sentido o uso da irrigação é fator que permite aproveitar melhor o ano agrícola. Duas áreas com pivô central e várias áreas com irrigação convencional foram observadas. Encontrou-se inclusive um sistema de irrigação autopropelido. É antagônico, contudo, o caso das duas áreas irrigadas por pivô central (UM 2.7 e 2.19) que são utilizadas apenas para a cultura do milho com pousio no inverno.

De todas as culturas observadas, as únicas duas que não se sucedem a si mesmas em nenhuma situação são o tomate e a batatinha, devido a problemas fitossanitários. O milho se sucede em anos sequenciais, mas não de forma contínua, por ser considerada uma cultura de verão exclusivamente, mesmo em áreas irrigadas. No inverno planta-se ou feijão ou batatinha em rotação com o milho.

Destaca-se a forte presença de culturas anuais em relação a culturas perenes. Entre as culturas perenes encontram-se pomares abandonados e plantações de eucaliptos de pequena expressão espacial. Por outro lado, as culturas de ciclo curto, além de serem mais representativas no total da área, têm permitido uma exposição maior do solo a situações erosivas, por ausência de cobertura vegetal nas épocas de colheita e/ou preparo do solo.

As áreas de pastagens estão geralmente associadas a várzeas, representando a única forma viável de exploração econômica destas áreas. Com pequenas declividades, estas áreas são pouco suscetíveis à erosão, além de serem áreas de deposição de sedimentos.

Os valores base de fator C foram apresentados por IPT (1986), Donzelli et al. (1992), De Maria et al. (1994), Nascimento (1994), De Maria (1995) e IAC (1996). Para as classes de manejo que possuíam um valor de fator C definido nenhum cálculo foi feito. Este é o caso da cultura do algodoeiro e do milho. As rotações compostas de mais de uma cultura tiveram seu fator C calculado usando metodologia descrita no Item 5.3.4. O apêndice B exhibe o conjunto de tabelas que mostram o cálculo do fator C para cada classe de manejo.

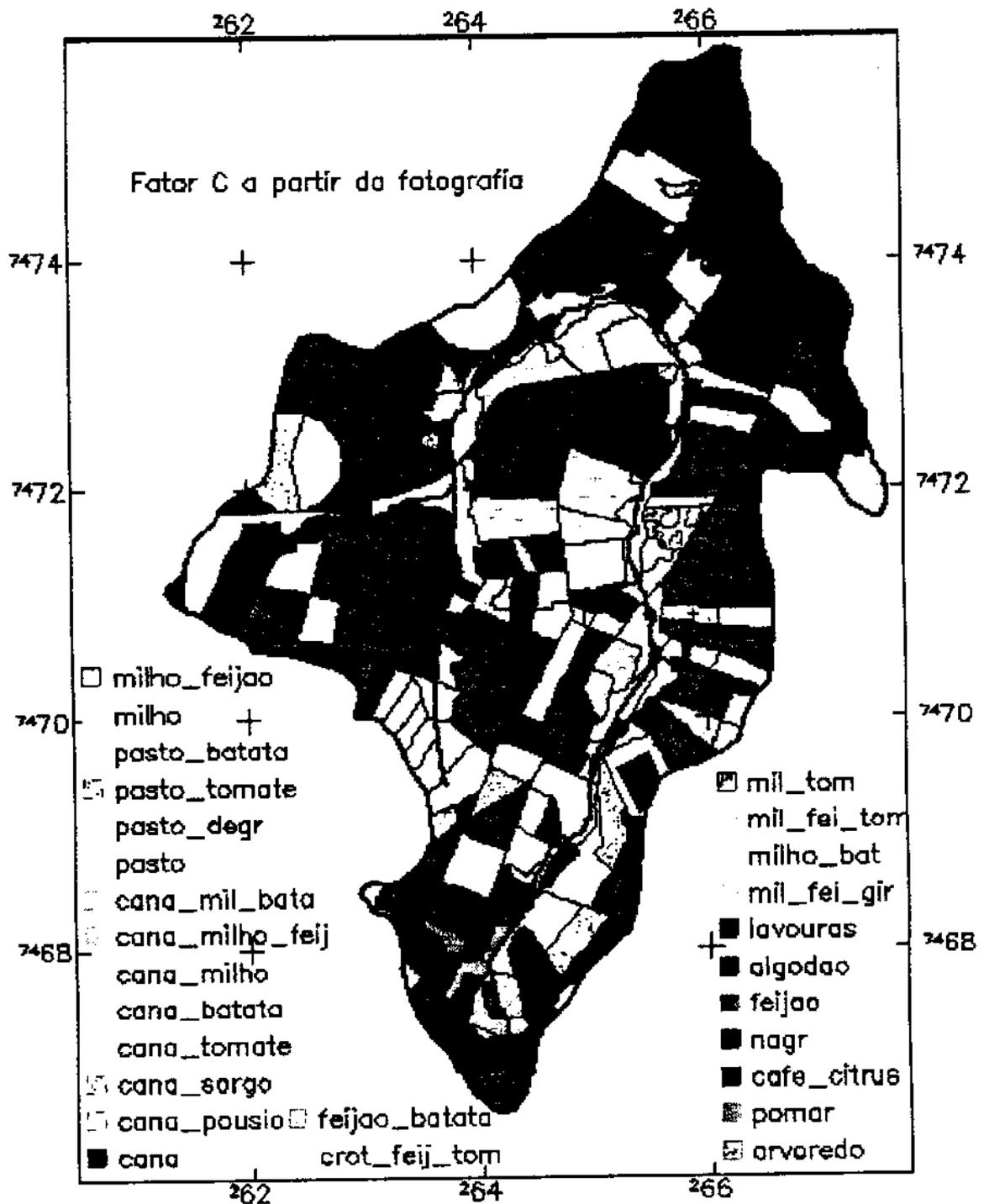


Fig. 6.7 - Sequências culturais a partir da fotografia aérea.

Um caso ímpar na definição do fator C, no presente trabalho, é a cana-de-açúcar. De acordo com De Maria et al. (1994) a cultura da cana-de-açúcar é subdividida em estágios, a cada qual está associado um valor de perdas relativas de solo (RPS). Os

autores propõe o uso de um valor igual a 0,11 para a cultura da cana-de-açúcar ao longo de todo o ciclo da cultura. Por sua vez, o valor das RPS para o primeiro estágio é de 0,35, e para o último de 0,05. Como o ciclo da cana-de-açúcar é de 4 a 5 anos, e o período estudado no presente trabalho é de 1 ano, algumas vezes foi possível identificar o estágio em que a cultura se encontrava. Dois estágios foram adotados: início (0,35) e a partir do 2º corte (0,05).

Os valores de fator C estimados variaram entre 0,0500 e 0,5118 entre as culturas anuais. Entre as culturas perenes estes valores variaram entre 0,0001 e 0,1350. Estes valores refletem o maior impacto das culturas anuais sobre a erosão em relação às culturas perenes.

No caso específico de um solo continuamente exposto este valor é igual a 1. Apesar de não ser comum encontrar uma área continuamente descoberta, este caso foi presenciado na UM de Nº 9.3. De acordo com trabalhador da região, a área tinha sido plantada e trabalhada por mais de um ano. Todas as vezes o plantio tinha sido perdido, deixando o solo continuamente nu.

6.4.3.2. IMAGEM

A determinação do fator C a partir da imagem processou-se de forma diferente ao da fotografia aérea. O resultado final diferiu da fotografia em termos de procedimento de determinação das classes de rotações, número de classes de rotação resultantes, complexidade das rotações, valor do fator C para a cultura da cana-de-açúcar e correlação espacial do produto final. A Figura 6.8 exibe a distribuição espacial das classes de rotação cultural mapeadas a partir da imagem TM-Landsat.

Enquanto o estudo da fotografia aérea deu-se com base no resultado de um trabalho de fotointerpretação, o estudo da imagem se baseou na análise digital da imagem disponível. A imagem, adquirida pelo sensor TM-Landsat5, na data de 3 de junho de 1995, foi segmentada e classificada em ambiente SPRING. Usaram-se as bandas TM-2, TM-3, TM-4, TM-5 e TM-7 nesta análise.

Diversas segmentações foram realizadas para permitir a escolha do melhor par de limiares. Obtidas algumas imagens segmentadas com valores de limiares diferentes, mas com resultados que parecessem promissores, estas imagens foram classificadas, usando o classificador de Battacharya. Três níveis de certeza para a classificação foram testados para cada imagem segmentada: 90%, 95% e 99%.

O melhor resultado foi obtido ao utilizar o limiar radiométrico igual a 5 e o limiar mínimo de área igual a 7, classificada a imagem com 99% de certeza. A Tabela 6.8 mostra em porcentagem quanto de cada classe foi classificado dentro daquela classe ou de outra classe. Na 1ª coluna se encontram as classes originais das amostras, e na 1ª linha as classes às quais as amostras-teste foram designadas.

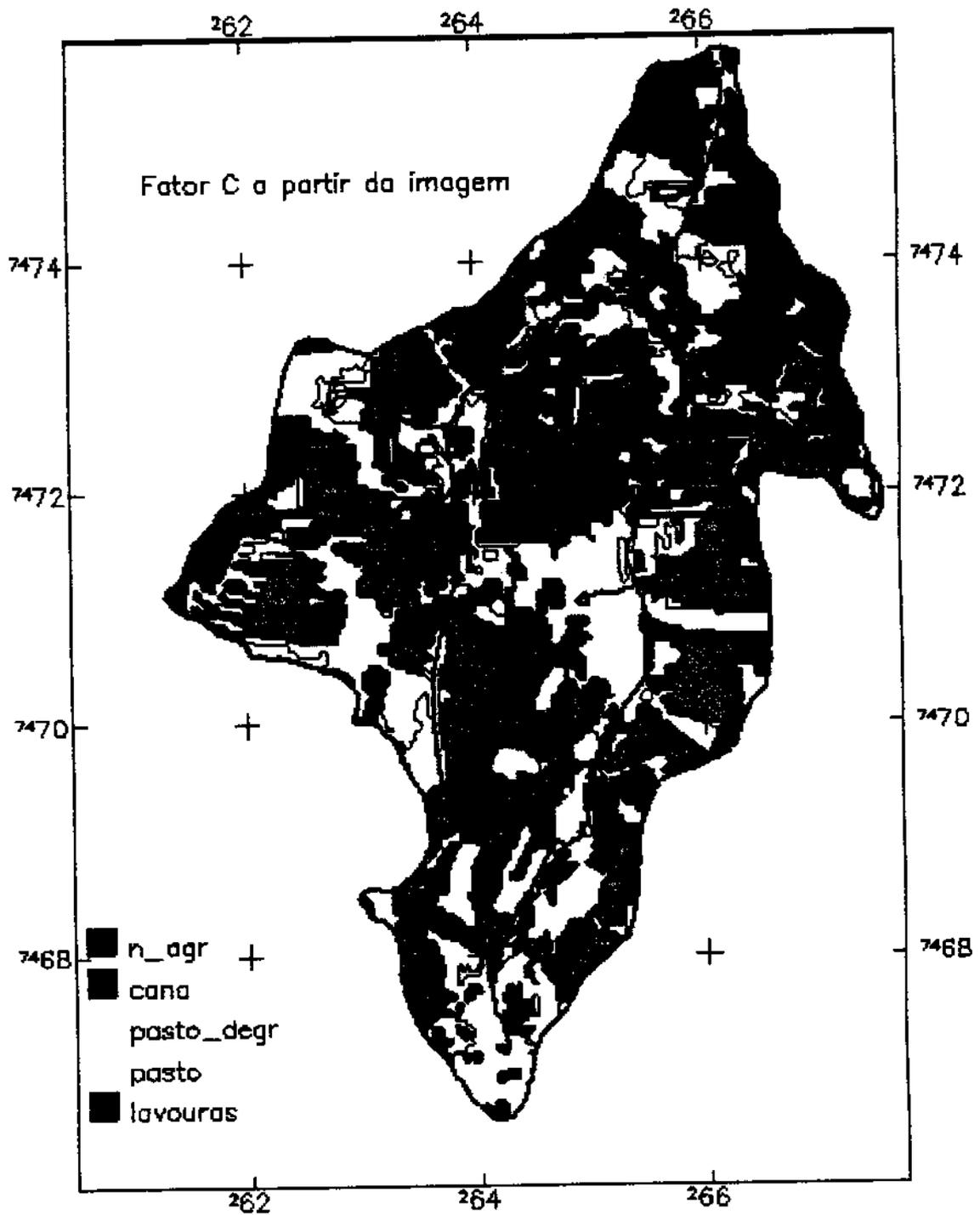


Fig. 6.8 - Sequências culturais a partir da imagem TM-Landsat.

A Tabela 6.8 não é uma matriz de comissão e omissão propriamente dito por não se ter uma verdade de campo para cada amostra e por não se possuir o número de amostras-teste para cada classe. Apenas indica a porcentagem de erro cometido pelo

classificador. Como um dos parâmetros de avaliação do classificador é a análise visual da acuidade da classificação, esta matriz tem uma certa tendenciosidade inserida em si. Vale contudo como um indicador do comportamento das amostras em vista ao classificador usado.

TABELA 6.8 - PERCENTUAL DE AMOSTRAS-TESTE CLASSIFICADAS DENTRO DA CLASSE À QUAL FORA DESIGNADA PREVIAMENTE.

	Urb.	Solo	Cana	Pasto	Água	P. degr.	Lavou.	Rejeiç.
Urb.	100,00							
Solo		43,54	44,98			11,48		
Cana			69,21	20,10		10,69		
Pasto			29,79	61,35		8,87		
Água					100,00			
P. degr.				18,95		81,05		
Lavou.							13,68	86,32

Dois comportamentos distintos foram identificados. As classes Urb. (área urbana) e Água não tiveram amostras classificadas dentro de outras classes, conquanto todas as outras classes tiveram amostras erroneamente classificadas. Destas, a que mais estranheza causa é a confusão entre cana e solo exposto. Este fato é contudo explicado pela possibilidade das amostras de cana possuírem um componente espectral mui forte devido ao solo.

Como a amostragem foi feita em cima de um conhecimento prévio da área, a tendenciosidade era difícil de ser evitada. Certas variações radiométricas podem ter sido inadvertidamente ignoradas e inseridas no cômputo dos parâmetros estatísticos de cada classe no momento da amostragem.

Um destaque, que não se encontra nesta tabela, é a classe que congregava as formações arbóreas, como eucaliptos e vegetação nativa. Esta classe, apesar de apresentar um índice de confusão com outras classes bastante baixo, gerava uma classe final mui extensa e que tomava para si áreas caracteristicamente de cana-de-açúcar ou pastagem, ou ainda solo exposto, chegando a ocupar algo em torno de 30% da área total. Por essa razão esta classe foi eliminada do processo de classificação.

As áreas de lavoura também apresentaram um comportamento pouco claro. Conquanto na matriz estas sofrem uma rejeição da ordem de 87%, a imagem classificada mostrou um resultado condizente com a amostragem e a interpretação da imagem digital e da fotografia.

A estas áreas juntaram-se as áreas classificadas como solo exposto. Esta união se explica pelo fato de, a partir da imagem, não ser possível saber se uma área de solo exposto terá esta ou aquela cultura. A classe Lavouras congrega as culturas anuais mais erosivas, com fator C igual a 0,5. Ainda mais, nem todas as áreas de solo exposto pertenceriam à mesma classe de rotação cultural. O mapeamento das classes classificadas para as classes de um PI temático não permite que uma classe resultante da classificação seja atribuída a mais de uma classe temática.

Um procedimento final correto seria editar os dados do PI temático gerado a partir da imagem classificada. Este procedimento não pode ser realizado pelas limitações impostas pelo sistema operacional em uso no momento: o SPRING 2.0, em desenvolvimento na época do tratamento da imagem. Nesta edição far-se-iam as correções necessárias, como mudar um dado polígono de uma classe para outra, ou classificar os diversos polígonos de uma dada classe da classificação (solo exposto, p.e.) nas classes temáticas a que pertenceriam de fato, de acordo com dado de campo.

Um outro aspecto da classificação digital é o grau de complexidade das classes de rotação identificadas. As rotações mapeadas a partir da imagem são mais simples que as mapeadas a partir da fotografia aérea. Como a classificação digital não está restrita às UM, mas à resposta espectral dos alvos, a partir da imagem, seguindo este tipo de processamento, com apenas uma cena, é possível detectar apenas a ocupação do solo na data da aquisição da imagem.

A determinação das rotações para cada UM na fotografia foi possível graças a um trabalho de campo intensivo e à determinação dos limites definidos de cada UM. Cada UM foi visitada e informações coletadas com o intuito de determinar qual a sequência cultural daquela UM. Como a imagem não foi trabalhada em termos de UM, este rastreamento não procede.

O resultado final foram classes de uso do solo que não levaram em consideração as sequências culturais. No mapeamento a partir da imagem as classes de uso do solo são compostas de uma cultura apenas. As cinco classes de uso e manejo a que se chegou são: área urbana, solo exposto, cana-de-açúcar, pasto, pasto degradado, lavouras e água.

Em termos de fator C, o número de classes é ainda menor. Da mesma forma que para a fotografia, as rotações foram associadas a classes de fator C. A classe de fator C é que foi associada a um valor numérico, quando da ponderação, e não a classe de rotação cultural. Esta última é apenas um passo na determinação do fator C, este sim objetivo do procedimento. Esta relação se encontra na Tabela 6.9.

À cana-de-açúcar foi dado o valor de fator C médio proposto por De Maria et al.(1994), de 0,11. No mapeamento a partir da imagem se entendeu a cultura como de ciclo com cinco anos ou mais. Contrariamente, na fotografia a cultura da cana-de-açúcar foi entendida dentro do estágio em que provavelmente ela se encontraria na

época do mapeamento. Às áreas de solo exposto foi atribuída a classe de lavouras, pois embora nem sempre o solo sendo trabalhado era destinado a lavouras, esta informação é difícil de ser obtida a partir da imagem.

O último aspecto que diferenciou o mapeamento do uso do solo a partir da imagem e da fotografia é o aspecto menos ordenado da primeira. Entendendo a fotografia como uma imagem, com píxeis de resolução bem maior que os da imagem, pode-se falar em correlação espacial entre píxeis vizinhos.

O valor de um dado píxel é um valor qualquer entre 0 e 255. Numa imagem com correlação nula os vizinhos não influenciam no valor radiométrico do dado píxel. À medida que a correlação espacial vai sendo aumentada, nuvens de píxeis vão se formando, refletindo a influência dos píxeis vizinhos sobre o píxel observado.

