

# APLICAÇÃO DE ÍNDICE COMPARATIVO NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE DEGRADAÇÃO DAS TERRAS<sup>(1)</sup>

S. B. L. RANIERI<sup>(2)</sup>, G. SPAROVEK<sup>(3)</sup>,  
M. P. SOUZA<sup>(4)</sup> & D. DOURADO NETO<sup>(5)</sup>

## RESUMO

A determinação do risco de degradação das terras em uma microbacia hidrográfica constitui importante subsídio para o planejamento agrícola e ambiental. A tendência atual é que as informações necessárias para a avaliação das terras sejam compatíveis com técnicas de geoprocessamento e tratadas de forma menos subjetiva. Todavia, critérios ou parâmetros que avaliem quantitativamente o risco de degradação das terras e que sejam compatíveis com a escala de microbacia hidrográfica e aplicáveis por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG<sub>s</sub>) ainda precisam ser mais bem definidos. O objetivo deste trabalho, realizado no segundo semestre de 1996, foi elaborar um método de avaliação comparativa do risco de degradação das terras na bacia hidrográfica dos Marins (Piracicaba, SP), sob diferentes cenários de uso, utilizando SIG. Os mapas de risco de degradação foram gerados com base em matrizes de decisão para os seguintes cenários de uso: (a) sem cobertura vegetal; (b) uso atual da terra; (c) uso único; (d) uso redistribuído; (e) uso planejado. Os resultados foram comparados por um índice denominado "Índice Ponderado de Risco de Degradação (IP<sub>D</sub>)". Por meio desse índice foi possível comparar quantitativamente o risco de degradação para os cenários de uso propostos. Os resultados mostraram que a tentativa de alterar apenas a distribuição espacial dos usos da terra não foi suficiente para diminuir o risco de degradação final da área, caracterizando, assim, a superutilização das terras da microbacia. Para diminuir os impactos causados por essa superutilização, faz-se necessária a definição de critérios de restrição de ocupação que conciliem áreas de maior suscetibilidade à erosão com usos que ofereçam maior proteção ao solo, levando à diminuição da área ocupada com culturas anuais e semiperenes.

**Termos de indexação:** planejamento do uso da terra, erosão, degradação das terras, impacto ambiental, geoprocessamento, bacia hidrográfica.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor. Recebido para publicação em fevereiro de 1997 e aprovado em agosto de 1998.

<sup>(2)</sup> Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental pelo Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA/USP). Av. Dr. Carlos Botelho 1465, Caixa Postal 359, CEP 13560-250 São Carlos (SP). E-mail: sblranie@carpa.ciagri.usp.br

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Ciência do Solo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Av. Pádua Dias 11, CEP 13418-900 Piracicaba (SP). E-mail: gsparove@carpa.ciagri.usp.br

<sup>(4)</sup> Professor do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA/USP). E-mail MPS@vmcisc.sc.usp.br

<sup>(5)</sup> Professor do Departamento de Agricultura, ESALQ/USP. E-mail: dourado@carpa.ciagri.usp.br

**SUMMARY:** *APPLICATION OF A COMPARATIVE INDEX IN EVALUATION OF LAND DEGRADATION RISK*

*The determination of land degradation risk in a watershed is an important factor in environmental and agricultural land-use planning. The current trend is to analyze the necessary information for land evaluation in a less subjective way and compatible with geoprocessing techniques. However, criteria and parameters used to quantitatively evaluate the land degradation risk at the watershed scale and based on Geographic Information Systems (GIS) still need to be better defined. The objective of this study, conducted in the second semester of 1996, was to elaborate a comparative evaluation method of land degradation risk in the Marins watershed (Piracicaba, state of São Paulo, Brazil), considering different land-use scenarios, using GIS. The degradation risk maps were obtained from decision matrices for the followings scenarios: (a) no vegetation cover; (b) current land-use; (c) single land-use; (d) reallocated land-use; (e) planned use. The results were compared by an index called "Weighted Degradation Risk Index ( $IP_D$ )". This index allowed quantitative comparison of land degradation risk for the land use scenarios proposed. The results showed that the change in the spatial allocation of land-use was not enough to decrease the land degradation risk, indicating an over-use of the watershed. In order to avoid the impacts caused by this over-use, restrictions on land occupation are necessary. Areas with high erosion susceptibility should be occupied with uses offering better soil protection, resulting in a decrease in the area occupied with annual and semi-perennial crops.*

*Index terms: land use planning, erosion, land degradation, environmental impacts, geoprocessing watershed.*

**INTRODUÇÃO**

A bacia hidrográfica é a unidade ecossistêmica e morfológica que integra os impactos das interferências antrópicas sobre os recursos hídricos (Jenkins et al., 1994). Um dos principais fatores condicionantes desses impactos é a ocupação agrícola acima da capacidade de suporte das terras, levando à sua contínua degradação. Um dos principais processos associados à degradação das terras é a própria degradação dos solos (Lal, 1997), definida como a perda da capacidade produtiva e da utilidade atual ou potencial dos mesmos (Blum, 1997). Os processos relacionados com a degradação do solo são: erosão, compactação, acidificação, salinização, esgotamento de nutrientes, exaustão do solo e diminuição do carbono orgânico e da biodiversidade. Tais processos podem afetar outros componentes do meio físico, como clima, vegetação e água, caracterizando, assim, a degradação das terras (Lal, 1997).

