

O USO DE SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS NO MAPEAMENTO DE USO DA TERRA E EROÇÃO DO SOLO

Sergio dos Anjos Ferreira Pinto

Magda A Lombardo

UNESP

Instituto de Geociências e Ciências Exatas

Av. 24 A, n. 1515, CEP13506-900 Rio Claro – SP

e-mail – sanjos@rc.unesp.br

RESUMO

As técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas (SIG) tem sido utilizadas de forma conjugada em estudos dos recursos terrestres, com especial atenção para o monitoramento das atividades antrópicas e seus impactos ambientais. Neste contexto o presente trabalho foi desenvolvido tendo como objetivo caracterizar indicadores da erosão do solo (potencial natural e predisposição aos riscos erosivos) associados ao uso agrícola das terras, em uma bacia hidrográfica de pequeno porte. Foram analisados dois cenários (1972 e 1995), cujos dados foram, respectivamente, obtidos e integrados através das técnicas de Sensoriamento Remoto e SIG e com o suporte de um modelo predictivo (Modificação da Equação Universal de Perdas de Solos – MEUPS). No lapso de tempo selecionado, observou-se que as modificações de uso da terra foram significativas, principalmente com o incremento dos cultivos de cana de açúcar e citricultura de 1972 para 1995. As alterações temporais e espaciais observadas nos indicadores potencial e predisposição a riscos de erosão do solo (modelo MEUPS), convergem com as modificações de uso da terra e cobertura vegetal impostas pela pressão da intervenção antrópica, indicando um quadro mais restritivo para o cenário 1995, face as condições do meio físico da área analisada.

ABSTRACT

Remote Sensing data and Geographic Information Systems (GIS) technologies have been used for land resource studies and land use/land cover mapping and monitoring in the Southeastern of Brazil. In this study those technologies were applied for land use change and soil erosion potential analysis. The study area selected is the Ribeirão Claro Valley, a small - watershed in central São Paulo state (SE of Brazil). This watershed is characterized by geographical differences in terms of topographic conditions soil types and human activities.

Two moments were selected (1972 and 1995) for land use and soil erosion potential change detection. The land use/land cover maps were obtained from aerial photographs (1972) and digital Landsat-TM data (1995). From Modified USLE-MUSLE model the soil erosion potential were characterized for the two scenarios and the data were integrated using Geographic Information Systems

The temporal analysis indicated that situation of 1995 was more disturbed than 1972 due to the intensity of the antropic activities with the increase of agricultural land use (expansion of sugar-cane and citrus crops).

1 - INTRODUÇÃO

A intensificação do uso da terra, especialmente em termos de atividades agrícolas, em geral provoca a eliminação da cobertura vegetal natural e promove o desencadeamento de processos de erosão acelerada dos solos. Este cenário vem ocorrendo em larga escala no Brasil e em particular em sua região sudeste, onde a erosão hídrica de superfície promovida pelas chuvas (escoamento superficial - runoff), remove as camadas superficiais dos solos, resultando na diminuição da produtividade agrícola das terras.

A indicação de áreas potenciais de fornecimento de material do volume pedológico, com

base no runoff, pode ser realizada com apoio de modelos matemático-estatísticos que apresentam, em seus termos de formulação, o envolvimento de variáveis do meio físico e do meio antrópico.

A caracterização e espacialização do potencial e predisposição aos riscos à erosão dos solos, devido à ação hídrica de superfície, pode ser conduzida utilizando tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas SIG – (Goodchild et al, 1992) que possibilitam à aquisição, manipulação, integração e espacialização dos dados. A lógica da integração dos dados no ambiente SIG, pode ser conduzida, por exemplo, com a utilização de modelos predictivos, como é o caso da EUPS - Equação

Universal de Perdas de Solos (Universal Soil Loss Equation - USLE, Wischmeier e Smith, 1978), e sua versão modificada MEUPS (Modified USLE - MUSLE), conforme Williams (1975).

No Brasil alguns trabalhos já tem sido desenvolvidos, aplicando o modelo MEUPS, exemplificando-se aqueles divulgados por Donzeli et al (1994), e Pinto (1996). Referencia-se também como apoio metodológico a esse trabalho as publicações de Pinto, (1991) e Donzeli et al. (1992).