Na imagem classificada, a correlação original da imagem não é alterada pelo processamento de forma quantitativa, visto ser sobre esta grandeza que parte da análise radiométrica se baseia. A correlação espacial da imagem classificada é proporcional à correlação espacial da imagem original.

TABELA 6.9 - RELAÇÃO ENTRE CLASSES RESULTANTES DA CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM E CLASSES DE FATOR C.

<u>Classificação</u>	<u>Classe de Fator C</u>	<u>Valor de Fator C</u>
Cana	Cana-de-açúcar	0,110
Solo	Lavouras	0,500
Lavouras	Lavouras	0,500
Urb.	Não agrícola (nagr)	0,000
Água	Não agrícola (nagr)	0,000
Pasto	Pasto	0,008
Pasto degradado.	Pasto degradado	0,030

Por outro lado, a interpretação da fotografia altera os níveis de correlação fortemente. Ao delimitar as UMs, o intérprete "ignora" certas variações radiométricas em detrimento da distribuição das estradas, carreadores, cercas vivas e outros divisores das UMs. Este procedimento aumenta a correlação espacial entre píxeis vizinhos na fotografia interpretada, mas não de forma uniforme para toda a fotografia.

Por esta razão a distribuição espacial das classes de um produto proveniente da fotografia deve ser comparada à distribuição espacial das classes do mesmo produto proveniente da imagem de forma sinótica e não pontual. Baseado neste

conceito, as análises feitas no presente trabalho foram feitas observando e comparando os produtos como um todo, e apenas em algumas circunstâncias é que se recorreu à interpretação pontual dos dados.

6.3.5. FATOR P

A cada cultura foi associada uma prática conservacionista. Isto foi necessário visto o nível tecnológico das práticas conservacionistas da região, o qual se encontra em desenvolvimento, e o detalhamento exposto pelo uso da fotografia aérea. A prática de terraceamento é promovida pelas usinas, que vão ao campo demarcar e acompanhar a confecção dos terraços. As outras culturas não são associadas a terraços mas a plantio em contorno, denotando um nível de tecnificação da região de médio para alto. Certas áreas não são associadas a nenhuma prática conservacionista, como as pastagens e as áreas de silvicultura.

Ao mapear o fator P a partir da foto fez-se uso do grande detalhamento obtido a partir deste produto. Desta forma foi possível determinar um fator P específico para as culturas que assim o ensejavam. As práticas conservacionistas observadas foram as seguintes: terraceamento, plantio em contorno, inexistência de práticas conservacionistas, terraceamento seguido de plantio morro abaixo e morro abaixo seguido plantio em contorno.

Para a imagem, menos detalhada no que se refere ao uso do solo, e conseqüentemente quanto às rotações culturais, mapearam-se apenas três práticas conservacionistas: terraceamento, plantio em contorno e inexistência de práticas conservacionistas. A Tabela 6.10 explicita os valores de fator P usados.

a) Terraceamento

Esta prática está associada à cultura de cana-de-açúcar. Quando a cultura observada era posterior à cana-de-açúcar, considerou-se que esta tinha a prática conservacionista de terraços, pois no aproveitamento do pousio não é feita uma nova sistematização da área, com exceção da batata irrigada por aspersor convencional auto-propelido.

As observações feitas quanto à prática do terraceamento se referem à modelagem da erosão - refletida especificamente na modelagem do fator topográfico - na maneira de ponderar o efeito dos terraços e quanto à eficiência desta prática no campo.

Wischmeier e Smith (1978) indicam duas formas de ponderar a prática do terraceamento em microbacias. Pode-se considerar o efeito do terraceamento igual ao efeito dos cordões vegetados, e o comprimento de rampa como contínuo, sem influência do corte do escoamento da água pelos terraços. Neste caso esta prática passa a ter um

valor igual a 0,2. Esta prática é considerada válida para a estimativa bruta de erosão em uma microbacia. (Ver seção 5.3.5).

Uma forma mais rigorosa de considerar o efeito dos terraços, ainda de acordo com Wischmeier e Smith (1978), é considerar o comprimento de encosta igual à distância horizontal entre terraços. Neste caso o valor do fator P é igual ao da prática de plantio em contorno. Considera-se que o solo que sai da área de plantio se deposita nos canais dos terraços e não é reutilizado quando da conservação dos terraços. Parte deste solo é ainda carregado para fora dos canais se estes tiverem pequeno declive para permitir o escoamento. Este solo é definitivamente perdido da área plantada, que é a área entre os terraços. Neste caso esta prática passa a ter um valor igual a 0,5.

Esta segunda maneira de considerar o comprimento de rampa gera um fator antrópico 2,5 vezes maior que a prática ponderada a 0,2. Contudo o PNE é bem menor, devido ao menor comprimento de encosta, que passa de uma média acima dos 250m para um valor constante de 50m.

b) Plantio em contorno

O plantio em contorno foi, das práticas conservacionistas observadas a mais ostensivamente usada. Esta prática estava associada à quase totalidade das culturas anuais. As variações observadas eram devidas à sucessão da cana-de-açúcar ou, no caso especial da batata, à irrigação desta, sendo esta cultura conduzida no sentido do declive. Observações devem ser feitas quanto à cultura do tomateiro, algodoeiro e hortaliças.

TABELA 6.10 - VALORES USADOS DO FATOR P E ÁREA DE CADA CLASSE DE PRÁTICA CONSERVACIONISTA PARA A FOTOGRAFIA E A IMAGEM.

Prática conservacionista	Fator P	Foto		Imagem	
		km ²	%	km ²	%
Morro Abaixo	1,0	10,21	39,0	11,91	45,7
Contorno	0,5	2,30	8,8	2,89	11,1
Terraços (cordões vegetados)	0,2	12,61	48,1	11,25	43,2
Terraço/morro abaixo	0,3	0,78	3,0	0,00	0,0
Morro abaixo/contorno	0,9	0,31	1,2	0,00	0,0
Area total:		26,20	100,0	26,05	100,0

A cultura do tomateiro é tradicionalmente irrigada por gravidade. Para conduzir a água faz-se um canal principal no sentido do declive, por onde desce um grande volume de água. Os canais de irrigação propriamente ditos, são nivelados. Estes

canais acompanham os canteiros de plantio. O resultado é uma área sistematizada em nível, cada canteiro formando algo similar a um terraço, não sendo contudo um terraço no estrito sentido da técnica de terraceamento. Por estas razões - sistematização e nivelamento dos canteiros - considerou-se a cultura do tomateiro associada à prática do plantio em contorno. A extrema exposição do solos à erosão causada pela cultura do tomateiro foi ponderada no fator C, referente ao uso e manejo.

A olericultura foi associada também à prática de plantio em contorno. Esta associação se deu pelo fato da olericultura ter sido observada em áreas de pequena declividade e estar efetivamente plantada em nível.

A cultura do algodoeiro também foi associada ao plantio em contorno. Observou-se apenas uma área plantada com algodão na região. Apesar do algodoeiro poder ser considerado um cultivo permanente, pelo fato de ser uma cultura única onde ela é praticada, a sistematização da área se limitou ao plantio em contorno. Seu caráter permanente justificaria a prática do terraceamento. No algodoeiro observaram-se marcas do que poderiam ser terraços, mas que aparentavam mais serem apenas valas para diminuir o efeito da erosão.

c) Inexistência de práticas conservacionistas

Os cultivos perenes, como silvicultura, cítricos e pastagens não foram associados a nenhuma prática conservacionista. Em termos de valor este foi o mesmo que o do plantio morro abaixo (1,0). Porém não foi lhe dado esse nome (plantio morro abaixo) por considerar a região de nível médio de tecnificação.

Deste ponto de vista, o fato de não ter sido observada alguma prática conservacionista não significa necessariamente que o plantio foi feito no sentido do declive. Considerou-se que maiores cuidados não foram tomados pelo fato plantio ter sido feito de forma individual - cada árvore uma cova (cítricos e eucaliptus).

No caso das pastagens, a unidade é adotada por serem em sua grande maioria naturais. Como estas não foram plantadas, mas manejadas no sentido de formarem uma pastagem, a idéia de plantio morro abaixo não pode ser aplicada.

A UM 9.3, próxima às coordenadas 262 kmL e 7471 kmN, é uma área com solo exposto havia mais de um ano. Este fato ocorreu por uso tecnicamente inadequado da área. Esta área também recebeu valor unitário de fator P.

d) Terraceamento seguido de plantio morro abaixo

O conceito conservacionista observado na microbacia não foi observado em todas as áreas. Na UM de N° 4.3, onde o cultivo da batata sucedeu o cultivo da cana-de-açúcar, o produtor fazia uso da irrigação autopropelida. Os camaleões tinham sido traçados no sentido do declive. Interrogado pelo porquê pela equipe que visitava o

local, o produtor disse não haver problema por ser uma época de seca (o planto foi feito no mês de abril) e que era necessário para permitir o subir e descer do carro de irrigação.

A cultura anterior era de cana-de-açúcar, a qual era plantada em terraços. Esta mudança específica do plantio em terraços para plantio morro abaixo caracterizou uma nova sistematização da UM. Para esta área, e mais cinco áreas, como por exemplo as UMs de N° 10.5 e 10.7, nas quais fora observada a mesma rotação cultural da UM N° 4.3, foi adotado um valor diferenciado de fator P. Estas áreas ocupam $0,72 \text{ km}^2$, sendo a segunda prática conservacionista menos extensa.

A Tabela 6.11 exhibe o cálculo do fator P para a rotação mencionada. O cálculo do valor deste fator para o terracamento foi inserido a título de exemplo e conferência do procedimento, visto este valor não se alterar após o cálculo da média ponderada.

O cálculo do fator P para este caso e o caso do plantio morro abaixo seguido de plantio em contorno obedeceu metodologia semelhante ao cálculo do fator C. O valor do fator P para a prática observada foi ponderada mês a mês, usando a porcentagem mensal de erosão como fator de ponderação.

O valor ponderado foi de 0,2629. Na integração dos dados foi usado o valor arredondado de 0,3. Este valor é 50% maior que o valor do terracamento apenas.

e) Morro abaixo seguido plantio em contorno

A prática conservacionista de plantio no sentido do declive, seguida do plantio em contorno foi observada nas áreas de pasto seguido de tomate. Como já exposto anteriormente, o pasto é plantado sem nenhuma prática conservacionista. O tomate, por sua vez, requer sistematização para a irrigação. Esta mudança caracteriza uma mudança na prática conservacionista.

O cálculo se encontra na Tabela 6.11. O valor do fator P usado foi de 0,9, para um valor calculado de 0,9284. Este valor é apenas 10% menor que o valor do plantio morro abaixo. Em termos absolutos, contudo, é similar ao aumento do valor do fator P para o terracamento seguido de morro abaixo: dez pontos percentuais.

Esta rotação foi encontrada nas UMs 10.18 e 10.25, próximas às coordenadas 265 kmL e 7469 kmN. Ocupou uma área de $0,05 \text{ km}^2$ e é a prática conservacionista de menor extensão geográfica.

6.4. INTEGRAÇÃO DOS DADOS

A integração dos dados foi realizada por partes. Em primeiro lugar geraram-se os mapas do Potencial Natural de Erosão (PNE), considerando-se os diversos níveis de correção do comprimento de encosta. A seguir geraram-se os mapas

referentes à multiplicação dos fatores C e P (CP). Um terceiro passo foi multiplicar estes últimos com os PIs de PNE, a fim de obter as Perdas Relativas por Erosão (PRE). Finalmente foram comparados os mapas de PRE com o mapa de perdas toleradas de solo, gerando o Índice de Criticidade para a imagem e a fotografia.

TABELA 6.11 - CÁLCULO DO FATOR P PARA AS ROTACIONES CULTURAIS NAS QUAIS SE ALTERAM AS PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS AO LONGO DO ANO AGRÍCOLA ESTUDADO.

MÊS	% erosão	Rotação cana/pousi o		Rotação cana/batata		Rotação Pasto/tomate	
		Prática T*	Prática T/MA*	Prática T/MA*	Prática MA/C*		
out	0,06	0,2000	0,0130	0,2000	0,0130	1,0000	0,0648
nov	0,13	0,2000	0,0251	0,2000	0,0251	1,0000	0,1255
dez	0,24	0,2000	0,0477	0,2000	0,0477	1,0000	0,2384
jan	0,21	0,2000	0,0426	0,2000	0,0426	1,0000	0,2132
fev	0,12	0,2000	0,0250	0,2000	0,0250	1,0000	0,1248
mar	0,09	0,2000	0,0180	0,2000	0,0180	1,0000	0,0900
abr	0,03	0,2000	0,0063	0,2000	0,0063	0,5000	0,0158
maio	0,03	0,2000	0,0066	0,2000	0,0066	0,5000	0,0164
jun	0,02	0,2000	0,0039	1,0000	0,0194	0,5000	0,0097
jul	0,01	0,2000	0,0028	1,0000	0,0138	0,5000	0,0069
ago	0,01	0,2000	0,0026	1,0000	0,0129	0,5000	0,0064
set	0,03	0,2000	0,0065	1,0000	0,0326	0,5000	0,0163
TOTAL	1,00		0,2000		0,2629		0,9284

*T: terraceamento; MA: morro abaixo; C: contorno.

6.4.1. POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO (PNE)

O Potencial Natural de Erosão (PNE) varia de acordo com o nível de correção dado ao comprimento de encosta. Tanto os mapas (ver a Figura 6.9, colocada como exemplo) como os dados da Tabela 6.12 mostram haver bastante coincidência nas classes de PNE para os vários níveis de correção. As classes para fatiamento do PNE foram sendo representadas por intervalos sempre o dobro do anterior para permitir englobar os valores mais elevados de PNE, sem contudo particionar a grade em miríades de classes.

Os valores do PNE variaram entre 0 e um máximo de 7665 t/ha.ano. De forma geral, à medida que aumenta a intensidade da correção (nenhuma correção para correção do comprimento de encosta para a presença de estradas e terraços) as classes de menor valor de PNE vão tendo maior peso. Nas cartas com correção para estradas e terraços, a classe que engloba as áreas com PNE de até 50 t/ha.ano passa de 1,71 km² até chegar a 4,23 km² nas cartas com correção para estradas e terraços.

Em segundo lugar, a distribuição espacial dos dados mostra uma forte correlação com o fator topográfico. Na Figura 23 nota-se o traçado das estradas, por exemplo. Mas em todas as cartas de PNE se nota a concentração dos valores mais elevados de PNE em torno da drenagem, que é onde se encontram os maiores valores do comprimento de encosta.

TABELA 6.12 - ÁREA DE CADA CLASSE DE POTENCIAL NATURAL DE EROSÃO [KM²].

Correção	Fotografia e imagem		Fotografia		Imagem
	Nenhuma	Estradas	Terraços	Estradas e terraços	
0 a 50	1,71	3,12	3,32	4,15	4,23
50 a 100	2,40	2,70	5,30	5,60	4,69
100 a 200	2,58	3,44	2,38	2,65	2,93
200 a 400	3,85	4,36	6,44	6,75	6,30
400 a 800	4,76	4,70	2,12	2,27	3,10
800 a 1600	6,32	5,18	3,41	2,92	3,21
1600 a 3200	3,43	2,28	2,25	1,54	1,44
3200 a 6400	0,47	0,31	0,32	0,23	0,20
6400a 7660	0,015	0,03	0,004	0,03	0,03
Area total	25,54	26,13	25,54	26,13	26,13

Nas cartas de PNE onde a correção foi feita apenas para a presença de estradas, ou não foi feita, nota-se a predominância do comprimento de encosta. Já nas cartas que foram corrigidas para a presença de terraços, a declividade teve preponderância sobre o comprimento de encosta. Nestas últimas pode-se notar algumas classes de declividade: ao se observar o formato dos polígonos das classes de PNE verifica-se a similaridade entre o formato destes e dos polígonos das classes de declividades, e.g. (ver a figura 6.5, referente à declividade).

O mapa de PNE, corrigido o comprimento de encosta para estradas e terraços, tanto para a imagem como para a fotografia, possui valores similares, o que

pode ser verificado na Tabela 6.12. As discrepâncias se devem à diferença entre as distribuições das classes de uso do solo, e conseqüentemente das práticas conservacionistas na imagem e na fotografia. Estas diferenças são contudo pequenas, caracterizando a preponderância dos fatores que modelam a paisagem sobre as práticas conservacionistas.

Nas cartas referentes a estes produtos pode-se verificar que os terraços funcionaram como “tampões” do comprimento de encosta. As áreas de terraços ora se apresentaram chapadas, como se não houvesse nenhuma outra variação, ou permitiram que as classes de declividade se manifestassem. Na verdade, um comprimento de encosta de 50 é mui baixo para permitir variação do PNE dentro das classes definidas.

Há dois aspectos na modelagem da erosão usando a EUPS, os quais mostram que o modelo precisa ser calibrado para uma representação rigorosa da erosão em microbacias, que ficam claros ao observar o PNE. Em primeiro lugar, os valores obtidos de PNE são bastante elevados, quando consideramos quanto eles significam em termos de solo carreado. Em segundo lugar, as áreas que deveriam ser depósitos passam a ser erodidas.

Os valores de perdas toleradas de solo usados neste trabalho são da ordem de 9 a 12 t/ha.ano. Os Latossolos (12 a 13 t/ha.ano) possuem dos maiores valores registrados na literatura de perdas toleradas. Se usarmos a fórmula apresentada na seção 2.1.2.1, para relacionar massa de solo erodido com lâmina de solo erodido, teremos para uma densidade aparente de 1,25, baixa, e perdas de solo de 13 t/ha.ano, uma lâmina de 1,04mm.

Se considerarmos uma cobertura vegetal que pertença a uma classe de uso e manejo bastante protetora, como silvicultura, podemos diminuir o PNE em 10.000 vezes (fator C igual a 0,0001 - Tabela 5.3). Como esta classe de uso e manejo não foi extensivamente observada na microbacia do Pinheirinho, preferimos usar o fator CP da cana-de-açúcar, que é de 0,055, considerado um ciclo de 5 anos aproximadamente. Este fator C nos permitiria um PNE da ordem de 240 t/ha.ano.

Um PNE de 6000 t/ha.ano, dentro da perspectiva apresentada acima, nos levaria a perdas de solo da ordem de 330 t/ha.ano. Este valor resultaria em perda de uma lâmina de 25mm por ano. Se considerarmos que as práticas conservacionistas foram observadas (por isso 0,055 e não 0,11), a declividade média da microbacia não é mui elevada, e nas visitas a campo não foram observados processos erosivos extensivos e intensos, pode-se considerar um valor desta ordem mui elevado e pouco realista.