Neste contexto, a erosão acelerada dos solos coloca-se como um dos principais desencadeadores da degradação de terras e um dos maiores impactos causados pela atividade agrícola, uma vez que contribui para a diminuição do potencial produtivo dos solos, bem como para o assoreamento e decréscimo da qualidade dos recursos hídricos (Lal, 1988). O planejamento do uso das terras é uma etapa

essencial para a minimização dos impactos causados pela erosão do solo. A tendência atual é que as informações necessárias para a avaliação das terras sejam compatíveis com técnicas de geoprocessamento e tratadas de forma mais objetiva (Diepen et al., 1991). Exemplos da utilização de geoprocessamento associado a planejamento podem ser vistos em Lima et al. (1992), em Formaggio et al. (1992) e em Lopes Assad (1995). Uma descrição mais detalhada dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG<sub>s</sub>) para a geração, integração e manipulação de mapas, visando ao planejamento agrícola e ambiental, pode ser vista em Câmara (1993). As vantagens do uso desses sistemas estão relacionadas com a dinâmica e flexibilidade na manipulação de informações codificadas espacialmente, associando-as a bancos de dados (Star & Estes, 1990). Outra potencialidade é a possibilidade de simulação de cenários com extrema rapidez, permitindo a comparação do risco de degradação das terras sob condições de uso distintos em tempo real. No entanto, ainda há carência de critérios que permitam a avaliação quantitativa do risco de degradação das terras compatíveis com a escala de microbacia hidrográfica e aplicáveis por meio dos SIG<sub>s</sub>.

O objetivo deste trabalho foi elaborar um método de avaliação comparativa do risco de degradação das terras numa microbacia hidrográfica sob diferentes cenários de uso, utilizando SIG.

**MATERIAL E MÉTODOS**

**Proposta do método**

O método proposto necessita da elaboração prévia de mapas nos quais o potencial de degradação das terras seja apresentado em classes e de forma hierarquizada. Como parte do método foi adotado um índice que varia de zero a cem, representando zero o menor e cem o maior risco de degradação. Tal índice foi denominado “Índice Ponderado de Risco de Degradação (IP<sub>D</sub>)”, expresso pela equação:

$$IP_D = \frac{\sum_{i=1}^n b_i (F_i - F_{min})}{F_{max} - F_{min}} \times 100 \quad (1)$$

em que

IP<sub>D</sub>: risco de degradação (0 ≤ IP<sub>D</sub> ≤ 100);

F<sub>i</sub>: fator de risco de degradação (adimensional) referente à i-ésima área;

F<sub>min</sub>: menor valor de F<sub>i</sub>;

F<sub>max</sub>: maior valor de F<sub>i</sub>;

b<sub>i</sub>: i-ésima área relativa (adimensional), assim calculada;

$$b_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

n: número de classes de risco de degradação;

A<sub>i</sub>: área ocupada com cada fator de risco de degradação.

Restrições: 1) n ∈ N/n > 1; 2)  $\sum_{i=1}^n b_i = 1$

Como exemplo de aplicação do método, foram avaliadas as alterações no risco de degradação das terras da microbacia hidrográfica dos Marins decorrentes da mudança de cenários de uso.

**Caracterização da área de estudo**

A área de estudo foi a microbacia hidrográfica dos Marins (MHM), localizada no município de Piracicaba (SP), inserta na Bacia do Rio Piracicaba, com uma área de 5.907 ha (Ranieri, 1996). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo mesotérmico, Cwa, isto é, subtropical úmido com estiagem no inverno, cujas chuvas do mês mais seco não atingem 30 mm, e a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C, enquanto a do mês mais frio é inferior a 18°C.

As unidades de mapeamento de solos encontradas na microbacia, bem como suas áreas totais e relativas, encontram-se no quadro 1. A grande

presença de solos rasos ou pouco profundos (Solos Litólicos, Cambissolos e Podzólicos) e a transição abrupta entre o horizonte superficial e o subsuperficial ou a presença de horizonte superficial de textura arenosa revelam a alta suscetibilidade à erosão das terras da microbacia.

No quadro 2, são encontradas as áreas totais e relativas das classes de declividade da MHM. Na área, predomina o relevo suave ondulado a ondulado, com declividades entre 5 e 20%.

Em relação ao uso dessas terras, verifica-se a ocorrência de boa parte da produção hortícola do município de Piracicaba, bem como a grande pressão de ocupação com cana-de-açúcar por causa da proximidade de usinas canavieiras. Os trechos de mata ciliar não são contínuos e localizam-se principalmente na região do baixo Marins. A presença de cana-de-açúcar e a ocupação com culturas anuais fazem com que essa área tenha grande movimentação de terra durante o ano, deixando o solo bastante suscetível ao processo erosivo.