Neste contexto, o presente trabalho foi desenvolvido tendo como objetivo caracterizar as modificações de uso da terra e de potencial e riscos de erosão do solo em uma bacia hidrográfica de pequeno porte, utilizando sensoriamento remoto, SIG e com apoio de um modelo predictivo (MEUPS), para dois cenários selecionados (1972 e 1995).

2 – METODOLOGIA

Área de estudo

Área de estudo refere-se à bacia do Ribeirão Claro, na região de Rio Claro, porção centro-leste do território paulista ($22^{\circ}10'$ a $22^{\circ}30'$ latitude sul e $47^{\circ}35'$ a $47^{\circ}40'$ longitude oeste de Greenwich), com área aproximada de 27430 há (Figura 1).

Com referência às condições geológicas, a bacia encontra-se disposta sobre litologias mesozóicas:

arenitos das Formações Corumbataí, Botucatu, e Rio Claro (arenito cenozóico) e ocorrências de eruptivas básicas cretácicas da Formação Serra Geral (Cottas, 1983).

As feições morfológicas desenvolvidas sobre estas litologias são caracterizadas por dominância de vertentes amplas e suavizadas (em geral com declividades inferiores a 6%) no setor central da bacia, onde predomina exposição de materiais da Formação Rio Claro. Estas vertentes amplas constituem uma superfície de aplainamento identificada por Penteadó (1976) e denominada de Superfície Rio Claro.

Por sua vez, o alto curso apresenta vertentes mais dissecadas, com declividades alcançando 20% a 40%, enquanto o médio e baixo cursos são constituídos de colinas suavizadas convexo-côncavas e terrenos planos de várzeas relativamente bem desenvolvidas.

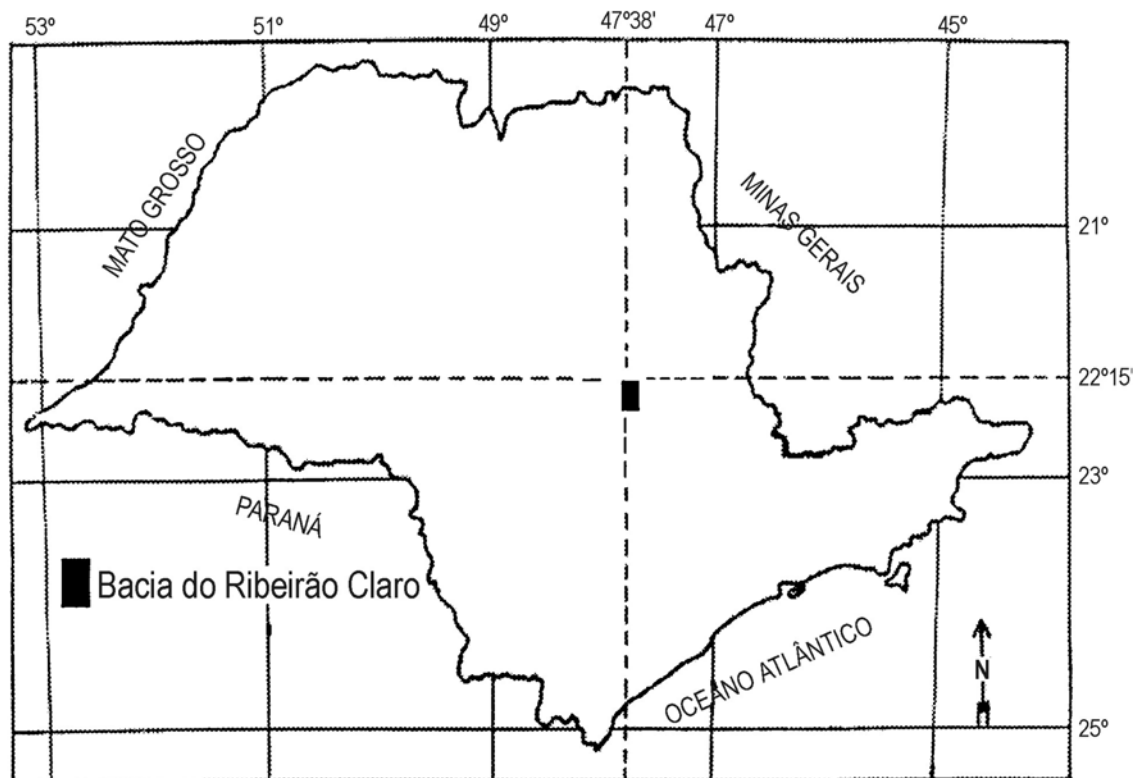


Figura 1 – Localização Esquemática da Área de Estudo

Associadas à estas condições geológico-geomorfológicas, na bacia ocorrem solos do tipo Areias