Isto implicaria em observar no campo sulcos profundos de erosão ou exposição do horizonte B, que não foram observados dentro das áreas agrícolas, a não ser em alguns casos isolados e de pouca intensidade.

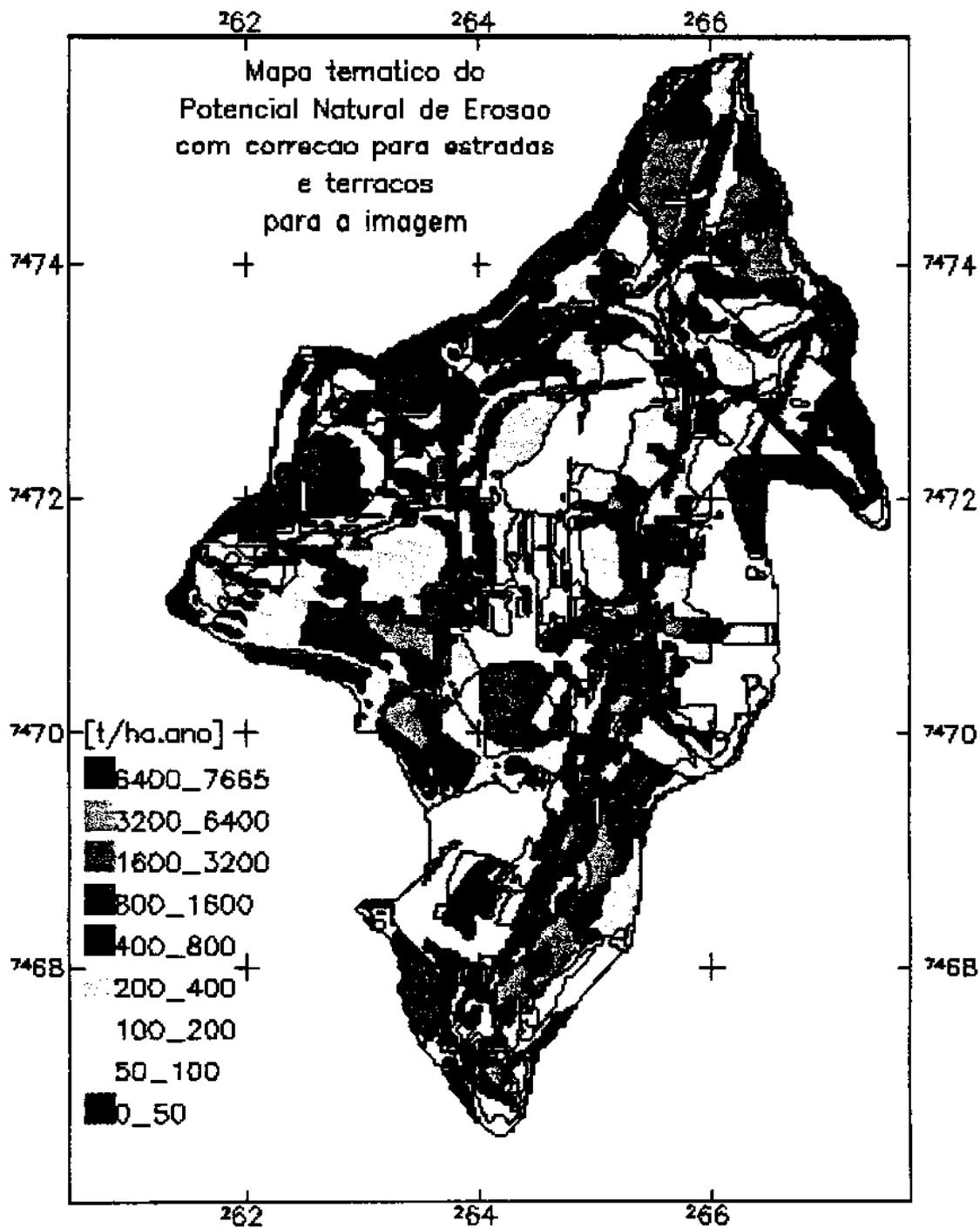


Fig. 6.9 - Potencial Natural de Erosão com correção do comprimento de encosta para estradas e para terraços mapeados a partir da imagem.

O segundo aspecto a destacar é que nas regiões mais próximas à drenagem, de acordo com o modelo EUPS, passa a haver carreamento de material. É justamente nestas áreas que o PNE assume os maiores valores, refletindo os maiores

comprimentos de encosta nestes locais. Na prática é nesses pontos que ocorre a maior parte da sedimentação.

Quanto à influência dos solos na determinação do PNE, verifica-se ao observar as cartas (com ou sem correções) que a EUPS não é, no presente caso, significativamente sensível à variação da cobertura pédica. Não é possível observar nas cartas de PNE indícios claros desta ou daquela mancha de solo. A região do Latossolo Húmico (azul claro, nas coordenadas 264 kmE e 7469 kmN) destaca-se, mas só depois que a correção para terraços é feita.

O quarto e último fator que poderia ter causado valores elevados de PNE é a erosividade. Os valores elevados de PNE mui seguramente não se devem a este fator por dois motivos. O primeiro é a unicidade da erosividade contra a grande variação do PNE. Caso o fator R fosse responsável pelos valores elevados de PNE, este último não apresentaria valores nulos ou baixos, e sua resposta à correção por estradas ou terraços talvez não fosse tão efetiva.

Um segundo argumento é que, como já destacado anteriormente, outros autores obtiveram valores similares de PNE. Dos autores citados compete resgatar o trabalho de Saiz (1996). Conquanto o fator R usado pela autora foi praticamente a metade do fator R usado no presente trabalho (3747 MJ.mm/ha.h.ano contra 7.811,05 MJ.mm/ha.h.ano), o PNE obtido por essa autora é pouco maior que a metade (4000 t/ha.ano).

Ainda, pode-se comparar os resultados do presente trabalho com os de Pinto (1991) e Kuntschik (1996). O primeiro obteve um PNE máximo de 10.000 t/ha.ano para um R de 750 tmm/ha.a (797,0 tm.m/ha.a no presente trabalho). O segundo obteve um PNE máximo de quase 11.000 t/ha.a para um R de 6645 MJ.mm/ha.h.a.

Da discussão acima depreende-se que os fatores topográficos têm preponderância sobre os outros fatores da EUPS na determinação do PNE. Das duas componentes (comprimento de encosta e declividade), a primeira pode ser corrigida para a presença de estradas e terraços. O fator topográfico em si, porém, deve ser revisto para representar melhor as encostas mui longas, onde ocorre carreamento e deposição.

O presente trabalho melhorou a resolução do comprimento de encosta, de 250m usados nos trabalhos prévios, geralmente, para 30m. Este valor é compatível com a resolução das imagens TM-Landsat. Este produto mais detalhado em termos de comprimento de encosta permitiu que certas inferências a respeito do comprimento de encosta fossem feitas, como por exemplo verificar que os maiores valores de predição de perdas de solo por erosão se concentram em torno da drenagem.

6.4.2. FATOR ANTRÓPICO (CP)

O fator antrópico, multiplicação do fator C com o fator P, reflete duas formas de modelagem do fator P. A primeira forma se refere à determinação do PNE e das PRE sem correção do comprimento de encosta para a presença de terraços, e a segunda com a correção do comprimento de encosta para a presença de terraços. Neste último caso, o comprimento de encosta é igual à distância horizontal entre terraços.

Ao considerar a ausência de correção do comprimento de encosta, as áreas terraceadas tinham o comprimento de encosta natural. Ao considerar a correção do comprimento de encosta para a presença de terraços, estas áreas passaram a ter como valor de comprimento de encosta a distância horizontal entre terraços. Esta correção foi feita usando a fórmula 5.1, à página 43.

A Figura 6.10 mostra o PI referente ao fator antrópico para a imagem, sem correção do comprimento de encosta. A Figura 6.11 mostra o fator antrópico, também para a imagem, após a correção do fator P para considerar a presença de terraços, onde estes se fizeram presentes.

Ao observar estas duas figuras verifica-se o efeito da alteração do fator P sobre a cultura da cana-de-açúcar. O fatiamento da grade do fator CP foi feito para evidenciar as áreas que tinham valores diferentes de CP para cada forma de cálculo do comprimento de encosta e para caracterizar grupos de sucessão vegetal.

Conquanto o fator P, e conseqüentemente o fator antrópico CP, é maior quando se considera a distância horizontal entre os terraços, o PNE nessas regiões é menor, devido ao menor comprimento de encosta. Conseqüentemente, a estimativa final de Perdas Relativas por Erosão (PRE) também é menor. Nessas regiões o comprimento de encosta passa de um valor médio entre 220m e 555m - dependendo do nível de correção - para um valor contínuo de 50m.

Nas áreas onde o terraceamento é praticado o comprimento de encosta e as práticas conservacionistas deixam de ser fonte de variação na estimativa final das PRE em relação a outros locais da microbacia, por terem valor único. Como os terraços estão associados à cana-de-açúcar e algumas rotações que incluem a cana-de-açúcar, o fator C também fica restrito a alguns poucos valores, de pouca variabilidade entre si. Resta a estes locais a variação da declividade e da cobertura pedológica, o que transforma as áreas de terraços locais onde algumas inferências podem ser feitas. Estas inferências, referentes à influência dos diversos fatores na estimativa final da erosão, serão feitas quando se discutir a integração das variáveis independentes (seção 6.4.3).

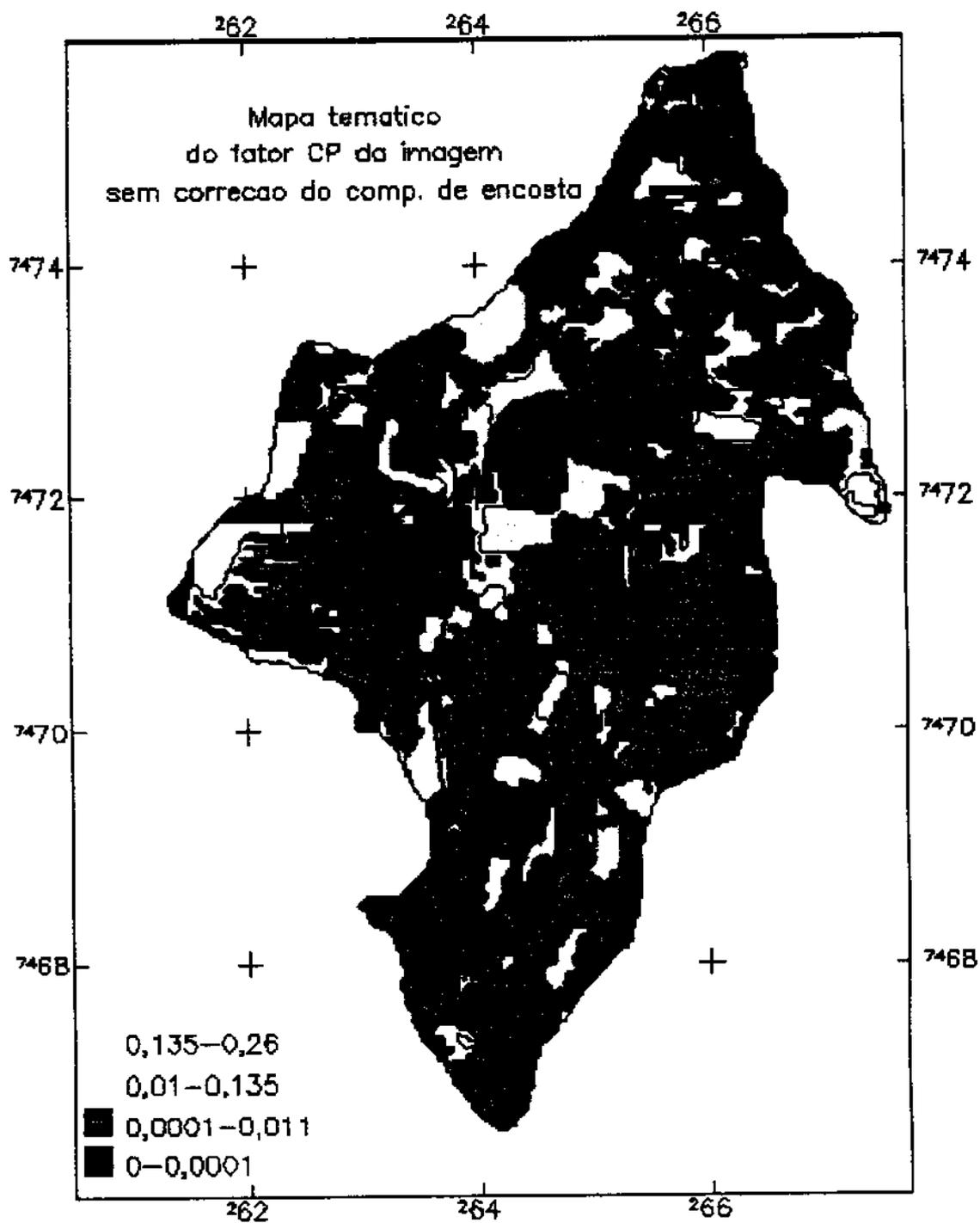


Fig. 6.10 - Fator antrópico (CxP) para a imagem, sem correção do comprimento de encosta.

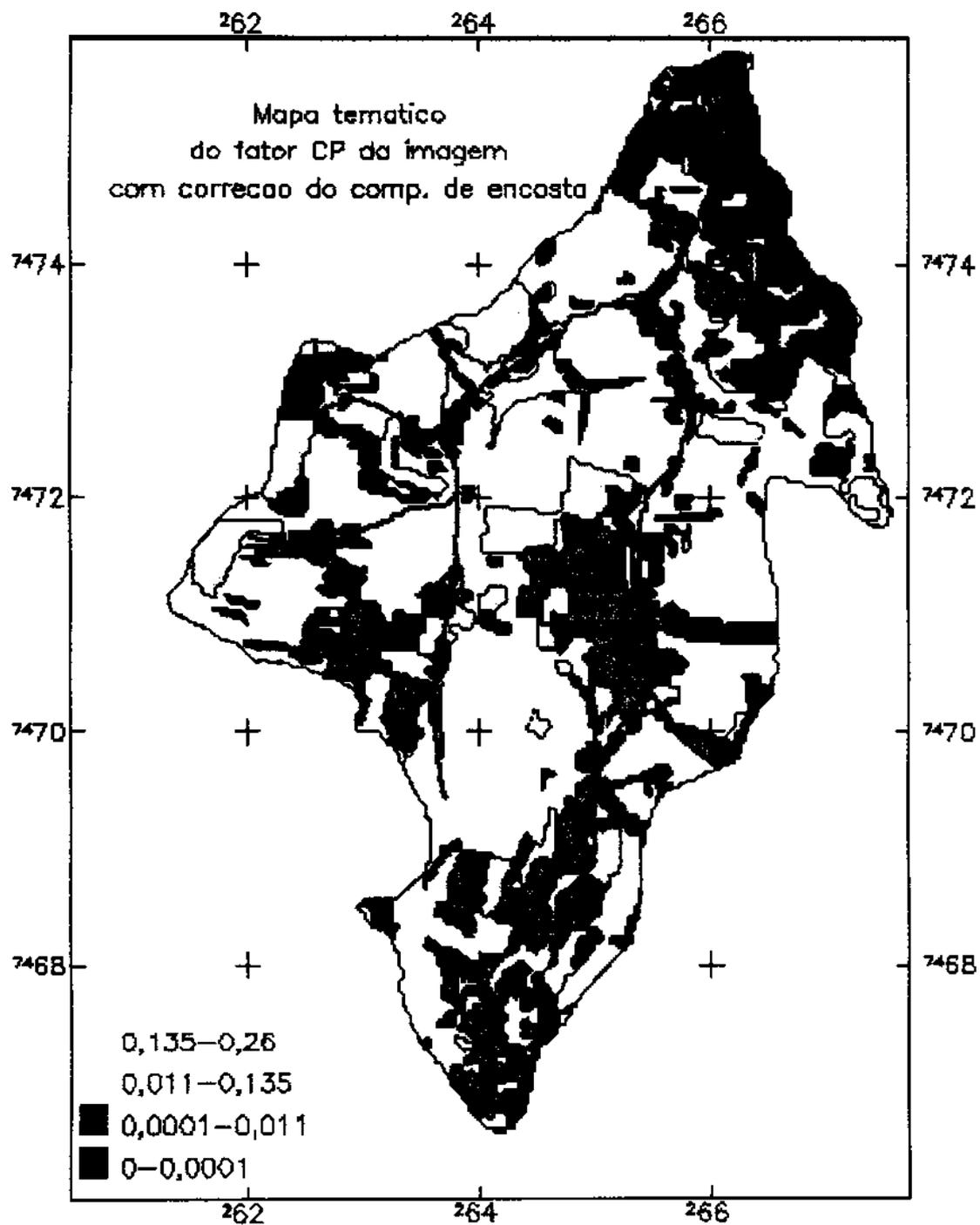


Fig. 6.11 - Fator antrópico (CxP) para a imagem, com correção do comprimento de encosta.

6.4.3. PERDAS RELATIVAS POR EROSÃO (PRE)

As perdas relativas por erosão se referem à estimativa final das perdas de solo por erosão. Relativas por não poder se caracterizar de forma absoluta a grandeza das perdas. Esta estimativa caracteriza para quanto as perdas de solo por erosão diminuíram numa UM depois que o uso e manejo fossem considerados, em relação ao solo nu e sem cobertura vegetal nenhuma. Este termo foi inicialmente usado por Pinto (1991) e posteriormente adotado por Saiz (1996).

a) Erosão observada no campo

Antes de tecer alguma discussão a respeito da modelagem da erosão usando a EUPS em ambiente de sistema de informações geográficas, é procedente descrever as observações de casos de erosão feitas em campo. Estas foram feitas de forma sistemática na visita do dia 24 de janeiro de 1996, a cujo levantamento foram acrescentados os dados relevantes em relação à presença de erosão, verificados, sempre que oportuno, nas visitas anteriores.

De uma forma geral, a microbacia apresenta um estado de conservação de razoável a bom. Poucas áreas apresentaram os efeitos da erosão. Este fato se deve talvez à presença forte da cultura da cana-de-açúcar, assessorados os produtores pelas usinas.

Os sinais que se encontraram de erosão foram: sulcos, terraços assoreados, rompimento de terraços e diminuição da espessura do horizonte superficial. E finalmente observou-se área onde o terraceamento conseguiu conter o processo erosivo de uma UM vizinha localizada topograficamente acima, considerado o caminho de escoamento da água.

Vale destacar que, devido à época da visita, já fora do ano agrícola estudado, nem sempre o uso e manejo observado era coincidente com aquele mapeado previamente.