**Quadro 1. Áreas totais e relativas das unidades de mapeamento de solos da microbacia hidrográfica dos Marins**

Unidade de mapeamento	Área total	Área relativa
	ha	%
TR	75,92	1,29
PV1 + C1 + R3	240,04	4,06
PV4	586,16	9,92
PV3	136,40	2,31
R2	120,48	2,04
PV2	499,20	8,45
R3	2.026,12	34,30
C1 + R3 + PV1	1.030,76	17,45
PV5	625,44	10,59
LV	58,84	1,00
R1	163,60	2,77
C2	83,16	1,40
PE	61,40	1,04
Área urbana	199,48	3,38
Total	5.907,00	100,00

Fonte: Teramoto (1995): PV1- Podzólico Vermelho-Amarelo indiscriminado pouco profundo, substrato siltito e folhelho da formação Corumbataí; PV2 - Podzólico Vermelho-Amarelo álico ou distrófico Ta ou Tb A moderado textura média/argilosa; PV3 - Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/argilosa, abrupto; PV4 - Podzólico Vermelho-Amarelo textura arenosa/média; PV5 - Podzólico Vermelho-Amarelo textura média/argilosa; R1- Solo Litólico textura arenosa; R2 - Solo Litólico textura média; R3 - Solo Litólico álico ou distrófico Ta ou Tb A moderado textura argilosa substrato siltito da formação Corumbataí; C1 - Cambissolos indiscriminados, substrato siltitos e folhelho da formação Corumbataí; C2 - Cambissolos textura média; PE - Podzólico Vermelho-Escuro textura argilosa ou argilosa/muito argilosa; LV - Latossolo Vermelho-Amarelo álico ou distrófico A moderado textura média; TR - Terra Roxa Estruturada eutrófica textura argilosa ou muito argilosa.

**Quadro 2. Áreas totais e relativas das classes de declividade na microbacia hidrográfica dos Marins**

Classe de declividade	Área total	Área relativa
%	ha	%
0-2	267,04	4,52
2-5	891,16	15,08
5-10	2.459,16	41,63
10-20	2.007,16	33,98
> 20	83,00	1,41
Área urbana	199,48	3,38
Total	5.907,00	100,00

Como parte do processo de degradação das terras, tem-se a degradação dos solos, decorrente da sua superutilização, levando a alterações adversas de suas propriedades e resultando na diminuição de sua capacidade produtiva (Lal & Stewart, 1992). Tais impactos interferem diretamente no processo de produção agrícola. Como impactos indiretos, podem-se citar o comprometimento dos recursos hídricos, causado pela poluição ou assoreamento; a degradação dos ecossistemas que abrigam a vida silvestre e a perda de qualidade de vida (Clark II et al., 1985). Esses processos estão, de alguma forma, relacionados com a erosão do solo. A perda média de solo na MHM é da ordem de 20 Mg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Ranieri, 1996), valor este considerado acima do tolerável por Lombardi Neto & Bertoni (1975) para todos os solos ali encontrados. Este constitui o principal processo

de degradação que hoje ocorre na microbacia e pode ser observado pela exposição do horizonte C nos solos mais rasos, pela formação de voçorocas nos solos mais arenosos e pelo assoreamento do Ribeirão dos Marins.

### Estimativa do risco de degradação das terras

O risco de degradação foi determinado por meio de uma matriz de decisão, obtida pelo método "Ad Hoc" (Moreira, 1992) que consistiu na avaliação da área por especialistas, obtendo-se um resultado de consenso em relação às classes de risco de degradação. Esse método foi escolhido por ser rápido, passível de ser espacializado via SIG e por utilizar informações normalmente disponíveis. Na matriz (Quadro 3), foram contrapostas as informações consideradas mais relevantes sobre o meio físico para a obtenção das classes de risco de degradação, como suscetibilidade à erosão dos solos, classes de declividade e proteção ao solo oferecida pelo uso da terra. Com o cruzamento dessas três informações básicas, foram obtidas cinco classes de risco de degradação: (a) risco muito baixo (MB), considerado no trabalho como  $F_i = 1$ ; (b) risco baixo (B),  $F_i = 2$ ; (c) risco médio (M),  $F_i = 3$ ; (d) risco alto (A),  $F_i = 4$ ; (e) risco muito alto (MA),  $F_i = 5$ .