Quartzosas (alto curso - nos topos, com materiais da Formação Botucatu) e podzólicos vermelho amarelos

(PV abruptos) nas vertentes mais dissecadas. No médio e baixo cursos (vertentes mais suaves) predominam os latossolos (LV e LR) e, presença de podzólicos vermelho amarelos não abruptos (PV). Nas várzeas há ocorrência de hidromórficos (Prado et al. 1981).

Quanto aos aspectos climáticos, a bacia em estudo se insere nas condições do sudeste brasileiro apresentando características climáticas do tipo tropical, onde as chuvas se concentram no período do verão (novembro a março) e com estação seca definida no período de julho a setembro (Monteiro, 1966).

Dadas as condições favoráveis de seu meio físico e localização geográfica privilegiada, esta área vem sendo submetida a intenso processo de ocupação antrópica nas últimas décadas, com a dominância da cana de açúcar, reflorestamento (eucaliptos) e áreas ocupadas com citros. As culturas anuais que eram expressivas na década de 60, tem sido substituídas especialmente pelo cultivo de cana (Matias, 1989).

Abordagem Metodológica

Foram utilizados os seguintes materiais: cartas topográficas (1:50.000) e mapas temáticos (solo e geologia); fotos aéreas (1972, 1:25.000), imagens digitais TM/Landsat (bandas 3, 4 e 5) de 05/07/95, HRV/SPOT pancromática de 21/08/95, Sistema SPRING/INPE, impressora a cores; mesa digitalizadora e estereoscópio.

Para a aquisição de dados da ocupação antrópica do cenário 1995, utilizou-se imagens digitais TM/Landsat e pancromática do HRV/SPOT, que foram submetidas a processamento através das opções de tratamento de imagens do sistema SPRING-INPE.

O procedimento foi inicializado com a aplicação do registro das imagens e com a base cartográfica 1:50.000 para georeferenciamento das imagens. Na sequência foram aplicadas opções de realçamento, sendo utilizada a ampliação linear de contraste e transformação IHS para manipulação dos atributos das cores, conforme sugerido por Haydn et al (1982), Jensen (1986) e Pinto (1991). A aplicação da opção IHS foi importante também para a obtenção de imagens híbridas, pela fusão de imagens TM e pancromática SPOT (Chavez Jr. et al, 1991) e Pinto (1991).

A imagem híbrida resultante foi submetida a análise interpretativa em termos de uso da terra considerando-se as seguintes classes: culturas anuais, cana de açúcar, citro, pasto, reflorestamento (eucaliptos), mata residual (floresta tropical semi-decídua), campo cerrado, e área urbanizada. A partir de dados de apoio de campo, foi gerado um overlay temático, ajustado à base cartográfica (escala 1:50.000).

Por sua vez as fotografias aéreas (1972) foram analisadas considerando-se as mesmas categorias de uso da terra para a interpretação das imagens orbitais. Estas informações de uso da terra (1972 e 1995) foram introduzidas em ambiente SIG via mesa digitalizadora.

Para a caracterização dos indicadores da erosão do solo, utilizou-se o modelo MEUPS envolvendo dados de elementos do meio físico e da ocupação antrópica, conforme indicado a seguir:

$S = R_{\text{runoff}} K.L.S.C.P.$ (Williams, 1975), onde:

S = perda relativa de solos (t/ha); R_{runoff} = runoff (m^3/s); K = erodibilidade dos solos (t/ha); L = extensão das vertentes (m); S = declividade (%); C = cobertura vegetal/uso e manejo (adimensional); P = práticas conservacionistas (adimensional).