Na UM N° 7.4 praticou-se a rotação cana, seguida de milho e no início do inverno de feijão. Após a colheita do feijão a área fora deixada em pousio e este replantado a meados de janeiro. Nesta UM a cana-de-açúcar não tinha sido renovada em janeiro de 1996.

Sendo uma gleba comprida, e com declividade de aproximadamente 6% e de 20% no seu final, com terraceamento prévio devido à cana-de-açúcar, pareceria ser uma UM bem protegida contra a erosão. Contudo, na época os terraços já tinham sido desfeitos e o plantio do feijoeiro feito em contorno. Nesta gleba verificou-se a existência de sulcos de aproximadamente 20 cm de profundidade e de até 50 cm de largura. Sulcos mais largos e mais rasos foram observados também.

A erosão iniciava-se principalmente no segundo quarto da UM e aumentava no terceiro quarto da área. O quarto final da UM, que se une a um tanque próximo, era uma extensa área de deposição de sedimentos. O tanque ao final da gleba mostrava sinais claros de assoreamento. Avaliou-se no momento que a causa principal da erosão naquela gleba foi a ausência de proteção contra o acúmulo de água devido ao longo comprimento da encosta. À ausência de práticas conservacionistas se aliou um manejo inadequado: o solo estava todo desprotegido e com sinais de uso recente de herbicida.

Uma segunda área na qual foi observado um processo erosivo foi a UM de N° 8.33. Nesta se praticou a mesma rotação, com a agravante da queimada da cana-de-açúcar. Foi uma das poucas, se não a única, área queimada em toda a microbacia. Observou-se o corte da cana-de-açúcar na região e verificou-se que o produtor, de forma geral, não faz uso do fogo para a colheita.

Esta UM tem uma declividade de 12 a 20 % e coincide com uma área de captação. Sem vegetação nativa e com plantios abandonados e sem condição de se recuperar, foi a UM visitada em pior estado de conservação. A única vala observada na UM, a qual parecia ter sido feita depois da erosão haver ocorrido e sem nenhuma técnica específica, não foi capaz de conter o processo erosivo. A Figura 6.12 mostra a vala citada assoreada, com solo sendo carregado por cima dela. Note-se que o assoreamento da vala ocorreu apenas no seu centro.

A terceira UM na qual foi observada alguma marca de erosão foi a de N° 8.37. Esta área tinha sido plantada com cana-de-açúcar antes do ano agrícola estudado. No período estudado esteve plantada com crotalária, seguida da tomate e posteriormente feijão. Na época da visita estava recém ocupada com cana-de-açúcar tardia, plantada depois de outubro.

Os terraços não foram suficientes para conter o solo carregado do topo do morro, deixando sua face oeste com extensos sulcos do tipo pé-de-galinha. Os terraços estavam totalmente assoreados e precisando tanto de manutenção como de replantio da cana-de-açúcar em alguns trechos mais afetados. A face norte, na qual o plantio tinha sido um pouco mais cedo e a cana-de-açúcar estava mais desenvolvida, não foram vistos sinais de erosão.

Próxima a essas duas UMs observou-se a UM de N° 8.35, cuja metade superior estava descoberta na época da visita, com plantio de tomate sendo preparado. A metade inferior acompanhava o mapeamento feito previamente, continuando com cana-de-açúcar. Na área superior da área plantada com cana-de-açúcar observou-se um total assoreamento dos terraços, com alguns poucos sobre-vazamentos. Ficou bem caracterizada a eficiência dos terraços no controle da erosão, pois este assoreamento se deteve no segundo terraço.

Estas três últimas UMs, ao contrário da 7.4 e da 2.9, sobre a qual se falará mais à frente, se encontram sobre o Podzólico Vermelho Amarelo, Unidade Usina. Este é o solo com maior suscetibilidade à erosão dentre as quatro Unidades mapeadas. A UM 7.4 se encontra sobre o Latossolo Roxo, o mais resistente à erosão. E a UM 2.9 sobre Latossolo Vermelho Escuro, o mais resistente à erosão.



Fig. 6.12 - Vala assoreada na UM 8.33.

Nesta última UM, na sua parte mais a NO, os terraços romperam-se no mês de setembro, com plantio recente de cana-de-açúcar. Estes não receberam manutenção e em janeiro a cana-de-açúcar tinha se desenvolvido sobre os terraços em mal estado de conservação. Contudo as chuvas da época não agravaram a situação, provavelmente pelo fato da cana-de-açúcar estar já bem desenvolvida.

Numa das primeiras visitas a UM 9.14 estava parcialmente cortada de sulcos. Estes foram cobertos quando do plantio seguinte de cana-de-açúcar. O processo porém era já antigo, evidenciado pelo horizonte A pulverizado e diminuído em sua espessura, e o horizonte B compactado.

Finalmente pode-se falar de marcas generalizadas de erosão lenta, como as áreas de pasto degradado, por exemplo, e as áreas nas quais a erosão não era tão evidente. Como não o teria sido na UM 9.14 caso alguma visita não tivesse ocorrido durante a transição entre uma cultura e outra.

A observação geral que se pode fazer da microbacia, a primeira vista, é de um estado de conservação bom, com algumas ocorrências de erosão apenas. Essas

ocorrências estão associadas a alguma cultura anual intercalada com a cana-de-açúcar. Uma caso que se repetiu foi a sequência de milho e feijão após a cana-de-açúcar.

Contudo, a EUPS modela a erosão laminar. Esta nem sempre é facilmente observável, podendo mesmo assim estar causando graves perdas de solo. Os indicativos do modelo se tornam então mui úteis.

b)Erosão a partir da EUPS

A modelagem da erosão a partir da EUPS foi feita com os dados antrópicos a partir da fotografia e a partir da imagem, usando os dados de comprimento de encosta sem nenhuma correção e usando os dados de comprimento de encosta com correção para terraços e estradas.

Os diversos autores que trabalharam com a EUPS preferiram usar uma escala qualitativa em lugar de uma escala quantitativa. A escala qualitativa é mais adequada a uma análise extensionista e de transferência de tecnologia. No presente trabalho a escolha recaiu sobre uma escala numérica, a qual permite comparações mais rigorosas entre os diversos produtos.

O fatiamento iniciou-se no zero e cada classe foi crescendo de cinco em cinco toneladas por hectare por ano. Esta escala foi respeitada até as 30 t/ha.ano. A partir daí se fez uma classe de 30 a 100 t/ha.ano e outra de 100 até o limite máximo de cada modelo. Adotou-se esta divisão para exibir o peso de cada classe no modelo corrigido e no modelo não corrigido. As faixas mais elevadas foram agrupadas numa faixa ampla.

Na fotografia aérea as classes de “0 a 5” e “5 a 10” tiveram suas áreas expandidas após a correção do comprimento de encosta. Todas as outras classes tiveram suas áreas diminuídas. A correção do comprimento de encosta teve um efeito de escada, empurrando áreas de uma classe para a classe imediatamente inferior em termos de solo perdido. As Figs. 6.14 e 6.15 mostram as PRE para a imagem e a fotografia após a correção do comprimento de encosta para a presença de estradas e de terraços.

Este mesmo efeito foi observado na carta de PRE proveniente da imagem. A única diferença é que a classe “5 a 10” teve seu valor diminuído em relação à carta sem correção do comprimento de encosta. A observação da Tabela 6.13 permite verificar que o destino desta diferença foi a classe “0 a 5”. Apenas o aporte de área na classe “5 a 10” proveniente da classe “10 a 15” não foi suficiente para repor o quanto aquela classe perdera de área para a classe “0 a 5”.

TABELA 6.13 - ÁREA [KM²] E VALORES MÁXIMOS DE PERDAS [T/HA.ANO] RELATIVAS POR EROÇÃO PARA A FOTOGRAFIA E A IMAGEM. NÃO CORRIGIDAS E CORRIGIDAS PARA COMPRIMENTO DE ENCOSTA.

	Fotografia		Imagem	
	Sem correção	Com correção	Sem correção	Com correção
0 a 5	12,61	15,28	10,08	13,71
5 a 10	4,20	5,96	3,59	2,90
10 a 15	3,09	1,73	3,13	4,74
15 a 20	1,44	0,88	1,41	0,60
20 a 25	0,97	0,47	1,49	0,79
25 a 30	0,70	0,28	1,05	0,41
30 a 100	1,58	0,83	3,30	1,88
100 ao máx.	0,94	0,69	1,48	1,09
Area total	25,54	26,13	25,54	26,13
Máximo	3600	1650	4055	1700

Compete aqui ressaltar que, conquanto as correções são pertinentes e efetivamente diminuem os valores das PRE, estas correções (para presença de estradas e terraços) não são suficientes para modelar apropriadamente a erosão. O estudo de um modelo hidrológico de erosão permite identificar algumas das limitações do modelo EUPS.

Rose e Hairsine (1988) demonstram que a água carrega sedimentos proporcionalmente à espessura da lâmina de água, à concentração de sedimentos na lâmina adjacente à superfície erodida e à velocidade da água. Além disso, os sedimentos são carregados, sedimentados, recarregados, ressedimentados e assim por diante até ocorrer a sedimentação final.

O modelo EUPS considera que praticamente o único fator hidrológico a causar erosão é o fluxo e a velocidade da água, e que uma vez em suspensão o sedimento só pára de ser carregado no final da encosta. Isto gera altos valores de PRE, da mesma forma que anteriormente gerava valores elevados de PNE.

De acordo com o modelo EUPS a erosão concentra-se no final das encostas, o que não é uma representação fiel da realidade. A observação de encostas em estado avançado de erosão mostra que, às vezes, é no topo dos morros que ocorre a maior erosão, em forma de panela. Ao longo da encosta vêem-se áreas de carregamento e deposição. As diversas áreas de carregamento são intercomunicadas entre si por sulcos e

vossorocas. A Figura 6.13 é um exemplo de encosta em processo erosivo avançado e que explicita bem a questão do carreamento e sedimentação.



Fig. 6.13 - Encosta em processo avançado de erosão.

6.4.4. ÍNDICE DE CRITICIDADE (IC)

O índice de criticidade (IC) indica em quantas vezes a tolerância de perdas está sendo superada pelas perdas estimadas através do modelo usado. O IC foi fatiado em 4 classes. A primeira classe de 0 a 0,8, a segunda de 0,8 a 1,2, a terceira classe de 1,2 a 5 vezes as perdas toleradas e a quarta classe de 5 a 45 vezes as perdas toleradas. Esta última classe pode ser considerada ruído.

A Figura 6.16 é a carta do IC para a fotografia, e a Figura. 6.17 a carta do IC para a imagem. Estas duas cartas foram obtidas para os dados de PRE com comprimento de encosta corrigido para estradas e terraços. Não faria sentido determinar a adequação da erosão presente aos limites de tolerância através de um conjunto de dados pouco rigorosos na sua representação.

Para avaliar a EUPS quanto à sensibilidade em detectar áreas com problemas intensos de erosão observaram-se as áreas com problemas específicos declividade de encosta descritas na seção anterior. As UMs 2.9 e 8.35 apareceram com IC baixo nos dois produtos. A UM 9.14 mostrou uma manchinha de IC médio no produto gerado a partir da fotografia e alto no gerado a partir da imagem. As UM 7.4 e 8.33 apareceram com manchas da classe alto nos dois produtos. E a UM 8.38 apareceu como medio no produto fotográfico e alto no originário da imagem.

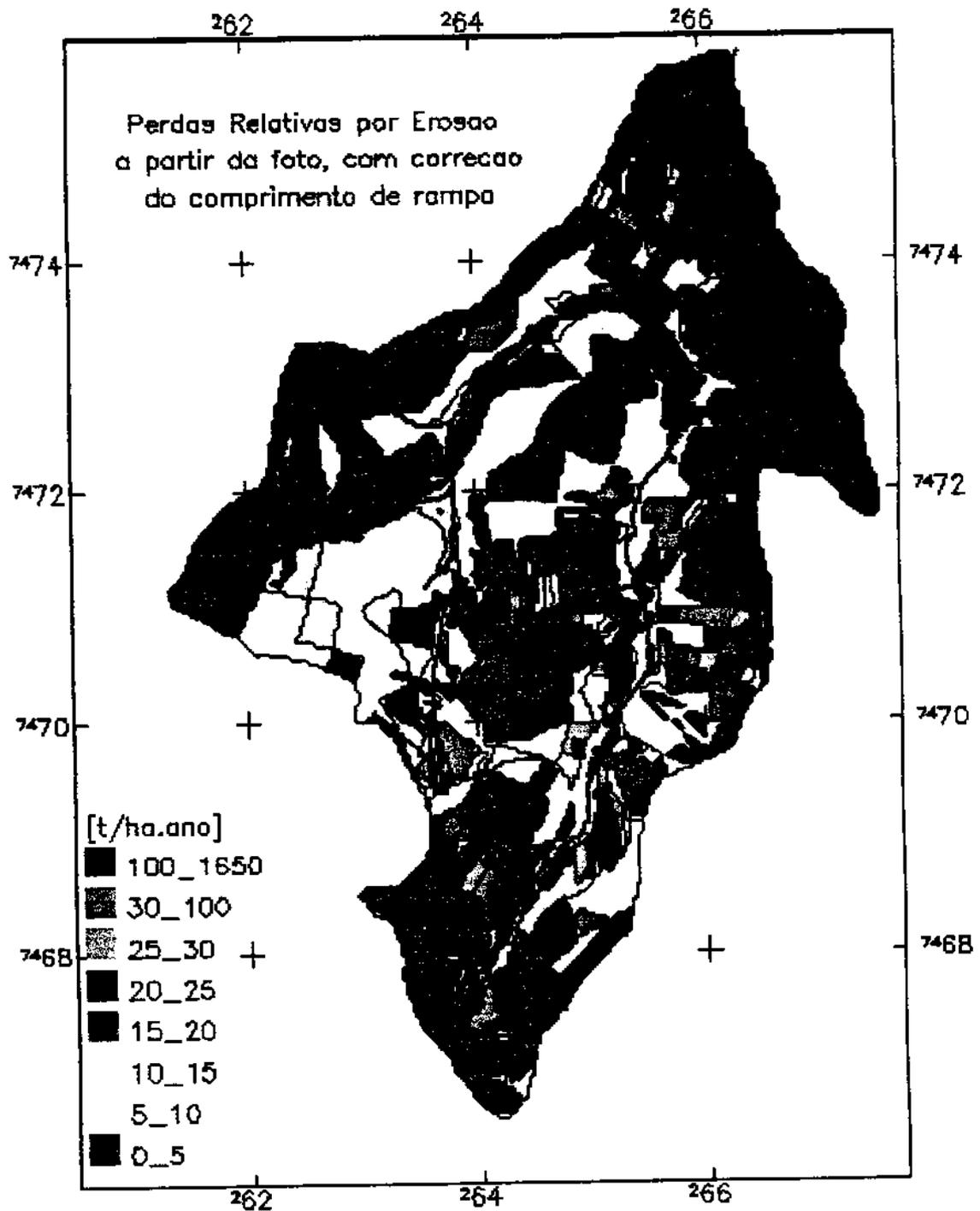


Fig. 6.14 - Perdas relativas por erosão a partir da fotografia com correção do comprimento de encosta para estradas e terraços.

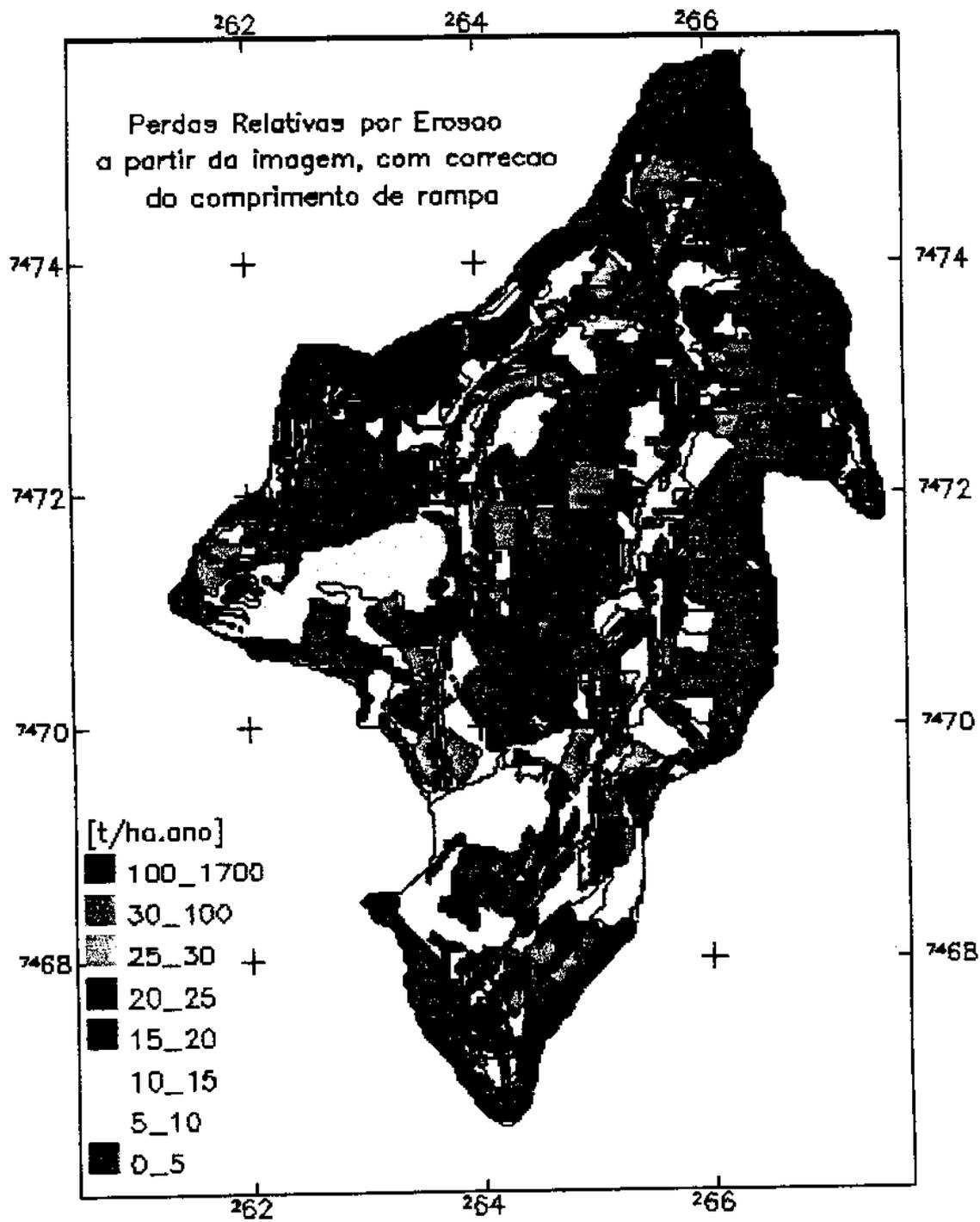


Fig. 6.15 - Perdas relativas por erosão a partir da imagem com correção do comprimento de encosta para estradas e terraços.