Os mapas básicos utilizados no cruzamento de dados no SIG foram o mapa pedológico na escala 1:20.000, obtido por meio de levantamento de campo (Teramoto, 1995), os mapas planialtimétricos na escala 1:10.000, do Instituto Geográfico e Cartográfico, e o mapa de uso da terra, obtido por meio de observações de campo e interpretação de fotografias aéreas de julho de 1995 na escala 1:25.000. A

**Quadro 3. Matriz de decisão para definição do risco de degradação das terras**

Unidade de mapeamento	Uso da terra																													
	SC SP PA CA CP MT					SC SP PA CA CP MT					SC SP PA CA CP MT					SC SP PA CA CP MT														
	Declividade (%)																													
	0-2				2-5				5-10				10-20				> 20													
R1	MA	M	B	A	MB	MB	MA	MA	A	MA	M	MB	MA	MA	A	MA	M	MB	MA	MA	A	MA	M	MB	MA	MA	A	MA	M	MB
R2	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	MA	A	MA	M	MB	MA	MA	A	MA	M	MB	MA	MA	A	MA	M	MB
C2	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	MA	A	MA	M	MB	MA	MA	A	MA	M	MB	MA	MA	A	MA	M	MB
R3	A	B	MB	M	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	MA	A	MA	M	MB
C1 + R3 + PV1	A	B	MB	M	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	MA	A	MA	M	MB
PV1 + C1 + R3	A	B	MB	M	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	MA	A	MA	M	MB
PV2	A	B	MB	M	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	MA	A	MA	M	MB
PV3	A	B	MB	M	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	MA	A	MA	M	MB
PV4	A	B	MB	M	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	MA	A	MA	M	MB
PV5	A	B	MB	M	MB	MB	MA	B	MB	M	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB	MA	MA	A	MA	M	MB
PE	M	MB	MB	B	MB	MB	A	B	MB	M	MB	MB	A	B	MB	M	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB
LV	M	MB	MB	B	MB	MB	M	MB	MB	B	MB	MB	A	B	MB	M	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB
TR	M	MB	MB	B	MB	MB	M	MB	MB	B	MB	MB	A	B	MB	M	MB	MB	MA	M	B	A	MB	MB	MA	A	M	MA	B	MB

SC: sem cobertura; SP: culturas semiperenes; PA: pastagem; CA: culturas anuais; CP: culturas perenes; MT: floresta nativa e, ou, reflorestamento; MB: risco muito baixo; B: risco baixo; M: risco médio; A: risco alto; MA: risco muito alto.

digitalização dos mapas básicos utilizou, como base, o sistema de coordenadas UTM. Para o mapa de classes de declividade, foram considerados os seguintes intervalos: (a) 0-2%, (b) 2-5%, (c) 5-10%, (d) 10-20%, (e) >20%. Os mapas digitalizados foram convertidos em formato de matriz (“raster”), com distância amostral (“pixel”) de 20 por 20 metros, utilizando SIG-TNT<sub>mips</sub> (Micro Images®). Cada mapa básico passou então a constituir um plano de informação (PI). Obedecendo à matriz de decisão, os PI<sub>s</sub> foram sobrepostos, obtendo-se os mapas de risco de degradação para diversos cenários de uso da terra, sendo eles: (a) sem cobertura; (b) uso atual; (c) uso único; (d) uso atual redistribuído; (e) uso planejado, descritos no quadro 4.

As formas de ocupação da terra verificadas no cenário de uso atual foram aplicadas em toda a área da microbacia, constituindo os cenários de uso único, a fim de verificar o seu potencial máximo de degradação. No cenário de uso redistribuído, as culturas existentes na microbacia foram realocadas, com vistas em destacar a ocupação mais intensiva em áreas de menor risco de degradação, seguindo as classificações obtidas no quadro 3, até que determinada cultura chegasse a ocupar a mesma área relativa do cenário de uso atual. Dessa forma, a microbacia foi ocupada, em primeiro lugar, com culturas anuais, seguida de culturas semiperenes, pastagem, culturas perenes e floresta nativa e, ou, reflorestamento.

A realocação do uso foi efetuada com a utilização de SIG, da seguinte maneira: para as culturas anuais (mais impactantes do ponto de vista da erosão do solo), foram selecionadas áreas com o menor risco de degradação possível (Quadro 3). Tais áreas foram

então preenchidas espacialmente até atingir a mesma área relativa àquela existente no cenário de uso atual (neste caso, 123 ha ou 2,1%). Após essa realocação, passou-se ao preenchimento da microbacia com a cultura da cana-de-açúcar, iniciando sempre em áreas de menor risco possível ainda disponíveis. Dessa forma, a microbacia foi totalmente preenchida pelos mesmos usos e nas mesmas proporções aos do cenário atual.

No cenário de uso planejado, os critérios adotados, em ordem hierárquica, foram: (a) ocupação com mata ciliar em áreas de preservação permanente ao longo dos rios, ocupando uma faixa marginal de 30 metros; (b) ocupação com culturas anuais em áreas de, no máximo, risco de degradação médio (Quadro 3); (c) ocupação com culturas semiperenes em áreas de, no máximo, risco médio, desde que não ocupadas com culturas anuais; (d) ocupação com pastagem em áreas de, no máximo, risco médio, desde que não ocupadas com culturas semiperenes; (e) ocupação com culturas perenes em áreas de, no máximo, risco médio, desde que não ocupadas com pastagem; (f) ocupação com floresta nativa e, ou, reflorestamento em áreas de, no máximo, risco médio, desde que não ocupadas por culturas perenes. Esses critérios dão prioridade à ocupação das terras com as culturas mais importantes para a região, considerando a função de cinturão verde da microbacia hidrográfica e a importância da cultura canavieira.