No contexto da formulação da MEUPS, foram levantados os seguintes dados: erodibilidade dos solos ajustada conforme Donzeli et al (1992), extensão de vertentes e declividade obtidos a partir da base topográfica e dados do fator C para os cenários 1972 e 1995 (derivados dos respectivos mapas de uso da terra conforme Donzeli et al, 1992). Para o fator P aplicou-se extensivamente o valor 1,0 (ausência de práticas conservacionistas). O termo runoff foi utilizado conforme indicado em Donzeli et al (1994): $R_{\text{runoff}} = 89,6 (Q.qp)^{0,56}$, onde: Q = volume do escoamento superficial (m^3); qp = vazão pico do escoamento (m^3/s). O termo Q foi caracterizado conforme indicado pelo Soil Conservation Service (USDA-SCS, 1972) através do estabelecimento de valores de Curva Número (CN), que incluem dados de uso da terra/cobertura vegetal e grupos hidrológicos de solos. Para o termo qp aplicou-se a formulação: $qp = 0,278 (Cx). I.A^{0,9}$. utilizado em Pinto (1996), considerando intensidade de chuva de 105mm para 24 horas conforme série de dados pluviométricos disponíveis.

As informações referentes aos termos do modelo foram integradas no SIG obtendo-se os indicadores potencial de erosão (PE), envolvendo dados de runoff, erodibilidade dos solos, declividade e extensão de vertentes, e a predisposição aos riscos de erosão (RE) associando o uso da terra (valores do fator C da EUPS) e potencial de erosão (PE) para os dois cenários selecionados. Foram obtidos mapas temáticos dos indicadores de erosão do solo (PE e RE), conforme aqueles dois cenários.

3 - RESULTADOS

Através da análise interpretativa das fotos aéreas (1972) e das imagens híbridas, TM/Landsat sobreposta à PAN/SPOT (1995), foram obtidos respectivos mapas de uso da terra. A associação dos

métodos de realçamento de contraste e rotação espectral (IHS) produziram imagens com alto contraste e com bom desempenho para a identificação das classes de uso da terra.

A análise dos dados de uso da terra revelaram uma intensificação do antropismo na área de estudo entre os cenários de 1972 e 1995. Conforme os dados levantados, a bacia do Ribeirão Claro já apresentava forte ocupação agrícola em 1972, que se intensificou em 1995. A tabela 1 ilustra os dados (área e percentual) de uso da terra para as duas datas selecionadas.

Com referência às modificações observadas pode se exemplificar as áreas de campo cerrado e florestas residuais que tiveram suas áreas significativamente reduzidas entre os dois cenários analisados. A intensificação agrícola se reflete no aumento das áreas de cultivo de cana de açúcar (de 14,86% em 1972 para 30,65% em 1995) e a expansão da citricultura para aquele período (de 3,44% para 7,85%).

Por sua vez o indicador potencial de erosão (PE) foi obtido através do modelo MEUPS e com o suporte do SIG. Os valores obtidos foram agrupados em 4 classes qualitativas (fraco, médio, forte e muito forte), cuja distribuição espacial pode ser observada nos mapas dos cenários 1972 e 1995 (Figuras 2 e 3).

A tabela 2 ilustra os percentuais de ocorrência em área das classes de PE, indicando as variações conforme os cenários.

Através desta tabela observa-se aumento da ocorrência das categorias mais restritivas de potencial de erosão, as quais estão também estreitamente vinculadas aos setores da bacia em que, especialmente os elementos declividade e solos (erodibilidade) apresentam valores mais fortes.

Por sua vez a predisposição aos riscos de erosão (RE), é resultado da associação dos dados de potencial de erosão e do fator C da EUPS.

A dinâmica temporal do uso da terra mostra a intensificação da pressão de uso da terra de 1972 para 1995, condicionando os dados de predisposição a riscos de erosão. A distribuição espacial desses dados podem ser observados nos mapas das figuras 4 e 5, cujos valores foram também agrupados em 4 categorias: fraco, médio, forte e muito forte. A tabela 3 ilustra as ocorrências, em área, daquelas categorias.

Através da tabela 3 observa-se um decréscimo das classes de RE fraco e médio de 1972 para 1995, por outro lado verifica-se um significativo aumento das categorias mais restritivas, especialmente a classe muito forte (de 1,9% em 1972 para 16,7% em 1995). Esta variação está associada à expansão das atividades agrícolas, em particular à ampliação das áreas de cultivo na cana de açúcar e da citricultura, em detrimento de coberturas vegetais mais protetoras do solo (campo cerrado, matas residuais e reflorestamento/eucaliptos).

Tabela 1 – Ocorrência das classes de uso da terra e cobertura vegetal – 1972 e 1995.

Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	1972		1995	
	Área (ha)	Área (%)	Área (há)	Área (%)
Culturas Anuais	1.963,0	7,15	938,0	3,42
Citros	944,5	3,44	2.154,0	7,85
Cana de Açúcar	4.074,0	14,86	8.405,5	30,65
Pastagem	13.389,0	48,81	10.123,5	36,91
Reflorestamento (eucaliptos)	3.386,5	12,36	2.448,5	8,93
Campo Cerrado	547,0	1,99	313,0	1,14
Floresta Residual	2.058,0	7,50	1.250,0	4,56
Áreas Urbanizadas	1.068,0	3,89	1.797,5	6,54
Total	27.430,0	100,00	27.430,0	100,00

Tabela 2 - Ocorrência das classes de potencial de erosão (PE) para 1972 e 1995

CENÁRIOS	1972	1995
CLASSES DE PE	(%)	(%)
Fraco	55,6	44,4
Médio	37,0	43,3
Forte	3,7	4,8
Muito Forte	3,7	7,5

Tabela 3 - Ocorrência das classes de predisposição a riscos de erosão (RE): 1972 e 1995.

CENÁRIOS	1972	1995
CLASSES DE RE	(%)	(%)
Fraco	54,8	48,5
Médio	39,6	26,6
Forte	3,7	8,2
Muito Forte	1,9	16,7