Poder-se-ia esperar que estas parcelas gerassem valores de IC que indicassem seus problemas de erosão na época do estudo. O parágrafo acima mostra

que ao contrário, a concordância pontual entre o observado e o modelado não é total. A EUPS trabalha com valores médios, e as observações foram sobre áreas com problemas extremos, aos quais o modelo não é sensível mesmo.

Porém, todas as UM com casos de erosão reportados mostraram uma certa tendência a apresentar valores de médios a elevados de IC. O que esta carta mostra é de forma geral os locais onde os sinais de erosão serão mais provavelmente encontrados.

TABELA 6.13 - CLASSES DE ÍNDICE DE CRITICIDADE [KM²] E [%].

IC	Fotografia		Imagem	
	km ²	%	km ²	%
0 a 0,8: baixo	20,74	79,37	16,30	62,38
0,8 a 1,2: médio	1,52	5,82	3,08	11,79
1,2 a 5: alto	2,82	10,79	5,04	19,29
5 a 45: mt_alto	1,05	4,02	1,71	6,54
Area total	26,13		26,13	

Neste conjunto de dados se verifica que a distribuição espacial dos dados nos dois produtos é coincidente em termos de concentração geográfica das classes em torno da drenagem. Em termos de concentração de área dentro de uma dada classe, o IC a partir da imagem tende a ter valores mais elevados que o IC a partir da fotografia, sem contudo diferirem grandemente. Porém, qualquer um dos dois produtos levaria um extensionista a agir nas mesmas áreas: próximo à drenagem.

Não se pode, porém, deixar de lado o fator C. Áreas com plantio de tomate, feijão e batata, distantes da drenagem, mostraram valores elevados de IC. Nestas áreas deve-se considerar o conjunto uso/manejo e práticas conservacionistas como fator preponderante na predição de altos níveis de erosão. Nestas áreas um extensionista deveria agir de forma localizada e direcionada ao produtor.

Mais uma vez se verifica a concentração dos valores mais elevados em torno da drenagem. Numa região contígua à drenagem, os valores são menores, porém. Isto se explica pelo fator CP baixo, correspondente à pastagem, e não por causa de um PNE baixo.

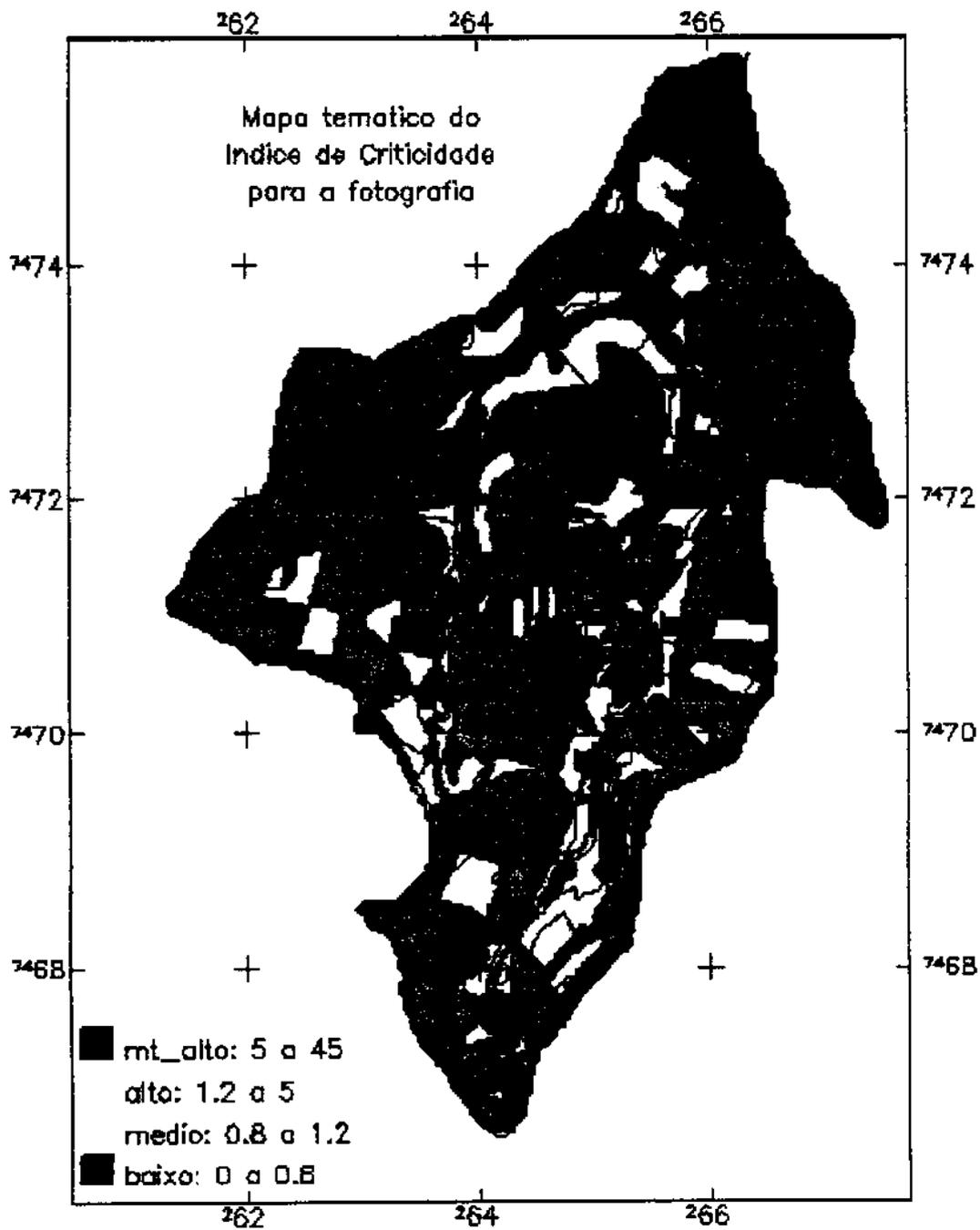


Fig. 6.16 - Índice de criticidade (IC) para a estimativa de erosão a partir da fotografia com correção do comprimento de encosta para estradas e terraços.

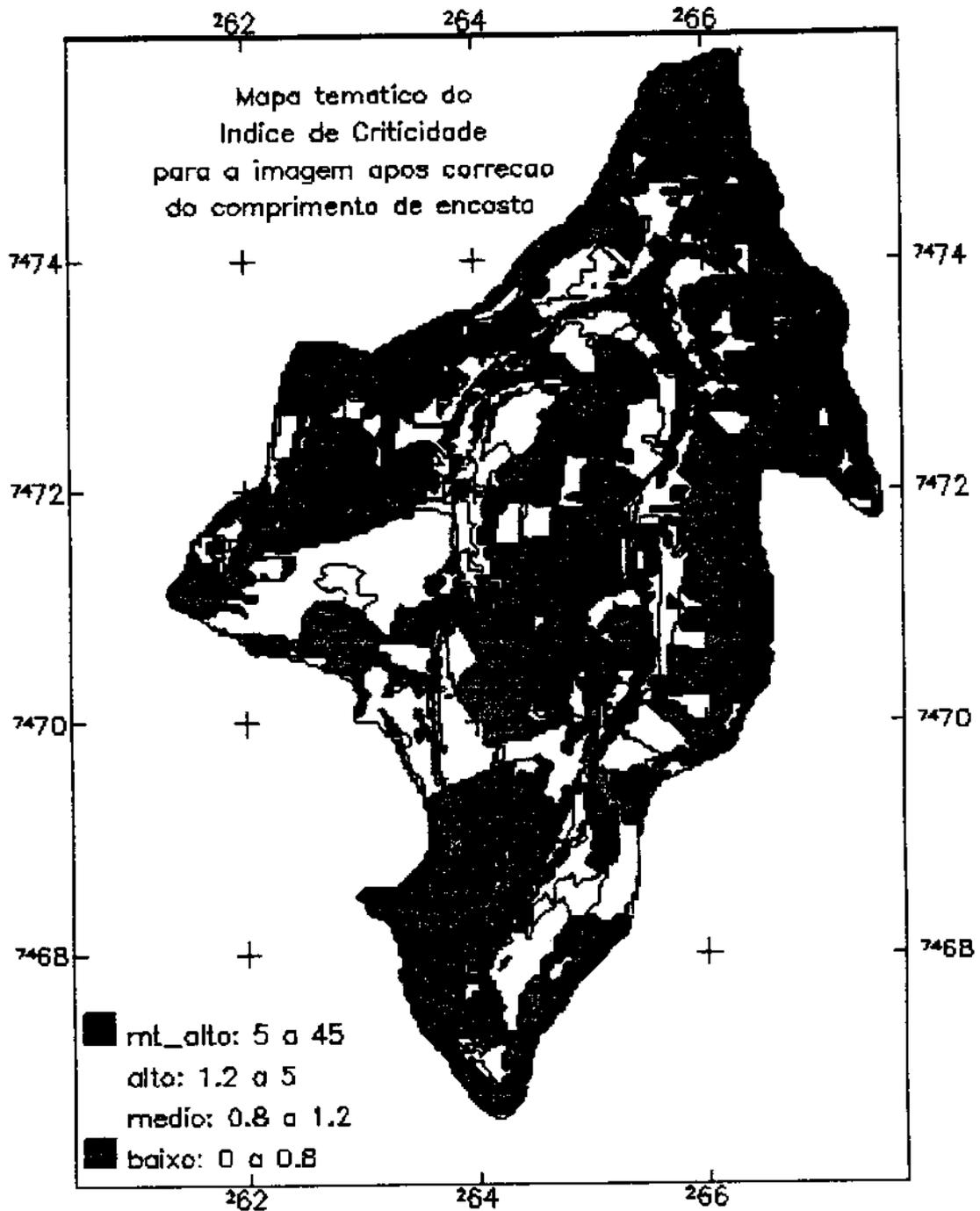


Fig. 6.17- Índice de criticidade(IC) para a estimativa de erosão a partir da imagem com correção do comprimento de encosta.

A Tabela 6.14 ajuda a entender a concentração desses valores. Na fotografia 79% do total se encontra em bom estado de conservação, contra 62% da área

para a imagem. Já o total de áreas classificadas com IC muito alto é maior na imagem que na fotografia: 6,5% contra 4%. Esta faixa de IC representa as áreas onde as PRE e o PNE possui valores tão elevados que não chegam a ser representativos da realidade modelada. Esta classe abrange os valores de 5 a 45 vezes maiores que as perdas toleradas.

A classe de IC médio, que congrega os valores que vão de 0,8 a 1,2, ocupa 6% na fotografia e 12% na imagem. E a classe de IC alto corresponde a 19% dos dados da imagem contra 11% dos dados da fotografia.

CAPÍTULO 7: CONCLUSÕES

O uso de imagens orbitais gera um produto similar ao produto gerado pela fotografia aérea. Esta similaridade se dá no âmbito de distribuição espacial das classes de intensidade de erosão e não quanto ao aspecto de predição pontual da erosão. Os maiores índices de erosão se concentraram ao redor da drenagem para as estimativas derivadas da imagem ou da fotografia.

A fotografia aérea, bem detalhada quanto ao uso e manejo da área, permite corroborar trabalhos anteriores, como o de Pinto (1991), e.g., que dão às imagens orbitais potencial de uso operacional. Resultados melhores poderiam ter sido obtidos, contudo, a partir das imagens, caso houvera disponibilidade de um maior número de cenas, aumentando a frequência de amostragem temporal.

O comprimento de encosta e a declividade são as principais fontes de superestimação da erosão em microbacias e outras áreas extensas (maiores que uma gleba). Além de atingirem valores pouco estudados, estas feições topográficas levam a maiores valores de perdas de solo por erosão nas proximidades da drenagem. Contudo, os maiores índices de erosão deveriam se encontrar nos topos dos morros, de onde é carregada a maior parte dos sedimentos, e não próximo à drenagem, região de sedimentação. Por isso a equação de regressão que relaciona comprimento de encosta e declividade com o fator topográfico deve ser estudada em condições de longas encostas.

O comprimento de encosta é observado no campo com valores acima dos regularmente estudados. Enquanto os fatores R, K, C e P, quando feita a modelagem bidimensional da EUPS, se mantêm dentro de uma faixa de variação estudada e esperada, o comprimento de encosta e a declividade atingem valores não estudados regularmente nos trabalhos com a EUPS, os quais visem gerar o banco de dados e curvas de regressão para operacionalização da equação.

Os resultados mostram que no modelo EUPS, em sua presente formulação, o comprimento de encosta tem, de forma geral, maior peso sobre a estimativa final de perdas de solo por erosão que os fatores antrópicos. As PRE são mais consistentemente correlacionadas com o comprimento de encosta e declividade que com o uso e manejo do solo.

O fator uso e manejo do solo, porém, se sobrepôs ao fator topográfico em algumas UMs. Estas UM estavam associadas a culturas plantadas em contorno e com fator C próximo a 0,5, como o feijão, a batata ou o algodão, ou rotações com estas culturas.

CAPÍTULO 8: COMENTÁRIOS

O comprimento de encosta e a declividade são as principais fontes de superestimação da erosão em microbacias e outras áreas extensas (maiores que uma gleba). Além de atingirem valores pouco estudados, estas feições topográficas levam a maiores valores de perdas de solo por erosão nas proximidades da drenagem. Contudo, os maiores índices de erosão deveriam se encontrar nos topos dos morros, de onde é carregada a maior parte dos sedimentos, e não próximo à drenagem, região de sedimentação. Por isso a equação de regressão que relaciona comprimento de encosta e declividade com o fator topográfico deve ser estudada em condições de longas encostas.

As correções aplicadas ao comprimento de encosta (estrada e terraços) mostraram ser viável a modelagem mais rigorosa desta feição. Estas correções, contudo, não eliminam as encostas de mais de 300m, limite de modelagem da EUPS. Elas apenas tornam o modelo mais preciso em termos de modelagem bidimensional desta componente topográfica. Para permitir a obtenção de estimativas de perdas de solo por erosão mais rigorosas é necessário não apenas um modelo bidimensional dos fatores topográficos que seja rigoroso na representação espacial, mas uma equação para estimativa do fator LS que tenha sido desenvolvida considerando o escopo de variação topográfica encontrada na natureza.

Uma das razões que “mascarou” o efeito do comprimento de encosta em trabalhos anteriores foi a baixa resolução com que este era modelado. Num mapa com resolução de 250m se torna difícil saber onde se encontram os maiores valores. Também as generalizações feitas fazem com que haja uma degradação dos produtos finais, quais sejam: PNE, PRE e IC. A resolução de 30m para o comprimento de encosta, obtida no presente trabalho, permitiu que se detectaram valores pouco rigorosos na ponderação do efeito do comprimento de encosta sobre a erosão, bem assim como a concentração dos maiores valores em torno da drenagem, abrindo espaço para uma nova linha de trabalho, visando a melhoria dos modelos de predição de erosão no ambiente natural.

O sistema de informações geográficas usado, o SPRING, mostrou-se eficiente no manuseio de destes dados. Seu conceito integrado, que congrega a manipulação de imagens e de dados de outras fontes dentro da mesma interface dá uma autonomia de trabalho que outros sistemas não conseguem oferecer, diminuindo o uso de aplicativos adicionais. O presente trabalho é exemplo desta operacionalidade, visto todo o desenvolvimento ter se realizado dentro do ambiente SPRING. Suas limitações operacionais não merecem destaque aqui, por ser uma sistema em desenvolvimento e estas terem sido repassadas aos destinatários competentes.

Ressalta-se contudo a necessidade de procurar saídas gráficas mais versáteis, que permitam uma maior integração com os dispositivos de impressão correntemente encontrados. Estas saídas devem ter o cuidado de preservar a escala do produto, aspecto que formatos como o TIFF, por exemplo, não permitem. Recomenda-se também o desenvolvimento de operadores direcionais dentro da LEGAL e de máscaras irregulares, que possam ser aproveitadas de dados previamente digitalizados, para limitação da área de operação do sistema.

O uso da EUPS, apesar dos aspectos a serem corrigidos, é simples e permite a operacionalização rápida de um modelo de predição de perdas de solo por erosão para uso pelos serviços de extensão. O conjunto de dados que permitem seu uso, por si só, seriam suficientes para justificar o aperfeiçoamento deste modelo, através da adequação dos fatores às condições topográficas de microbacia, ou pela inserção de fatores de correção.

Duas vertentes de desenvolvimento da equação devem ser caracterizadas: o desenvolvimento conceitual do modelo de erosão e o estudo da modelagem da erosão em ambiente de sistema de informações geográficas com base em dados de sensoriamento remoto. Para esta última vertente identificaram-se as seguintes linhas de pesquisa passíveis de desenvolvimento:

- uso de dados de sensoriamento remoto multitemporais para caracterização do fator C, correlacionando a evolução da resposta espectral dos alvos com a variação da cobertura vegetal e conseqüente caracterização do fator C;

- modelagem automatizada do comprimento de encosta e da declividade, dentro de ambiente sistema de informações geográficas, usando operadores de vizinhança, os quais possam identificar os caminhos de escoamento da água, por exemplo;

- delineamento de experimentos que façam uso dos atributos dos sistemas de informações geográficas, com a finalidade de elucidar as questões que têm surgido quanto à modelagem do ambiente natural, no que tange especificamente a predição da erosão;

- desenvolvimento de modelos de representação de cada variável que permitam a representação dos fatores da EUPS usando a modelagem “fuzzy”, o que permitiria apreciar melhor as variações pontuais da erosão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, D.S. Geographical Information Systems Development - some considerations about their use, problems and trends at INPE. *SELPER*, 6(1):47-49, 1990.
- Bernstein, R. et al. Image Geometry and Rectification. In: Colwell, R.N. et al. *Manual of Remote Sensing*. 2ed. Falls Church, Virginia, ASP, 1983. vol. 1, cap. 21, p.873-923.
- Berry, J.K. Cartographic Modeling: The Analytical Capabilities of GIS. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; L.T., eds. *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, Inc., 1993.
- Bertoni, J.; Lombardi Neto, F. *Conservação do Solo*. Piracicaba, Livroceres, 1985. 392p.
- Bins, L.S.; Erthal, G.J.; Il, F. *Classificação supervisionada de imagens de sensoriamento remoto: uma abordagem por regiões*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. Comunicação pessoal.
- Burrough, P.A. *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assesment*. Oxford, Clarendon Press, 1986. 193p.
- Câmara, G.; Casanova, M.A.; Hemerly, A.; Medeiros, C.M.B.; Magalhães, G. *Anatomia de sistemas de informação geográfica*. Campinas, Sociedade Brasileira de Computação, 1996. (Escola de Computação, 10)
- Câmara, G.; Medeiros, J.S. *Geoprocessamento para projetos ambientais*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. 145p.
- Campi, M.G. Nociones Generales de Procesamiento Digital de Imagenes. *SELPER*, 4(1):39-46, 1988.
- Castro, A.G. de. Técnicas de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informações no estudo integrado de bacias hidrográficas. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992. (INPE-5494-TDI/511).
- Castro, C.D.; Zobeck, T.M. Evaluation of the topographic factor in de Universal Soil Loss Equation on irregular slopes. *Journal of Soil and Water Conservation* 40(2):113-116. March - April, 1986.
- Chaves, H.M.L. Análise global de sensibilidade dos parâmetros da equação Universal de perda de solo modificada (MUSLE). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 15: 345-350. 1991.