**Avaliação dos resultados**

O índice proposto (IP<sub>D</sub>) foi aplicado para a avaliação quantitativa e comparação dos mapas de risco de degradação obtidos para cada cenário de uso.

**Quadro 4. Descrição dos cenários de uso da terra considerados na comparação do risco de degradação**

Cenário de uso	Descrição	
<b>Sem cobertura</b>	Considerou-se a área total da microbacia sem cobertura vegetal, representando o potencial máximo de degradação	
<b>Uso atual</b>	Considerou-se o uso das terras na microbacia, obtido por meio da interpretação das fotografias aéreas de 1995 e dos levantamentos de campo.	
<b>Uso único</b>	Culturas semiperenes	Ocupação total da área com cana-de-açúcar
	Pastagem	Ocupação total da área com pastagem
	Culturas anuais	Ocupação total da área com culturas anuais
	Culturas perenes	Ocupação total da área com café
	Floresta nativa e, ou, reflorestamento	Ocupação total da área com floresta nativa e, ou, reflorestamento
<b>Uso atual redistribuído</b>	Manteve-se a mesma área relativa dos usos atuais da terra, alterando-se sua localização, visando reduzir o risco de degradação ao mínimo possível	
<b>Uso planejado</b>	O uso da terra foi alterado pela imposição de restrições de ocupação de acordo com as seguintes prioridades: preservar a mata ciliar ao longo dos cursos d’água; destacar os usos mais intensivos sem ultrapassar o risco de degradação médio; manter o máximo possível as mesmas áreas relativas em relação ao uso atual	

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 5, apresentam-se as áreas totais e relativas dos usos da terra na microbacia hidrográfica para os cenários de uso atual, redistribuído e planejado. Com a finalidade de observar o rearranjo espacial das culturas, o quadro 6 mostra as áreas totais e relativas dos usos da terra nos cenários redistribuído e planejado que substituíram os usos atuais. As áreas expressas em porcentagem referem-se às áreas relativas a cada uso do cenário atual que passaram para outros usos nos cenários redistribuído e planejado.

Os mapas de risco de degradação para alguns cenários de uso da terra, bem como as áreas totais e relativas para cada classe de risco, são apresentados nas figuras de 1 a 3, e os valores do índice  $IP_D$  obtidos para os diversos cenários encontram-se no quadro 7.

Conforme definição apresentada no quadro 4, não ocorreram alterações nas áreas ocupadas com as

culturas na passagem do cenário de uso atual para o de uso redistribuído (Quadro 5). A maior alteração na passagem do cenário de uso atual para o de uso planejado foi observada nas áreas de culturas semiperenes e de pastagem, com a diminuição da primeira de 57,2 para 24,6% da área total da microbacia, em detrimento do aumento da segunda de 32,4 para 54,6%. A diminuição das áreas de culturas semiperenes deveu-se aos critérios adotados para o cenário de uso planejado, restringindo-se a ocupação destas para áreas de, no máximo, risco médio. As áreas de culturas anuais praticamente não foram alteradas, sendo observado pequeno aumento no cenário de uso planejado (2,3%) em relação ao cenário de uso atual (2,1%). Houve aumento das áreas ocupadas com culturas perenes (de 0,2 para 5,8%). As áreas de mata ciliar passaram a ocupar 9,3% da área da microbacia contra os 4,5% do cenário de uso atual.