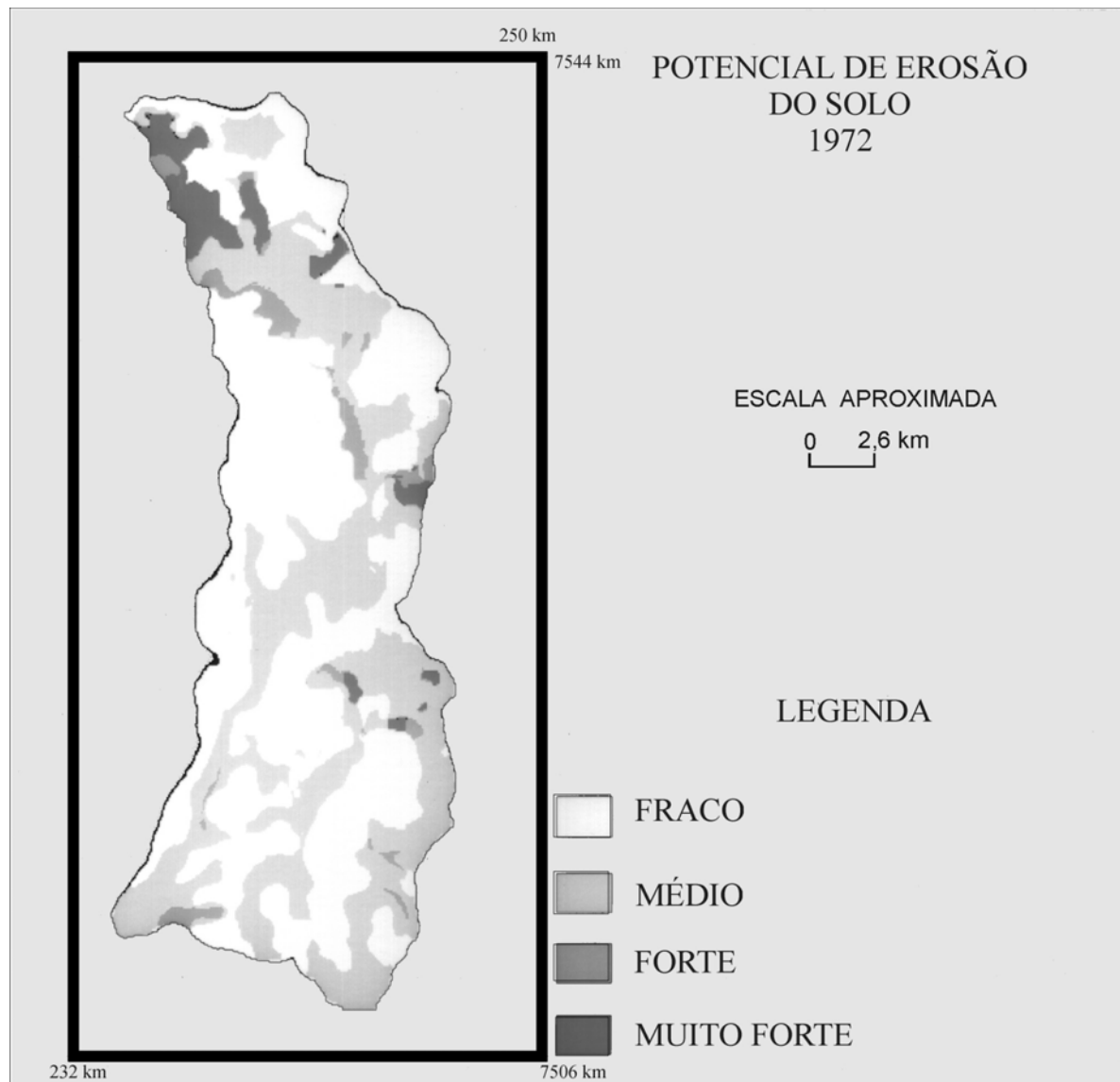


Figura 2 – Potencial de Erosão do Solo - 1972



Figura 3 – Potencial de Erosão do Solo - 1995

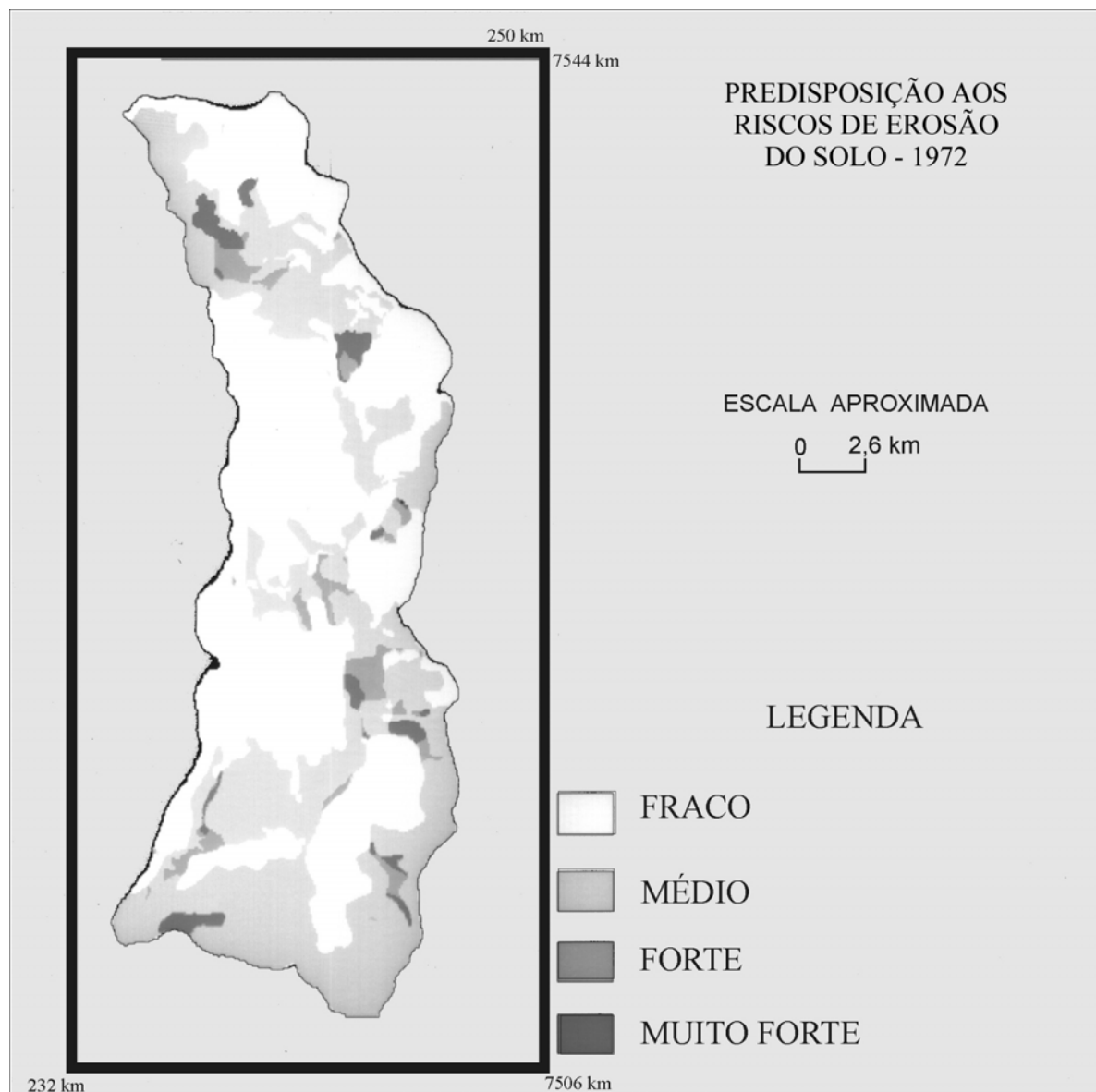


Figura 4 – Predisposição aos Riscos de Erosão do Solo - 1972

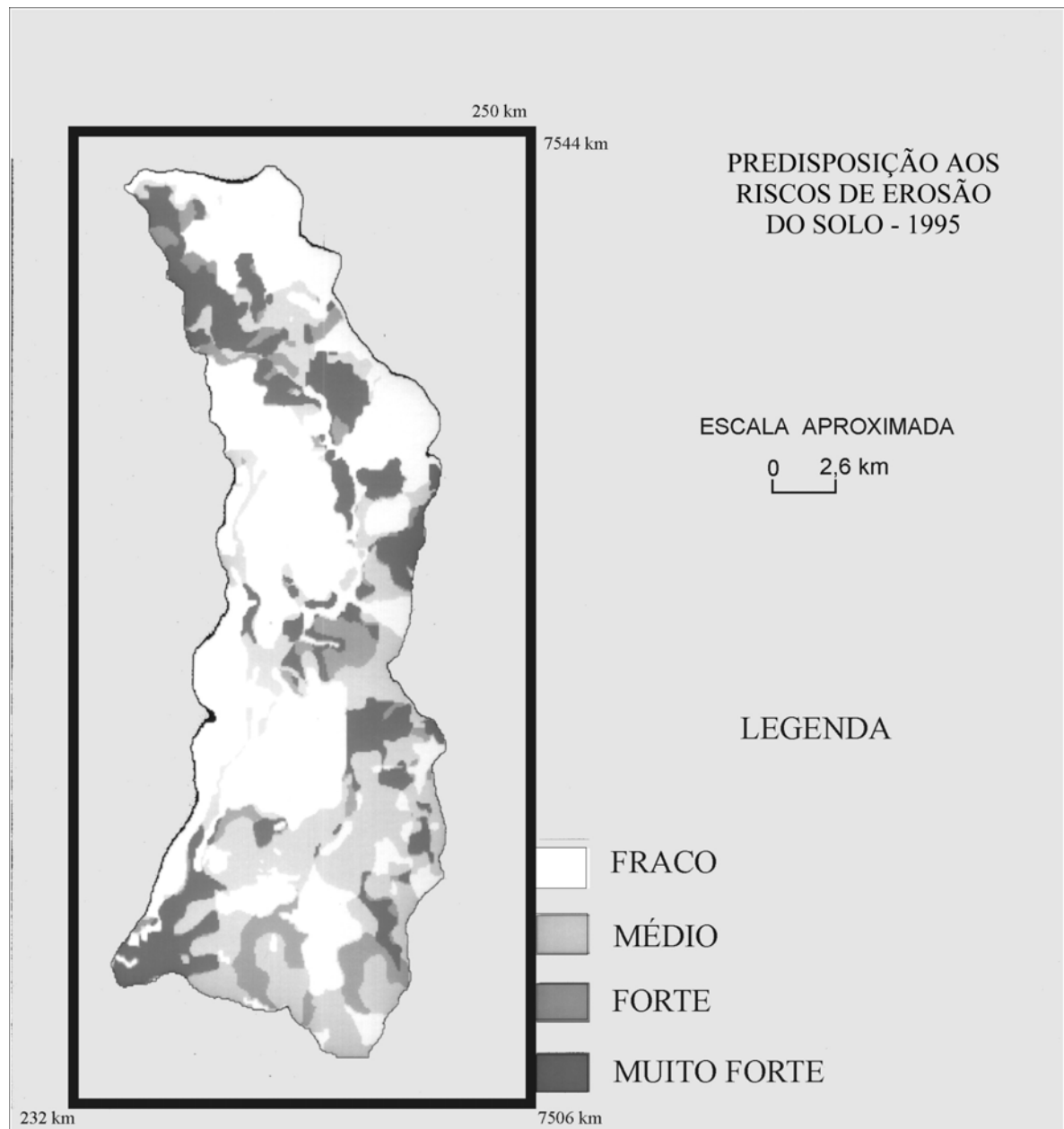


Figura 5 – Predisposição aos Riscos de Erosão do Solo - 1995

4 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi apresentada abordagem metodológica que enfocou a utilização de imagens digitais TM/Landsat e HRV/SPOT-PAN, definindo-se a transformação IHS como um aplicativo para obtenção de imagem híbrida que resultou em produto que se mostrou altamente informativo para caracterização das classes de uso da terra.