- Chaves, H.M.L.; Silva, P.A.; Carlos, R.J. Aplicação da USLE e SGI na predição da erosão atual e potencialo a nível regional: o caso do vale do São Francisco. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 25. Viçosa, 23 a 29 de julho de 1995. *Resumos*. Viçosa, SBCS, 1995. p.1961-1963.
- Congalton, R.G.; Green K. The ABCs of GIS: An introduction to geographic information sysytems. *Journal of Forestry* 90(11):13-29, 1992.
- Cordeiro, J.P.; Amaral, S.; Freitas, U.M. de ; Câmara, G. Algebra de geo-campos e suas aplicações. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, 10 a 14 de abril, 1996. *Anais*. São Paulo, Imagem e Multimídia, 1996. 7p. Publicação em CD-ROM.
- Cordeiro, J.P. *LEGAL - Linguagem de Geoprocessamento Algébrico*. São José dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. Comunicação pessoal.
- Costa, J.B. *Caracterização e constituição do solo*. 3. Ed., Lisboa, Fundação Calouste Goubelstein, 1985. 527p.
- Crósta, A.P. *Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Ed. rev., Campinas, UNICAMP, 1993. 170p.
- São Paulo. Departamento de Água e Energia Elétrica - DAEE. *Dados pluviométricos*. 1995. 2p. (Fax).
- De Biase, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, 6:45-60, 1982.
- De Maria, I.C. *Perdas de terra por erosão hídrica e razão de perdas de solo para sistemas de manejo da cultura do milho*. (Tese de Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queróz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995. 93p.
- _____. *Valores experimentais máximos para comprimento de encosta e declividade na literatura sobre a EUPS*. Campinas, 1996. Comunicação pessoal.
- De Maria, I.C.; Lombardi Neto, F.; Dechen, S.C.F.; de Castro, O.M. Fator da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) para a cultura da cana-de-açúcar. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação de Solo e da Água, 10, Florianópolis, s.d. *Resumos*. Florianópolis, SC, s. ed., 1994, p. 148-149.
- Donzelli, P.L.; Valério Filho, M.; Pinto, S.A.F.; Nogueira, F.P.; Rotta, C.L.; Lombardi Neto, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas so diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. In: Lombardi N°, F e Camargo, A.O. ed. *Microbacia do Córrego São Joaquim* (Município de Pirassununga, SP). Campinas, Instituto Agrônômico, 1992. p. 91-119. (Documentos IAC-29).

- Ehlers, M. et al.. Integration of Remote Sensing and GIS: Data and Data Access. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57(6):669-675, June, 1991.
- Elbersen, G.W.W. et al. Small-scale Soil Survey and Automated Land Evaluation. *ITC Journal*, s.v.(1):288-312, 1988.
- Epiphanyo, J.C.N.; Formaggio, A.R.;Valeriano, M. De M.; Oliveira, J.B. de. *Comportamento espectral de solos do Estado de São Paulo*. INPE, São José dos Campos, 1992. 132p.
- Fernández, G.A.V.; Formaggio, A.R. *Cálculo do comprimento de encosta para modelagem bidimensional da EUPS*. Em preparação, 1996.
- Formaggio, A.R., Alves, D.S.; Epiphanyo, J.C.N. Sistemas de Informações Geográficas na Obtenção de Mapas de Aptidão Agrícola e de Taxa de Adequação de Uso das Terras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 16(2):249-256, Campinas, 1992.
- Foster, G.R.; McCool, D.K.; Renard, K.G.; Moldenhauer, W.C. Conversion of the Universal Soil Loss Equation to SI Metric Units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 36(6):355-359, 1981.
- Galindo, I.C. de L.; Margolis, E. Tolerância de perdas por erosão para solos do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 13(2):95-100, 1989.
- Goel, N.S. Models of Vegetation Canopy Reflectance and Their Use in Estimation of Biophysical Parameters from Reflectance Data. *Remote Sensing Reviews*, 4(1):1-125, 1988.
- Goel, N.S.; Strebel, D.E. Inversion of Vegetation Canopy Reflectance Models for Estimating Agronomic Variables. I. Problem Definition and Initial Results Using the Suits Model. *Remote Sensing of Environment*, 13(6):487-507,1983.
- Goodchild, M.F. The state of Gis for environmental solving problem. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T., eds. *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, 1993.
- Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; L.T.; Steyaert, L.T., eds. *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, 1993.
- Instituto Agrônômico de Campinas - (IAC). *Valores numéricos para estimativa do fator C*. Campinas, 1996. Comunicação pessoal.
- Instituto de Pesquisas Tecnológicas - (IPT). *Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo (Bacia do Peixe-Parapanema)*. 1986. v. 3 110 p. (Relatório nº 24.739).

- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). *Americana: carta do Brasil 1:50.000*. Rio de Janeiro, 1970.
- Kuntschik, G. *Uso de SIG e de Banco de Dados para a integração de dados do meio físico, visando simulações de manejo antrópico-ambiental*. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996.
- Le Moigne, J.; Tilton, J.C. Refining image segmentation by Integration of edge and region data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **33**(3):595-605, May 1995.
- Lombardi Neto, F. *Rainfall Erosivity - Its Distribution and Relationship with Soil Loss at Campinas, Brazil*. (Tese de Mestrado) - Purdue University, 1977. 57p.
- Lombardi Neto, F. Manejo e Conservação do Solo. In: Lombardi N°, F e Camargo, A.O. ed. *Microbacia do Córrego São Joaquim* (Município de Pirassununga, SP). Campinas, Instituto Agrônômico, 1992. 28p. (Documentos IAC-29).
- Lombardi Neto, F. *Fator K e tolerâncias de perdas de solo para alguns solos do Estado de São Paulo*. Campinas, 1995. Comunicação pessoal. (Fax).
- Lombardi Neto, F.; Moldenhauer, W.C. Erosividade da chuva - sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 3, Recife, 1980. *Anais*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1981. P.158.
- Lombardi Neto, F.; Moldenhauer, W.C. Erosividade da chuva - sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. *Bragantia*, **51** (2): 189-196, 1992.
- Lopez, M.T., Lane, L.J. and Cohen, I.S. WEPP (Water Erosion Prediction Project): Un Modelo Basado en Procesos Físicos para Simular Erosión Hidrica. In: *International Seminar of Watershed Management, 1., Proceedings*. Universidad de Sonora - University of Arizona, Hermosillo, Son., Mexico, April 1993, p. 13-23.
- Maguire, D.J., Goodchild, M.F.; Rhind, D.W. (eds.). *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. London, Longman Scientific & Technical, 1991. v.1., 649 p.
- Markham, B.L.; Barker, J.L. Landsat MSS and TM post calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectance and at-satellite temperatures. *EOSAT Technical Notes*, **1**:3-8, 1986.
- Mead, R. A.; Szajgin, J. Landsat classification accuracy assessment procedures. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **48**(1):139-141. 1982.

- Moore, I.D.; Turner, A.K.; Wilson, J.P.; Jenson, S.K.; Band, L.E.. GIS and land-surface-subsurface process modeling. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T., eds. *Environmental modeling with GIS*. New York, Oxford University Press, 1993.
- Namikawa, L.M. Um método de ajuste de superfícies para grades triangulares considerando a quebra de continuidade das linhas características. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10 a 14 de abril de 1996. *Anais*. São Paulo, Imagem e Multimídia. 1996. 7p. Publicação em CD-ROM.
- Namikawa, L.M. Um método de ajuste de superfícies para grades triangulares considerando linhas características. (Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995. 92p.
- Nascimento, P.C. do. Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas. (Dissertação de Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Piracicaba, 1994. 59p.
- Norwood, V.T.; Lansing Jr., J.C. Electro-optical imaging sensors. In: Colwell, R.N. et al. *Manual of Remote Sensing*. 2. ed. Falls Church, Virginia, ASP, 1983. vol. 1, cap. 8, p.335-369.
- Oliveira, J.B.; Menk, J.R.F; Rotta, C.L. *Levantamento Pedológico Semidetalhado dos Solos do Estado de São Paulo: Quadrícula de Campinas*. Rio de Janeiro, IBGE, 1979. 172p.
- Ortiz, M.J. *Integração de sensoriamento remoto, sistema de informações geográficas e banco de dados, na identificação de culturas agrícolas de inverno*. (Dissertação de Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1993. 188p. (Mimeografado).
- Pereira Neto, O.C. *Técnicas de Geoprocessamento Aplicadas ao Estudo da Adequação do Uso do Solo em Bacias Hidrográficas*. (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994. 150p. (Mimeografado).
- Pinter Jr., P.J.; Jackson, R.D.; Ezra, C.E.; Gausman, H.W. Sun-angle and canopy architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. *International Journal of Remote Sensing*, 6(12):1813 - 1825, 1985.
- Pinto, S.A. *Sensoriamento Remoto e Integração de Dados Aplicados no Estudo da Erosão dos Solos: Contribuição Metodológica*. (Tese de Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991. 157p. (INPE-5311-TAE/09).

Price, K.P. Detection of soil erosion within Pinyon-Juniper woodlands using Thematic Mapper (TM) data. *Remote Sensing Environment*, 45(2): 233-248. 1993.

Price, K.P.; Ridd, M.K. Detection of soil erosion within Pinyon-Juniper woodlands using thematic mapper (TM) satellite data. Remote Sensing Tech Pap 91 - ACSM-ASPRS Annual Convention v. 3. ACSM, Bethesda, p 319-328, 1991.

Quadro geral das unidades de medida (QGUM). S.l., Editora Técnica Gruenwald, s.d. 20p.

Renard, K.G.; Foster, G.R.; Yoder, D.C.; McCool, D.K. RUSLE Revisited: Status, Questions, Answers, and the Future. *Journal of Soil and Water Conservation*, 49(3):213-220, May - June, 1994.

Resende, M.; Curi, N.; Rezende, S.B.; Corrêa, G.F. *Pedologia: bases para distinção de ambientes*. Viçosa, NEPUT, 1995. 304p.

Richards, J.A. *Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction*. Heidelberg, Germany, Springer-Verlag, 1986. 281p.

Rose, C.W.; Hairsine, P.B. Processes of water erosion. In: Steffen W.L. and Denmead, O.T. eds. *Flow and transport in the natural environment: advances and applications*. New York, Springer-Verlag, 1988. 25p.

Saiz, C. del C. *Aplicação do modelo da Equação Universal de Perdas de Solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, como suporte ao planejamento de uso sustentado em área agrícola*. (Dissertação de Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1996. 123p.

São Paulo. Secretaria de Economia e Planejamento (SEPLAN) - Coordenadoria de Ação Regional - Divisão de Geografia. *Bairro Cruzeiro*. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, 1979. Escala 1:10.000. (Folha UTM: SF-23-Y-A-V-3-SE-E; IGC: 076/095).

_____. *Bairro Portão Pesado*. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, 1979. Escala 1:10.000. (Folha UTM: SF-23-Y-A-V-3-NE-E; IGC: 075/094).

_____. *Sumaré I*. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, 1979. Escala 1:10.000. (Folha UTM: SF-23-Y-A-V-3-NE-F; IGC: 074/095).

_____. *Sumaré II*. Plano Cartográfico do Estado de São Paulo, 1979. Escala 1:10.000. (Folha UTM: SF-23-Y-A-V-3-NE-D; IGC: 075/095).

Sausen, T.M. *Estudo da dinâmica do alto rio São Francisco e reservatório de Três Marias através de imagens MSS/Landsat*. (Dissertação de Mestrado) - Instituto

- Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1980. 272p. (INPE - 2249 - TDL/066).
- Slater, P.N. *Remote Sensing: Optics and Optical Systems*. Reading, Massachusetts, Addison-Wesley Publishing Company, 1980.
- Smith, D.D.; Wischmeier, W.H. *Interpretation of soil conservation data for field use*. *Agricultural Engineering* 22:173-175. 1947.
- Star, J.; Estes, J. *Geographic Information Systems: an introduction*. New Jersey, Prentice Hall, 1990.
- Tomlin, C.D. Cartographic Modeling. In: Maguire, D.J.; Goodchild, M.F.; Rhind, D.W., eds. *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. Vol. 1, Longman Scientific & Technical, 1991. 649 p.
- Valenzuela, C.R. ILWIS Overview. *ITC Journal*, (1988):1, 1988.
- Vázquez-Fernández, G.A.; Formaggio, A.R.; Epiphanyo, J.C.N.; Gleriani, J.M. Determinação de sequências culturais a partir de fotografia aérea para cálculo do fator C da EUPS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10 a 14 de abril de 1996. *Anais*. São Paulo, Imagem e Multimídia. 1996. 6p. Publicação em CD-ROM.
- Vieira, P.R. *Tópicos sobre fotogrametria digital*. (Trabalho acadêmico da disciplina Geoprocessamento II, do Curso de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1994. 61p. (Mimeografado).
- Wilkinson, G.G. A review of current issues in the integration of GIS and remote sensing data. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(1):85-101. 1996.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. *Predicting Rainfall Erosion Losses - a Guide to Conservation Planning*. Washington, U.S. Department of Agriculture, 1978. 65p. (Agriculture Handbook N° 537).

APENDICE A

TABELA COM NUMERAÇÃO DAS UM, OCUPAÇÃO NO VERÃO E INVERNO,
CLASSE DE ROTAÇÃO AGRÍCOLA, CLASSE DE FATOR C E VALOR DE
FATOR C ADOTADO.

UM	Classe de uso			Fator C	
	VERÃO 94	INVERNO 95	Rotação	Classe	Valor
1.1	Área urbana	Área urbana	Área urbana	ñ-agrícola	0,0000
1.2	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
1.3	Arvoredo denso	Arvoredo denso	Arvoredo	Arvoredo	0,0001
2.1	Algodão	Pousio	Algodão	Algodão	0,4737
2.2	Matinha	Matinha	Arvoredo	Arvoredo	0,0001
2.3	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.4	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.5	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.6	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
2.7	Milho	Pousio	Milho	Milho	0,1104
2.8	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
2.9	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.10	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.11		Solo preparado			
2.12	Várzea	Várzea	Várzea	Pasto	0,0080
2.14	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.14	Cana	Cana cortada	Cana	Cana	0,0500
2.14	Cana	Cana cortada	Cana	Cana	0,0500
2.15	Cana	Cana cortada	Cana	Cana	0,0500
2.16	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.14	Cana	Cana cortada	Cana	Cana	0,0500
2.17	Várzea/pasto	Várzea/pasto	Várzea	Pasto	0,0800
2.18	Milho	Pousio/feijão	Milho/Pousio /feijão	Milho/Pousio /feijão	0,1233
2.20	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.19	Milho	Aveia	Milho/Aveia	Milho	0,1104
2.22	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500

UM	Classe de uso			Fator C	
	VERÃO 94	INVERNO 95	Rotação	Classe	Valor
2.23	Cana	Cana cortada	Cana	Cana	0,0500
2.24	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.25	Cana	Cana cortada	Cana	Cana	0,0500
2.26	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.32	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
2.33	Arvoredo	Arvoredo	Arvoredo	Arvoredo	0,0001
2.34	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
2.27	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.28	Cana	Cana cortada	Cana	Cana	0,0500
2.29	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.30	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.31	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
2.21	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
U.M.	Cultura anterior	Classe de uso			
3.1	Área urbana	Área urbana	Área urbana	ñ-agrícola	0,0000
3.2	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
3.3	Área urbana	Área urbana	Área urbana	ñ-agrícola	0,0000
3.4	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
3.5	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
3.6	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
3.7	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
3.8	Várzea	Várzea	Várzea	Pasto	0,0080
3.9	Cana	Tomate	Cana/Tomate	Cana/Tomate	0,1008
3.10	Cana	Tomate	Cana/Tomate	Cana/Tomate	0,1008
3.11	Cana/Milho	Batata/Cana	Cana/Milho /Batata	Cana/Milho /Batata	0,1899
3.12	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
4.1	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
4.2	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
4.3	Cana	Batata/Pousio	Cana/Batata	Cana/Batata	0,1040
4.4	Confin./galinha	Confin./galinha	Confin./galinha	ñ-agrícola	0,0000
4.5	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
4.6	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500

UM	Classe de uso		Rotação	Fator C	
	VERÃO 94	INVERNO 95		Classe	Valor
4.7	Cana	Tomate	Cana/Tomate	Cana/Tomate	0,1008
4.8	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
4.9	Cana	Tomate	Cana/Tomate	Cana/Tomate	0,1008
4.10	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
4.11	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
4.12	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
4.13	Lavouras	Tomate+repolho	Lavouras	Lavouras	0,5000
4.14	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
4.15	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
4.16	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
5.1	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
5.2	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
5.3	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
5.4	Várzea/pasto	Várzea/pasto	Várzea/pasto	Pasto	0,0080
5.5	Cana/milho	Batata/pousio/cana	Cana/milho/Batata	Cana/milho/Batata	0,1899
5.6	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
5.7	Milho/feijão	Feijão/girassol	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
5.8	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
5.9	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
5.10	Cana	Cana soca	Cana	Cana	0,0500
5.11	Cana	Tomate	Cana/Tomate	Cana/Tomate	0,1008
5.12	cana/milho	Pousio/feijão	Cana/milho/feijão	Cana/milho/feijão	0,1855
5.13	Feijão	Feijão	Feijão	Feijão	0,5054
5.14	Arvoredo	Arvoredo	Arvoredo	Arvoredo	0,0001
5.15	Algodão	Pousio algodão	Algodão	Algodão	0,4737
5.16	sorgo	Pousio sorgo	Sorgo/pousio	Milho	0,1104
5.17	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
5.18	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
5.19	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
5.20	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
5.21	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
6.1	Capineira	Capineira napier	Capineira	Cana	0,0500
6.2	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080