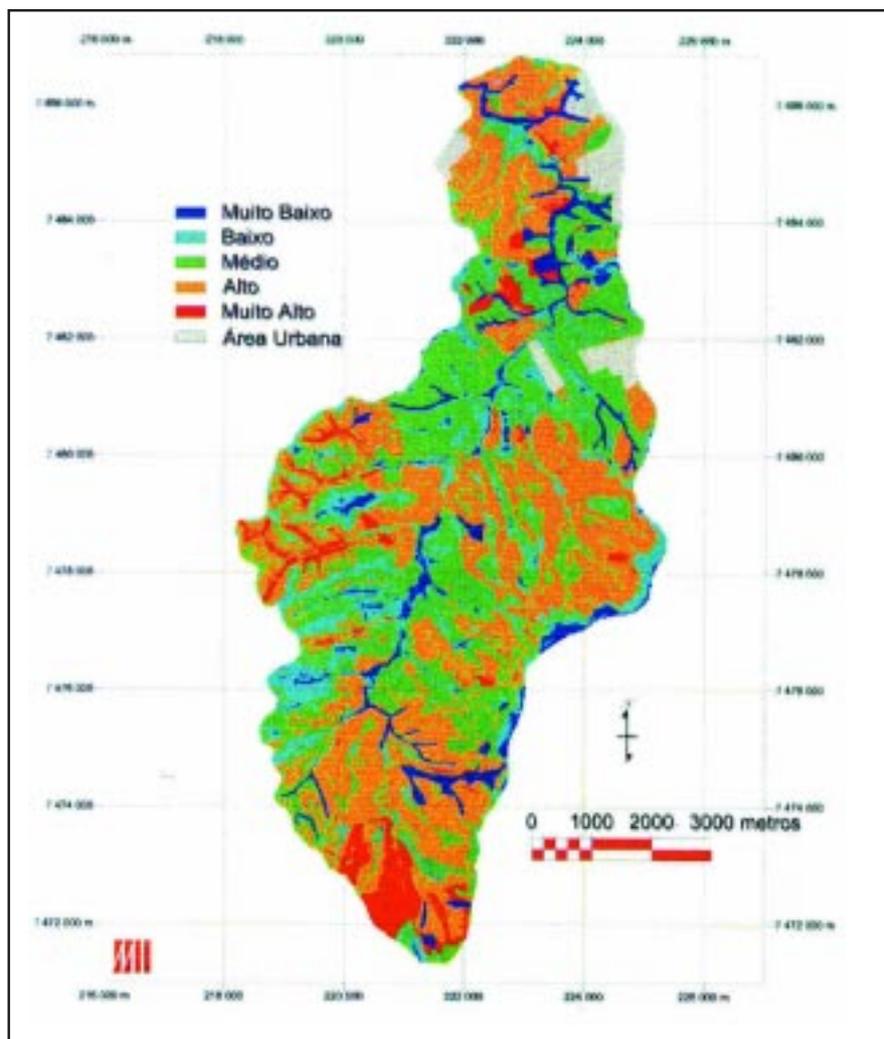


Figura 1. Mapa de risco de degradação das terras para o cenário de uso atual (SIG-TNTmips).

Quanto às alterações espaciais ocorridas na mudança de cenários, observou-se que a maior parte das áreas de culturas anuais no cenário de uso redistribuído foi ocupada com culturas semiperenes no cenário de uso atual (Quadro 6), fato atribuído à grande pressão de ocupação com a cultura da cana-de-açúcar na microbacia, fazendo com que esta

prevaleça em áreas de maior aptidão agrícola. As maiores alterações ocorridas nesta mudança de cenários foram observadas na substituição das áreas de culturas semiperenes por áreas de pastagem, bem como no inverso dessa situação. Dos 3.380 ha ocupados com culturas semiperenes, 52,3% permaneceram com o mesmo uso, 39,6% passaram

**Quadro 5. Áreas totais e relativas dos usos da terra na microbacia hidrográfica dos Marins para os diferentes cenários**

Categoria de uso	Predominante	Uso					
		Atual		Redistribuído		Planejado	
		Área total	Área relativa	Área total	Área relativa	Área total	Área relativa
		ha	%	ha	%	ha	%
Culturas semiperenes	Cana-de-açúcar	3.380,00	57,22	3.383,68	57,28	1.454,04	24,62
Pastagem		1.910,48	32,34	1.910,28	32,34	3.224,28	54,58
Mata ciliar (preservação permanente)		267,76	4,53	262,56	4,45	553,36	9,37
Culturas anuais	Horticultura, milho	122,68	2,08	122,84	2,08	135,04	2,28
Culturas perenes	Café	12,72	0,22	12,60	0,21	340,68	5,77
Reflorestamento e, ou, mata nativa		13,88	0,23	15,56	0,26		
Área urbana		199,48	3,38	199,48	3,38	199,48	3,38
	Total	5.907,00	100,00	5.907,00	100,00	5.907,00	100,00

**Quadro 6. Áreas totais e relativas ocupadas por cada uso da terra após a substituição do cenário atual pelos cenários de uso redistribuído e planejado**

Uso atual Código	Uso redistribuído		Uso planejado				
	Código	Área total	Área relativa	Código	Área total	Área relativa	
		ha	%			ha	%
SP	SP	1.768,44	52,32	SP	926,20	27,40	
SP	PA	1.337,76	39,57	PA	1.882,12	55,68	
SP	MT	179,68	5,32	MT	234,80	6,95	
SP	CA	79,88	2,36	CA	114,28	3,38	
SP	CP	2,72	0,09	CP	222,60	6,59	
SP	RE	11,52	0,34	RE	0,00	0,00	
PA	SP	1.343,16	70,30	SP	432,72	22,65	
PA	PA	465,44	24,36	PA	1.157,60	60,58	
PA	MT	73,12	3,83	MT	205,76	10,77	
PA	CA	17,20	0,90	CA	18,48	0,98	
PA	CP	7,52	0,40	CP	95,92	5,02	
PA	RE	4,04	0,21	RE	0,00	0,00	
MT	SP	185,28	69,20	SP	29,08	10,86	
MT	PA	74,28	27,74	PA	121,32	45,31	
MT	MT	6,56	2,45	MT	104,52	39,04	
MT	CA	1,12	0,42	CA	0,84	0,31	
MT	CP	0,52	0,19	CP	12,00	4,48	
CA	SP	72,84	59,37	SP	52,12	42,48	
CA	PA	23,48	19,14	PA	59,28	48,32	
CA	MT	1,72	1,40	MT	8,04	6,55	
CA	CA	24,64	20,09	CA	1,56	1,28	
CA	CP	0,00	0,00	CP	1,68	1,37	
RE	SP	2,36	17,00	SP	2,36	17,00	
RE	PA	8,20	59,08	PA	2,80	20,17	
RE	MT	1,48	10,67	MT	0,24	1,73	
RE	CP	1,84	13,25	CP	8,48	61,10	
CP	SP	11,60	91,19	SP	11,56	90,88	
CP	PA	1,12	8,81	PA	1,16	9,12	
AU	AU	199,48	100,00	AU	199,48	100,00	