Com base na análise dos produtos temáticos de uso da terra e cobertura vegetal gerados para 1972 e 1995, observou-se que a bacia de estudo foi submetida à intensificação da intervenção antrópica. Ressalta-se aqui a presença de expressiva área de vegetação natural de cerrado e floresta no cenário de 1972, que foram

fortemente reduzidas na situação de 1995 por ocupação preferencial de cultivos de cana-de-açúcar e citros.

As alterações temporais e espaciais observadas nos indicadores potencial e predisposição a riscos de erosão do solo, obtidos através do modelo MEUPS, convergem com referência aos quadros de modificações de uso da terra e cobertura vegetal impostas pela pressão de intervenção antrópica. Através desta análise observou-se o aumento da ocorrência das classes mais restritivas de potencial e riscos erosão para o cenário 1995, face as características do meio físico presentes na área de estudo.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Chavez Jr., P. S.; Sides, S. C.; Anderson, J. ^a - Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat/TM and SPOT Panchromatic. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(3):295-303, 1991.
- Cottas, L.R. Estudo geológico-geotécnico aplicado ao planejamento urbano de Rio Claro. Tese de doutoramento. São Paulo, Universidade de São Paulo, 1983.
- Donzeli, P.L.; Valério Filho, M.; Pinto, S.A.F.; Nogueira, F.P.; Rotta, C.L.; Lombardi Neto, F. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. *Documentos IAC*, 29:91-119, 1992.
- Donzeli, P.L.; Pinto, S.A.F.; Lombardi Neto, F.; Valério Filho, M.; Valeriano, M.M. Modelo MUSLE e sistemas de informações geográficas aplicados ao estudo de pequenas bacias hidrográficas. Trabalho apresentado na X Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água (Florianópolis-SC). Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Resumos, p.140, 1994.
- Goodchild, M.F.; Haining, R.; Wise, S. – Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities *International Journal of GIS*, 6(5):407-423, 1992.
- Haydn, R.; Dalke, G.N.; Henkel, J.; Bare, J.E. Application of the IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement. In: *International Symposium on Remote Sensing of Environment. First Thematic Conference. "Remote Sensing of Arid and Semi-Arid lands"*. Proceedings, v.1, Cairo, Egypt, p.599-616, 1982.
- Jensen, J. R. – *Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective*. Prentice-Hall Inc., Englewood, Cliffs, New Jersey, 1986.
- Matias, L.F. Transformações no uso do solo urbano e rural no município de Rio Claro, 1962 a 1986. Rio Claro, IGCE/UNESP, 1989.
- Monteiro, C.A.F. A frente polar Atlântica e as chuvas de inverno na faixa sul-oriental do Brasil. São Paulo, Instituto de Geografia, USP, 1966.
- Penteado, M.M. Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista. São Paulo, USP, Instituto de Geografia, série Teses e Monografias, 22, 1976.
- Pinto, S.A.F. Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão do solo: contribuição metodológica. Tese de doutoramento. São Paulo, USP, 1991.
- Pinto, S.A.F. Contribuição metodológica para análise de indicadores da erosão do solo utilizando técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e modelo predictivo. Tese de Livre-Docência. Rio Claro, IGCE, UNESP. 1996.
- Prado, H.; Oliveira, J.B.; Almeida, C.L. Levantamento pedológico semi-detalhado do Estado de São Paulo - Quadrícula de São Carlos. Campinas, IAC, 1981.

Williams, J.R. Sediment yield prediction with universal equation using runoff energy factor. In: *Present and perspective technology for predicting sediment yields and sources*. USDA-ARS Handbook - S 40, 1975, p.244-252.

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. – *Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning*. Agriculture handbook 537, USDA. Washington (DC), 1978, 58 p.