UM	Classe de uso			Fator C	
	VERÃO 94	INVERNO 95	Rotação	Classe	Valor
6.3	Capoeira	Capoeira	Capoeira	Cana	0,0500
6.4	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
6.5	Cana	Pousio	Cana	Cana	0,0500
6.6	capineira	capineira	Capineira	Cana	0,0500
6.7	Cana/milho	Batata irrig.	Cana/Milho /Batata	Cana/Milho /Batata	0,1899
6.8	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
6.9	Cana/milho	Pousio	Cana/milho	Cana/milho	0,1065
6.10	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
6.11	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
6.12	Várzea/pasto	Várzea/pasto	Várzea/pasto	Pasto	0,0080
6.13	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
6.14	Área industrial	Área industrial	Área industrial	ñ-agrícola	0,0000
6.15	Milho	Pousio	Milho	Milho	0,1104
6.16	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
6.17	Cana	Batata	Cana/Batata	Cana/Batata	0,1040
6.18	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
7.1	Área urbana	Área urbana	Área urbana	ñ-agrícola	0,0000
7.2	Pasto batatais	Pasto batatais	Pasto	Pasto	0,0080
7.3	Cana	Pousio	Cana	Cana	0,0500
7.4	Cana/feijão	Batata/milho	Cana/milho /feijão	Cana/milho /feijão	0,1855
7.5	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
7.6	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
7.7	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
7.8	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
7.9	Pasto	Batata	Pasto/Batata	Pasto/Batata	0,0856
7.10	Milho	Tomate	Milho/Tomate	Milho/Tomate	0,1670
7.11	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
7.12	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
7.13	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
8.1	Área urbana	Área urbana	Área urbana	ñ-agrícola	0,0000
8.2	Cana	Cana soca - brotand	Cana	Cana	0,0500
8.3	Pastagem - batatais	Pastagem - batatais	Pasto	Pasto	0,0080

UM	Classe de uso			Fator C	
	VERÃO 94	INVERNO 95	Rotação	Classe	Valor
8.4	Área urbana	Área urbana	Área urbana	ñ-agrícola	0,0000
8.5	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	0,0300
8.5	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	0,0300
8.5	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	0,0300
8.6	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.6	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.7	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.8	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.9	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.10	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
8.11	Pomar de citrus adulto	Pomar de citrus adulto	Citros	Citros	0,1350
8.12	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.13	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.14	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.15	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.16	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.17	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.18	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.19	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.20	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.21	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
8.22	Milho/feijão	Tomate	Milho/Feijão /Tomate	Milho/Feijão /Tomate	0,1670
8.23	Milho/feijão	Feijão	Milho/Feijão /Feijão	Milho/Feijão	0,1415
8.24	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.24	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.25	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
8.26	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.27	Milho/pousio	Batata irrig. - 45 dias	Milho/pousio /Batata	Milho/pousio /Batata	0,1338
8.28	Milho/pousio	Batata - 90 dias	Milho/pousio /Batata	Milho/pousio Batata	0,1338
8.29	Cana	Batata - 70 dias	Cana/Batata	Cana/Batata	0,1040

UM	Classe de uso			Fator C	
	VERÃO 94	INVERNO 95	Rotação	Classe	Valor
8.30	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.31	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.31	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.32	Cana	Batata	Cana/Batata	Cana/Batata	0,1040
8.33	Cana/milho	Feijão	Cana/milho /feijão	Cana/milho /feijão	0,1855
8.34	Cana/milho	Pousio	Cana/milho /pousio	Cana/milho	0,1065
8.29	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
8.35	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.36	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
8.37	Crotalaria	Feijão/tomate	Crot./feijão /tomate	Crot./feijão /tomate	0,4131
8.38	Cana	Tomate	Cana/Tomate	Cana/Tomate	0,1008
8.39	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
8.40	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
8.41	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
8.42	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
8.43	Estação de força	Estação de força	Estação de força	ñ-agrícola	0,0000
9.1	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.2	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.3	Solo exposto	Solo exposto	Solo exposto	Solo exposto	1,0000
9.4	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.5	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
9.6	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
9.7	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
9.8	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
9.9	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
9.10	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
9.11	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.12	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	0,0300
9.13	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.14	Cana	Tomate	Cana/Tomate	Cana/Tomate	0,1008
9.15	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	0,0300

UM	Classe de uso			Fator C	
	VERÃO 94	INVERNO 95	Rotação	Classe	Valor
9.16	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	0,0300
9.17	Cana	Sorgo	Cana/Sorgo	Cana/Sorgo	0,0585
9.18	Cana	Sorgo	Cana/Sorgo	Cana/Sorgo	0,0585
9.19	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.20	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.21	Sorgo	Sorgo	Sorgo	Milho	0,1104
9.22	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	Pasto degradado	0,0300
9.23	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
9.24	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.25	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.26	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.27	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.28	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.29	feijão	pousio	Feijão	Feijão	0,5054
9.30	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.31	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
9.32	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
9.33	pousio	Tomate			
10.1	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
10.2	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
10.3	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
10.4	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
10.5	Cana	Batata	Cana/Batata	Cana/Batata	0,1040
10.6	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
10.7	Cana	Batata	Cana/Batata	Cana/Batata	0,1040
10.8	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
10.9	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
10.10	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
10.11	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
10.12	Granja	Granja	Granja	ñ-agrícola	0,0000
10.13	Colônia+ pmr aban.	Colônia+ pmr aban.	Pomar abandonado	Pomar	0,0500
10.14	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080

UM	Classe de uso			Fator C	
	VERÃO 94	INVERNO 95	Rotação	Classe	Valor
10.15	Granja	Granja	Granja	ñ-agrícola	0,0000
10.16	Feijão	Batata irrigada	Feijão/Batata	Feijão/Batata	0,5118
10.17	Feijão	Feijão	Feijão	Feijão	0,5054
10.18	Pasto	Tomate	Pasto/Tomate	Pasto/Tomate	0,0792
10.19	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
10.20	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
10.21	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
10.22	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
10.23	Pasto	Pasto	Pasto	Pasto	0,0080
10.24	Café	Café	Café	Café/citros	0,1350
10.25	Pasto	Tomate	Pasto/Tomate	Pasto/Tomate	0,0792
10.26	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
10.27		Batata		Feijão/batata	0,5118
10.28		Batata irrigada /feijão		Feijão/batata	0,5118
10.29	campo de futebol	campo de futebol	campo de futebol	Pasto	0,0080
10.30	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
10.31	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000
10.32	Cana	Cana	Cana	Cana	0,0500
10.33	Área resid. rural	Área resid. rural	Área resid. rural	ñ-agrícola	0,0000

APÊNDICE B:

TABELAS DE CÁLCULO DO FATOR C PARA CADA ROTAÇÃO

erosão		RPS média		RPS média		RPS média		RPS média	
MÊS	%	Rotação:		Rotação:		Rotação:		Rotação:	
		cana/pousio		cana/batata		cana/sorgo		milho/aveia	
out	0,06	0,0500	0,0032	0,0500	0,0032	0,0500	0,0032	0,1104	0,0072
nov	0,13	0,0500	0,0063	0,0500	0,0063	0,0500	0,0032	0,1104	0,0139
dez	0,24	0,0500	0,0119	0,0500	0,0119	0,0500	0,0032	0,1104	0,0263
jan	0,21	0,0500	0,0107	0,0500	0,0107	0,0500	0,0032	0,1104	0,0235
fev	0,12	0,0500	0,0062	0,0500	0,0062	0,0500	0,0032	0,1104	0,0138
mar	0,09	0,0500	0,0045	0,0500	0,0045	0,0500	0,0032	0,1104	0,0099
abr	0,03	0,0500	0,0016	0,0500	0,0016	0,0500	0,0032	0,1104	0,0035
maio	0,03	0,0500	0,0016	0,0500	0,0016	0,1104	0,0072	0,1104	0,0036
jun	0,02	0,0500	0,0010	0,5500	0,0107	0,1104	0,0072	0,1104	0,0021
jul	0,01	0,0500	0,0007	0,5500	0,0076	0,1104	0,0072	0,1104	0,0015
ago	0,01	0,0500	0,0006	0,5500	0,0071	0,1104	0,0072	0,1104	0,0014
set	0,03	0,3500	0,0114	1,0000	0,0326	0,1104	0,0072	0,1104	0,0036
Fator C		0,0598		0,1040		0,0585		0,1104	

		milho/pousio		cana/cana		Mil./pou./feij.		Mil./fei./fei.	
out	0,06	0,1104	0,0072	0,0500	0,0032	0,1104	0,0072	0,1104	0,0072
nov	0,13	0,1104	0,0139	0,0500	0,0063	0,1104	0,0139	0,1104	0,0139
dez	0,24	0,1104	0,0263	0,0500	0,0119	0,1104	0,0263	0,1104	0,0263
jan	0,21	0,1104	0,0235	0,0500	0,0107	0,1104	0,0235	0,1104	0,0235
fev	0,12	0,1104	0,0138	0,0500	0,0062	0,1104	0,0138	0,1104	0,0138
mar	0,09	0,1104	0,0099	0,0500	0,0045	0,1104	0,0099	0,1104	0,0099
abr	0,03	0,1104	0,0035	0,0500	0,0016	0,1104	0,0035	0,1104	0,0035
maio	0,03	0,1104	0,0036	0,0500	0,0016	0,1104	0,0036	0,1104	0,0036
jun	0,02	0,1104	0,0021	0,0500	0,0010	0,1104	0,0021	0,5054	0,0098

jul	0,01	0,1104	0,0015	0,0500	0,0007	0,1104	0,0015	0,5054	0,0070
ago	0,01	0,1104	0,0014	0,0500	0,0006	0,1104	0,0014	0,5054	0,0065
set	0,03	0,1104	0,0036	0,0500	0,0016	0,5054	0,0165	0,5054	0,0165
Fator C		0,1104		0,0500		0,1233		0,1415	

		Alg./pousio		Mil./pou./feijão		Can/fe./bat./mil.		Cana/mil./bat.	
out	0,06	0,4737	0,0307	0,1104	0,0072	0,0500	0,0032	0,0500	0,0032
nov	0,13	0,4737	0,0594	0,1104	0,0139	0,5054	0,0634	0,1104	0,0139
dez	0,24	0,4737	0,1129	0,1104	0,0263	0,5054	0,1205	0,1104	0,0263
jan	0,21	0,4737	0,1010	0,1104	0,0235	0,5054	0,1078	0,1104	0,0235
fev	0,12	0,4737	0,0591	0,1104	0,0138	0,5054	0,0631	0,1104	0,0138
mar	0,09	0,4737	0,0427	0,1104	0,0099	0,5054	0,0455	0,1104	0,0099
abr	0,03	0,4737	0,0150	0,1104	0,0035	0,5500	0,0174	0,5500	0,0174
maio	0,03	0,4737	0,0156	0,1104	0,0036	0,5500	0,0181	0,5500	0,0181
jun	0,02	0,4737	0,0092	0,5054	0,0098	0,5500	0,0107	0,5500	0,0107
jul	0,01	0,4737	0,0065	0,5054	0,0070	0,5500	0,0076	0,5500	0,0076
ago	0,01	0,4737	0,0061	0,5054	0,0065	0,5500	0,0071	1,0000	0,0129
set	0,03	0,4737	0,0154	0,5054	0,0165	0,1104	0,0036	1,0000	0,0326
Fator C		0,4737		0,1415		0,4679		0,1899	

		Cana/tomate		Crot./fei./tom.		Cana/mil./fei.		Cana/mil./pous.	
out	0,06	0,0500	0,0032	0,2900	0,0188	0,0500	0,0032	0,0500	0,0032
nov	0,13	0,0500	0,0063	0,2900	0,0364	0,1104	0,0139	0,1104	0,0139
dez	0,24	0,0500	0,0119	0,2900	0,0691	0,1104	0,0263	0,1104	0,0263
jan	0,21	0,0500	0,0107	0,5054	0,1078	0,1104	0,0235	0,1104	0,0235
fev	0,12	0,0500	0,0062	0,5054	0,0631	0,1104	0,0138	0,1104	0,0138
mar	0,09	0,0500	0,0045	0,5054	0,0455	0,1104	0,0099	0,1104	0,0099
abr	0,03	0,0500	0,0016	0,5054	0,0160	0,5054	0,0160	0,1104	0,0035

maio	0,03	0,5054	0,0166	0,5054	0,0166	0,5054	0,0166	0,1104	0,0036
jun	0,02	0,5054	0,0098	0,5054	0,0098	0,5054	0,0098	0,1104	0,0021
jul	0,01	0,5054	0,0070	0,5054	0,0070	0,5054	0,0070	0,1104	0,0015
ago	0,01	0,5054	0,0065	0,5054	0,0065	1,0000	0,0129	0,1104	0,0014
set	0,03	0,5054	0,0165	0,5054	0,0165	1,0000	0,0326	0,1104	0,0036
Fator C		0,1008		0,4131		0,1855		0,1065	
		Fei./bat. irri.		Mil./fei./gir.		Mil./fei./tom.		Mil./pou./bat.	
out	0,06	0,5054	0,0328	0,1104	0,0072	0,1104	0,0072	0,1104	0,0072
nov	0,13	0,5054	0,0634	0,1104	0,0139	0,1104	0,0139	0,1104	0,0139
dez	0,24	0,5054	0,1205	0,1104	0,0263	0,1104	0,0263	0,1104	0,0263
jan	0,21	0,5054	0,1078	0,1104	0,0235	0,1104	0,0235	0,1104	0,0235
fev	0,12	0,5054	0,0631	0,1104	0,0138	0,1104	0,0138	0,1104	0,0138
mar	0,09	0,5054	0,0455	0,1104	0,0099	0,1104	0,0099	0,1104	0,0099
abr	0,03	0,5500	0,0174	0,5054	0,0160	0,5054	0,0160	0,1104	0,0035
maio	0,03	0,5500	0,0181	0,5054	0,0166	0,5054	0,0166	0,1104	0,0036
jun	0,02	0,5500	0,0107	0,5054	0,0098	0,5054	0,0098	0,1104	0,0021
jul	0,01	0,5500	0,0076	0,5054	0,0070	0,5054	0,0070	0,5054	0,0070
ago	0,01	0,5500	0,0071	0,5054	0,0065	0,5054	0,0065	0,5054	0,0065
set	0,03	0,5500	0,0179	0,5054	0,0165	0,5054	0,0165	0,5054	0,0165
Fator C		0,5118		0,1670		0,1670		0,1338	
		Milho/tomate		Pasto/batata		Pasto/tomate		Pousio/tomate	
out	0,06	0,1104	0,0072	0,0080	0,0005	0,0080	0,0005	0,0500	0,0032
nov	0,13	0,1104	0,0139	0,0080	0,0010	0,0080	0,0010	0,0500	0,0063
dez	0,24	0,1104	0,0263	0,0080	0,0019	0,0080	0,0019	0,0500	0,0119
jan	0,21	0,1104	0,0235	0,0080	0,0017	0,0080	0,0017	0,0500	0,0107
fev	0,12	0,1104	0,0138	0,0080	0,0010	0,0080	0,0010	0,0500	0,0062
mar	0,09	0,1104	0,0099	0,0080	0,0007	0,0080	0,0007	0,0500	0,0045

abr	0,03	0,5054	0,0160	0,5500	0,0174	0,5054	0,0160	0,5054	0,0160
maio	0,03	0,5054	0,0166	0,5500	0,0181	0,5054	0,0166	0,5054	0,0166
jun	0,02	0,5054	0,0098	0,5500	0,0107	0,5054	0,0098	0,5054	0,0098
jul	0,01	0,5054	0,0070	0,5500	0,0076	0,5054	0,0070	0,5054	0,0070
ago	0,01	0,5054	0,0065	0,5500	0,0071	0,5054	0,0065	0,5054	0,0065
set	0,03	0,5054	0,0165	0,5500	0,0179	0,5054	0,0165	0,5054	0,0165
Fator C			0,1670		0,0856		0,0792		0,1152

APÊNDICE C

PROGRAMAS USADOS EM LEGAL PARA MANIPULAÇÃO E INTEGRAÇÃO
DAS VARIÁVEIS INDEPENDENTES.