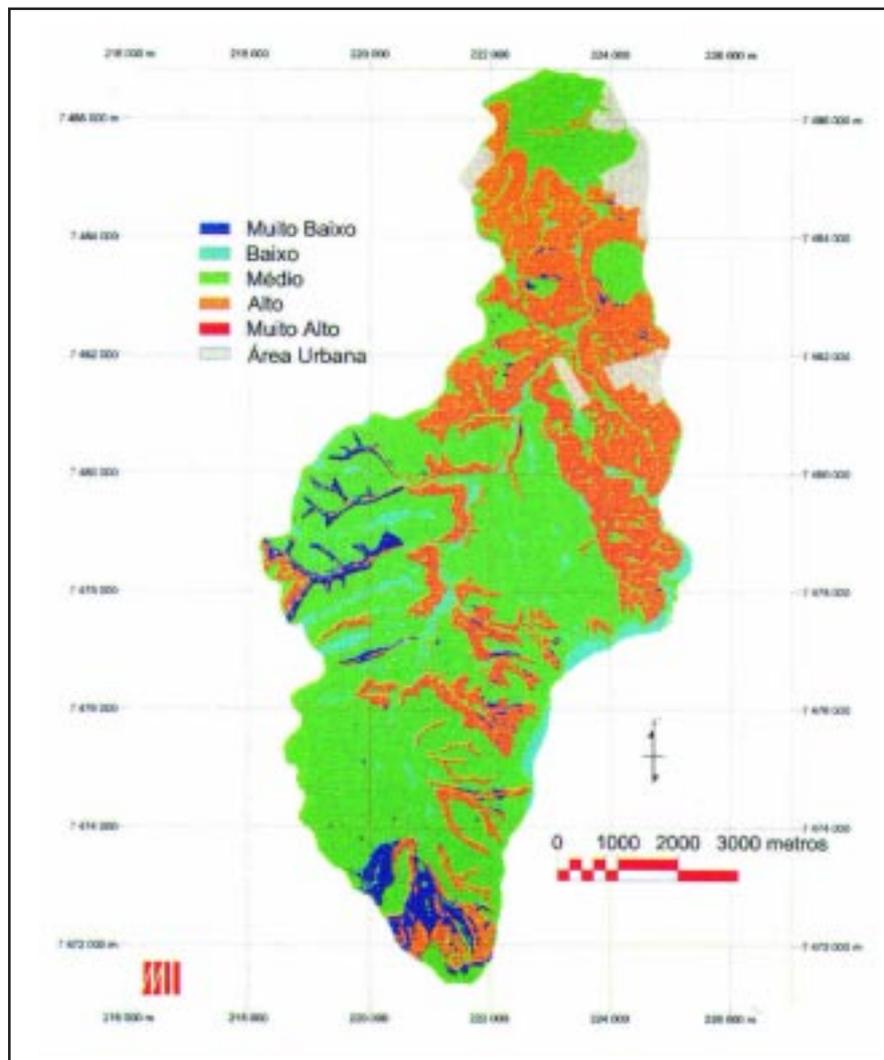
SP: culturas semiperenes; PA: pastagem; CA: culturas anuais; MT: mata ciliar; CP: culturas perenes; RE: floresta nativa e, ou, reflorestamento; AU: área urbana.

a ser ocupados com pastagem, e o restante (8,1%) foi dividido em áreas de mata ciliar, culturas anuais, culturas perenes e floresta nativa e, ou, reflorestamento. Apenas 24,4% das áreas ocupadas com pastagem no cenário de uso atual permaneceram com o mesmo uso no cenário redistribuído, sendo a maior parte da área (70,3%) substituída por culturas semiperenes. A mata ciliar passou a ocupar principalmente áreas de culturas semiperenes, mostrando que estas últimas ocupam no cenário de uso atual áreas de risco de degradação alto e muito alto.

Com a alteração do cenário de uso atual para o de uso redistribuído, ocorreu o desaparecimento de áreas de risco de degradação muito alto (Figuras 1 e 2). No entanto, o rearranjo na localização das culturas fez com que o valor de  $IP_D$ , calculado por meio da Equação 1, fosse alterado de 55 para 54, respectivamente (Quadro 7). Esses valores evidenciam que apenas a mudança na localização das culturas não foi capaz de diminuir o risco de

degradação final da microbacia, quando mantidas as mesmas áreas relativas de produção.