// nome do programa: Ktem_grd

//Dados de entrada: PI tematico de solos tabela de ponderacao com valores de K

// Saída: PI numerico de K

{

Tematico K("fator_K");

Tabela pondK(Ponderacao);

Numerico KA("usle");

K=Recupere (Nome="FATOR_K");

pondK=Novo(Categorialni="fator_K",

"PVA":0.0462,

"LR":0.0098,

"LH":0.0246,

"LE":0.0167);

KA=Novo(Nome="K", ResX=30.ResY=30, Escala=9000, Min=0. Max=0.1);

KA=Pondere(K,pondK);

}

// nome do programa: PTS

//Dados de entrada: PI tematico de solos (FATOR K) tabela de ponderacao com valores de T

//Saída: PI numerico de T

{

Tematico T("fator_K");

Tabela pondT(Ponderacao);

Numerico Te("usle");

T=Recupere (Nome="FATOR_K");

```

    pondT=Novo(CategoriaIni="fator_K",
               "PVA":9.6,           "LR":13.0,           "LH":12.6,
               "LE":12.3);

    Te=Novo(Nome="PTS", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=9, Max=13.5);

    Te=Pondere(T,pondT);

}

// nome do programa:ramp_est_50

//Dados: comprimento de rampa com estradas      P_terr_ft

//saida: comprimento de rampa com estradas considerando terraço      compramp_est_50:      modelo
tematico das Perdas Relativas por Erosao

{

    Numerico PT, LT ("usle");

    Numerico L ("altimetria");

    Tematico CRT ("perdas_de_solo");

    Tabela fatLT (Fatiamento);

    PT=Recupere (Nome="P_terr_ft");

    L = Recupere (Nome = "compramp_estradas");

    LT = Novo(Nome="COMPRAMP_EST_50", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=2000);

    CRT = Novo(Nome="rampa_est_50_tematico", ResX=30,ResY=30, Escala=9000);

    fatLT = Novo(CategoriaFim = "perdas_de_solo",

    [0,50]:"0_50",           [50,300]:"50_300",

    [300,600]:"300_600",     [600,900]:"600_900",

    [900,1200]:"900_1200",   [1200,1500]:"1200_1500",

    [1500,1800]:"1500_1800", [1800,2100]:"1800_2000");

    LT = ((L-50)*PT)+50;

    CRT = Fatic (LT,fatLT);

}

// nome do programa:ramp_est_50_ima.alg

//Dados: comprimento de rampa com estradas      P_terr_mgm_recort

//saida: comprimento de rampa com estradas considerando terraço mapeados a partir da imgm

{

```

```

Numerico PT, LT ("usle");

Numerico L ("altimetria");

Tematico CRT ("perdas_de_solo");

PT=Recupere (Nome="Pima_terr");

L = Recupere (Nome = "compramp_estradas");

LT = Novo(Nome="RAMPAest50ima", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=2000);

LT = ((L-50)*PT)+50;

}

```

// Grade dicotômica para considerar terraços no comprimento de encosta

do fator P //Dados de entrada: PI tematico do fator P da foto (fator_p_ft da categoria fator_p) Tabela de ponderacao

```

//Saída: PI temático com terraços igual a 0 e as outras práticas igual a 1

{

    Tematico P ("fator_p");

    Numerico Pe ("usle");

    Tabela pondP (Ponderacao);

    P=Recupere (Nome="fator_p_ft");

    Pe = Novo(Nome="P_terr_ft", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1);

    pondP = Novo(Categorialni = "fator_p",

        "terraço":0,

        "nivel":1,

        "morro_abaiço":1,

        "terraço_morro_abaiço":0,

        "morro_abaiço_contorno":1);

    Pe = Pondere (P,pondP);

}

```

//Geracao do fator LS a partir do comprimento de rampa (grade) considerando as estradas e os terraços no comprimento de rampa, e da declividade (tematico)

```

{

    Numerico dclvdd("altimetria");

```

```

Numerico  comrampa, fatorLS("usle");

comrampa =Recupere(Nome="COMPRAMP_EST_50");

dclvdd      =Recupere(Nome="dclvdd");

fatorLS      =Novo(Nome="fatorLS_est_50", ResX=30, ResY=30, Escala=9000, Min=0,
Max=1200);

fatorLS      =0.00984*comrampa^0.63*dclvdd^1.18;

}

```

//Geracao do fator LS a partir do comprimento de rampa (grade) considerando as estradas e os terracos no comprimento de rampa, e da declividade para a imagem

```

{

Numerico  dclvdd("altimetria");

Numerico  comrampa, fatorLS("usle");

comrampa =Recupere(Nome="RAMPAest50ima");

dclvdd      =Recupere(Nome="dclvdd");

fatorLS      =Novo(Nome="fatorLS_est_50_ima", ResX=30, ResY=30, Escala=9000, Min=0,
Max=1200);

fatorLS      =0.00984*comrampa^0.63*dclvdd^1.18;

}

```

//Geracao do fator LS a partir do comprimento de rampa (grade) e da declividade (tematico)

```

Numerico  comrampa, dclvdd("altimetria");

Numerico  fatorLS("usle");

comrampa =Recupere(Nome="compramp_estradas");

dclvdd      =Recupere(Nome="dclvdd");

fatorLS      =Novo(Nome="fatorLS_est", ResX=30, ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1200);

fatorLS      =0.00984*comrampa^0.63*dclvdd^1.18;

}

```

// FATOR LS com os terracos no comprimento de rampa

```

//      nome do programa: Fator_LS_50

//Dados: comprimento de rampa com terracos (Num)      grade de declividade (Num)

//Saida: Fator LS considerando o comprimento de rampa dos terracos (Num)

```

```

{
Numerico  comrampa, fatorLS ("usle");

Numerico  declive ("altimetria");

declive      =Recupere(Nome="dclvdd");

comrampa =Recupere(Nome="COMPRAMP_EST_50");

fatorLS      =Novo(Nome="fatorLS_est_50",  ResX=30,  ResY=30,  Escala=9000,  Min=0,
Max=1000);

fatorLS      = 0.00984 * comrampa ^ 0.63 * declive ^ 1.18;

}

```

// nome do programa:L_terr

```
// Comprimento de rampa com terraço a partir do comprimento de rampa total e do fator P
```

```
//Dados:
```

```
// FATOR_L
```

```
// P_terr_ft
```

```
//saida:
```

```
// comprimento de rampa considerando terraço
```

```
{
```

```
Numerico PT, LT ("usle");
```

```
Numerico L ("altimetria");
```

```
PT=Recupere (Nome="P_terr_ft");
```

```
L = Recupere (Nome = "compramp_estradas");
```

```
LT = Novo(Nome="COMPRAMP_EST_502", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=2000);
```

```
LT = ((L-50)*PT)+50;
```

```
}
```

//Geracao do fator LS a partir do comprimento de rampa (grade) e da declividade (tematico)

```
{
```

```
Tematico declive("decl_facetas");
```

```
Numerico  comrampa, dclvdd, fatorLS("altimetria");
```

```
Tabela      declividade(Ponderacao);
```

```

declive          =Recupere(Nome="declividade");

comrampa =Recupere(Nome="FACTOR_L");

dclvdd          =Novo(Nome="dclvdd", ResX=30, ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=40);

fatorLS         =Novo(Nome="fatorLS", ResX=30, ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1700);

declividade=Novo(Categorialni= "decl_facetas",

                "A_0a3":1.5,

                "B_3a6":4.5,

                "C_6a12":9,

                "D_12a20":16,

                "E_20a40":30);

dclvdd          =Pondere(declive, declividade);

fatorLS         =0.00984*comrampa^0.63*dclvdd^1.18;

}

```

// nome do programa: PNE

```

//dados de entrada:  R      grade de K      grade de LS

//saida:  grade com valores de PNE com terracos no fator p

{

Numerico KA, PNE ("usle");

Numerico LS ("altimetria");

KA=Recupere (Nome="K");

LS=Recupere (Nome="fatorLS");

PNE = Novo(Nome="PNE", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=20000);

R = 7811.05;

PNE = R*KA*LS;

}

```

// nome do programa: PNE_50

```

//Dados:  R (numero)      K      LS a partir do comprimento de rampa com terracos

//Saida:  PNE com LS estimado a partir de comprimento de rampa com terracos

{

```

```

Numerico KA, PNE, LS("usle");

KA=Recupere (Nome="K");

LS=Recupere (Nome="fatorLS_terr");

PNE = Novo(Nome="PNE_50", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=20000);

R = 7811.05;

PNE = R*KA*LS;

}

```

// nome do programa: PNE_est

```

//dados de entrada:  R      grade de K      grade de LS

//saida:  grade com valores de PNE com terracos no fator p

{

Numerico KA, PNE, LS("usle");

KA=Recupere (Nome="K");

LS=Recupere (Nome="fatorLS_est");

PNE = Novo(Nome="PNE_est", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=15000);

R = 7811.05;

PNE = R*KA*LS;

}

```

// nome do programa: PNE_50_est

```

//Dados:  R (número)      K      LS a partir do comprimento de rampa com terracos

//Saída:  PNE com terracos e estradas no comprimento de rampa

{

Numerico KA, PNE, LS("usle");

KA=Recupere (Nome="K");

LS=Recupere (Nome="fatorLS_est_50");

PNE = Novo(Nome="PNE_50_est", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=15000);

R = 7811.05;

PNE = R*KA*LS;

}

```

// nome do programa: PNE_rd_50_ima.alg

```
//Dados:  R (número)      K      LS a partir do comprimento de rampa com terracos

//Saída:  PNE com terracos e estradas no comprimento de rampa para a imagem

{

Numerico KA, PNE, LS("usle");

KA=Recupere (Nome="K");

LS=Recupere (Nome="fatorLS_est_50_ima");

PNE = Novo(Nome="PNE_50_est_ima", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=15000);

R = 7811.05;

PNE = R*KA*LS;

}
```

//reclassificacao do PI fator_C para criação do PI fator_P

```
{

Tematico  foto, imagem ("fator_c");

Tematico  Pfoto,Pimagem ("fator_p");

Tabela          recls (Reclassificacao);

foto            = Recupere (Nome = "fator_c");

imagem          = Recupere (Nome = "clasiso5.7_semarv-tematica");

Pfoto           = New (Nome = "fator_p_ft", ResX=30,ResY=30, Escala=9000);

Pimagem        = New (Nome = "fator_p_mgm", ResX=30,ResY=30, Escala=9000);

recls           = New (Categorialni="fator_c", CategoriaFim="fator_p",

                    "n_agr","arvoredo":"morro_abaxio",  "pasto":"morro_abaxio",  "pasto_degr":"morro_abaxio",

"pomar"        : "morro_abaxio",    "pasto_batata",    "cafe_citrus":"morro_abaxio",    "solo_exposto":"morro_abaxio",

"cana","cana_sorgo":"terrace",    "cana_pousio",    "cana_tomate":"terrace",    "cana_milho",    "cana_milho_feij":"terrace",

"cana_mil_bata":"terrace", "milho", "milho_pou_feij": "nivel", "milho_pou_batata", "milho_feijao": "nivel", "milho_feijao_gir",

"milho_feijao_tom": "nivel", "milho_tomate", "crot_feij_tom": "nivel", "algodao","lavouras": "nivel",

                    "feijao", "feijao_batata" : "nivel", "cana_batata" : "terrace_morro_abaxio", "pasto_tomate" :

"morro_abaxio_contorno");

Pfoto          = Reclasse(foto, recls);

Pimagem        = Reclasse(imagem, recls);

}
```

// fator antropico a partir da foto (CPF)

```

//      nome do programa: CPF

//Dados de entrada:  PI tematico do fator C da foto (fator_c da categoria fator_c)      PI tematico do fator P
da foto (fator_p_ft da categoria fator_p)      Tabela de ponderacao do fator C      Tabela de ponderacao do fator P

//Saida:  PI numerico com fator C      PI numerico com fator P      PI numerico com CPF

{

    Tematico C ("fator_c");

    Tematico P ("fator_p");

    Numerico Ce, Pe, CPF ("usle");

    Tabela pondC, pondP (Ponderacao);

C=Recupere (Nome="fator_c");

P=Recupere (Nome="fator_p_ft");

Ce = Novo(Nome="Cfot", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1);

Pe = Novo(Nome="Pfot", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1);

CPF = Novo(Nome="CPF", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1);

pondC = Novo(Categorialni = "fator_c",

"algodao":0.4737,

"arvoredo":0.0001,

"cafe_citrus":0.1350,

"cana":0.0500,

"cana_batata":0.1040,

"cana_fei_bat_mil":0.4679,

"cana_mil_bata":0.1899,

"cana_milho":0.1065,

"cana_milho_feij":0.1855,

"cana_pousio":0.0598,

"cana_sorgo":0.0585,

"cana_tomate":0.1008,

"crot_feij_tom":0.4131,

"feijao":0.5054.

```

```

"feijao_batata":0.5118,
"lavouras":0.5000,
"milho":0.1104,
"milho_feijao":0.1415,
"milho_feijao_gir":0.1670,
"milho_feijao_tom":0.1670,
"milho_pou_batata":0.1338,
"milho_pou_feij":0.1233,
"milho_tomate":0.1670,
"n_agr":0.000,
"pasto":0.0080,
"pasto_batata":0.0856,
"pasto_degr":0.0300, "pasto_tomate":0.0792,
"pomar":0.0500,
"solo_exposto":1.0000,
"tomate":0.1152);
pondP = Novo(CategoriaIn = "fator_p",
    "terrace":0.2, "nivel":0.5, "morro_abaixo":1.0, "terrace_morro_abaixo":0.3,
    "morro_abaixo_contorno":0.9);
Ce=Pondere (C,pondC);
Pe = Pondere (P,pondP);
CPF = Ce*Pe;
}

// fator antropico a partir da foto (CPF), considerando os terr.
// nome do programa: CPF_est_50.alg
//Dados de entrada: PI numerico com fator C da foto (Cfot) PI tematico do fator P da foto (fator_p_fl
da categoria fator_p) Tabela de ponderacao do fator P
//Saida: PI numerico com fator P PI numerico com CPF
{
    Tematico P ("fator_p");
    Numerico Ce, Pe, CPF ("usle");

```

```

    Tabela pondP (Ponderacao);

    Ce=Recupere (Nome="Cfot");

    P=Recupere (Nome="fator_p_ft");

    Pe = Novo(Nome="Pfor_50", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1);

    CPF = Novo(Nome="CPF_50", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1);

    pondP = Novo(CategoriaIni = "fator_p",

    "terraco":0.5,

    "nivel":0.5,

    "morro_abaixo":1.0,

    "terraco_morro_abaixo":0.3,

    "morro_abaixo_contorno":0.9);

    Pe = Pondere (P,pondP);

    CPF = Ce*Pe;

    }

// fator antropico a partir da imagem (CPI)

// nome do programa: fator_P_terr.alg

//Dados de entrada: PI tematico do fator P da imagem ("ftr_p_mgm_recort" da categoria fator_p)
Tabela de ponderacao do fator P

//Saida: PI numerico com fator P

{

    Tematico P ("fator_p");

    Numerico Pe ("usie");

    Tabela pondP (Ponderacao);

    P=Recupere (Nome="ftr_p_mgm_recort");

    Pe = Novo(Nome="Pima_terr", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1);

    pondP = Novo(CategoriaIni = "fator_p",

    "terraco":0,

    "nivel":1,

    "morro_abaixo":1);

    Pe = Pondere (P,pondP);

```

```

}

// nome do programa: CPI_est_50.alg

//Dados de entrada: PI numerico do fator C da imagem ("Cima" da categoria usle) PI tematico do fator P
da imagem ("ftr_p_mgm_recort" da categoria fator_p) Tabela de ponderacao do fator P

encosta //Saida: PI numerico com fator P PI numerico com CPI com correção total do comprimento de

{

    Tematico P ("fator_p");

    Numerico Ce, Pe, CPI ("usle");

    Tabela pondP (Ponderacao);

    Ce=Recupere (Nome="Cima");

    P=Recupere (Nome="ftr_p_mgm_recort");

    Pe = Novo(Nome="Pima_50", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1);

    CPI = Novo(Nome="CPI_50", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=1);

    pondP = Novo(Categorialni = "fator_p",

        "terrace":0.5,

        "nivel":0.5,

        "morro_abaixo":1.0);

    Pe = Pondere (P,pondP);

    CPI = Ce*Pe;

}

// nome do programa:PRE_FOTO

//Dados: PNE CPF

//saida: A: estimativa pontual de erosao, no modelo numerico

{

    Numerico A, PNE, CPF ("usle");

    PNE=Recupere (Nome="PNE");

    CPF = Recupere (Nome = "CPF");

    A = Novo(Nome="PRE_FOT", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=18000);

    A = PNE*CPF;

}

```

// nome do programa:PRE_FOTO_50

```
//Dados: PNE CPF_50

//saida: A: estimativa pontual de erosao, no modelo numerico

{

Numerico A, PNE, CPF ("usle");

PNE=Recupere (Nome="PNE_50_est");

CPF = Recupere (Nome = "CPF_50");

A = Novo(Nome="PRE_50_FOT", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=18000);

A = PNE*CPF;

}
```

// nome do programa:PRE_IMAGEM

```
//Dados: PNE CPI

//saida: Ai: estimativa pontual de erosao, no modelo numerico

{

Numerico Ai, PNE, CPI ("usle");

PNE=Recupere (Nome="PNE");

CPI = Recupere (Nome = "CPI");

Ai = Novo(Nome="PRE_IMA", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=100000);

Ai = PNE*CPI;

}
```

// nome do programa:PRE_IMA_50

```
//Dados: PNE CPI_50

//saida: Ai: estimativa pontual de erosao, no modelo numerico com correção para estradas
PRE_IMA: modelo tematico das Perdas Relativas por Erosao : fatiamento de A

{

Numerico Ai, PNE, CPI ("usle");

PNE=Recupere (Nome="PNE_50_est_ima");

CPI = Recupere (Nome = "CPI_50");

Ai = Novo(Nome="PRE_50_IMA", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=18000);

Ai = PNE*CPI;
```

```

}

// nome do programa: IC.alg

PRE_50_IMAGEM //Dados de entrada: Grade de PRE_FOTO e PRE_50_FOTO Grade de PRE_IMAGEM e
Grade PTS

//Saida: Grade do indice de criticidade da foto sem e com terraco (ICF e ICF50) Grade do indice de
criticidade da imagem sem e com terraco (ICI e ICI50)

{
Numerico AF, AI, AF50, AI50, T, ICF, ICI, ICF50, ICI50 ("usie");

AF = Recuperar (Nome="PRE_FOT");

AI = Recuperar (Nome="PRE_IMA");

AF50 = Recuperar (Nome="PRE_50_FOT");

AI50 = Recuperar (Nome="PRE_50_IMA");

T = Recuperar (Nome="PTS");

ICF = Novo(Nome="ICF", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=2000);

ICI = Novo(Nome="ICI", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=2000);

ICF50 = Novo(Nome="ICF_50", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=2000);

ICI50 = Novo(Nome="ICI_50", ResX=30,ResY=30, Escala=9000, Min=0, Max=2000);

ICF = AF/T;

ICI = AI/T;

ICF50 = AF50/T;

ICI50 = AI50/T;

}

```

//nome do programa: mascaraPNE50ima.alg

```

//Cortar PI tematico do PNE da imagem, usando a
//erodibilidade como mascara

{
Tematico PNE1 ("PRE_50");

Tematico mascara("fator_R");

Tematico Area("PRE_50");

PNE1=Recuperar(Nome="PNE_50_est_ima_tematico");

mascara=Recuperar(Nome="FATOR_R");
}

```

```

Arec=Novo(Nome="PNE_50_ima_recort", ResX=30, ResY=30, Escala=9000);
Arec=Atribua(CategoriaFim="PRE_50")
{
"0_50" : (PNE1.Classe=="0_50" && mascara.Classe=="erosividade"),
"50_100" : (PNE1.Classe=="50_100" && mascara.Classe=="erosividade"),
"100_200" : (PNE1.Classe=="100_200" && mascara.Classe=="erosividade"),
"200_400" : (PNE1.Classe=="200_400" && mascara.Classe=="erosividade"),
"400_800" : (PNE1.Classe=="400_800" && mascara.Classe=="erosividade"),
"800_1600" : (PNE1.Classe=="800_1600" && mascara.Classe=="erosividade"),
"1600_3200" : (PNE1.Classe=="1600_3200" && mascara.Classe=="erosividade"),
"3200_6400" : (PNE1.Classe=="3200_6400" && mascara.Classe=="erosividade"),
"6400_18000" : (PNE1.Classe=="6400_18000" && mascara.Classe=="erosividade")
);
}

```

OBS.: Este último programa de máscara foi usado para todos os Pls em questão, mudando apenas os nomes das classe a serem cruzadas.