Apenas 27,4% da área ocupada com culturas semiperenes permaneceu com a mesma disposição espacial na passagem do cenário de uso atual para o de uso planejado (Quadro 6). A maior parte dessa área (55,6%) foi substituída por pastagem, sendo o restante ocupado com as demais culturas. Das áreas de mata ciliar, 39,0% permaneceram com a mesma localização e 61,0% passaram para áreas ocupadas com outras culturas, predominantemente semiperenes e pastagem. Isto indica que parte das matas não está localizada em áreas definidas como de preservação permanente. Essa substituição ocorreu pela adoção dos critérios de ocupação definidos no quadro 4, não se tratando de uma recomendação a ser adotada na microbacia. Também nesta alteração de cenário, 60,6% das áreas de pastagem permaneceram com a mesma localização e apenas 22,6% destas passaram a ser ocupadas com



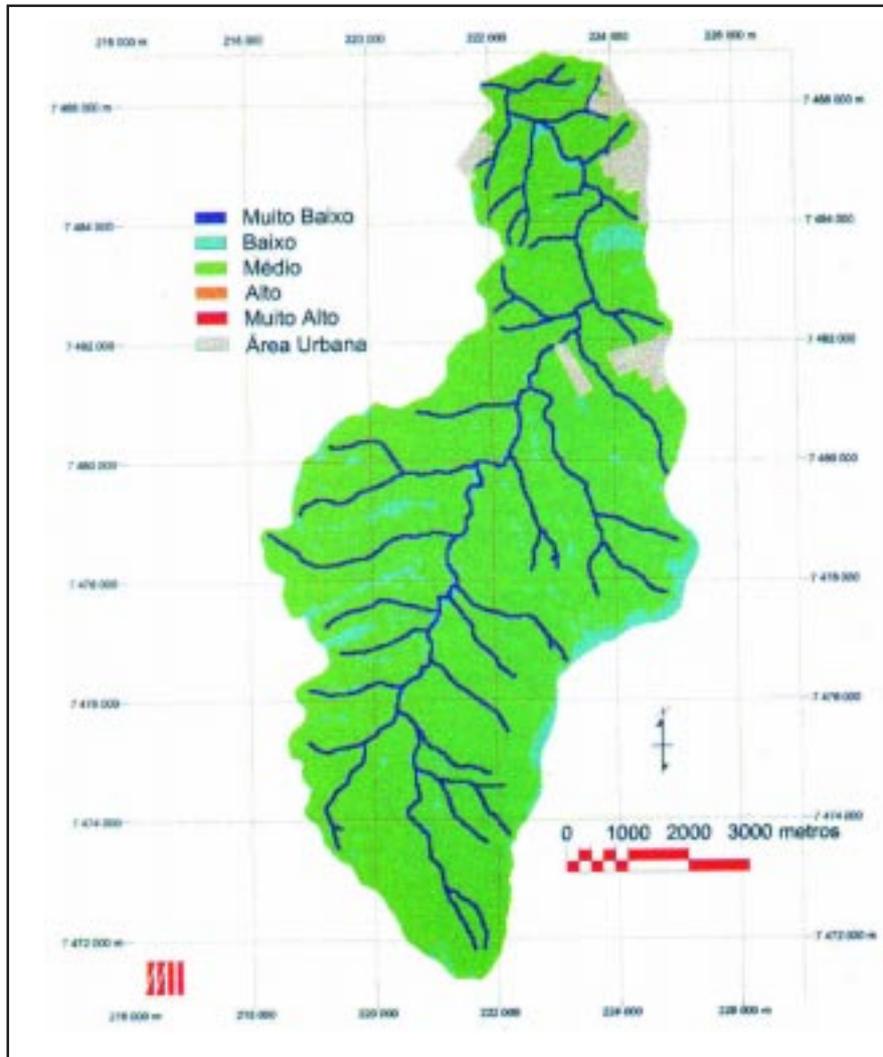
**Figura 2.** Mapa de risco de degradação das terras para o cenário de uso redistribuído (SIG-TNTmips).

**Quadro 7. Índice de comparação espacial de risco de degradação (IP<sub>D</sub>) para os diferentes cenários de uso da terra na microbacia hidrográfica dos Marins**

Cenário de uso	IP <sub>D</sub>
Sem cobertura	98
Uso atual	55
Uso atual redistribuído	54
Uso planejado	44
Culturas semiperenes	66
Pastagem	42
Culturas anuais	90
Culturas perenes	19
Floresta nativa e, ou, reflorestamento	0

culturas semiperenes. Esta nova distribuição do cenário de uso planejado resultou na diminuição do valor de IP<sub>D</sub> de 55, do cenário de uso atual, para 44 (quadro 7), valor este muito próximo do encontrado para o cenário de uso único com pastagem (42). A diminuição de 20% no risco de degradação das terras do cenário de uso planejado em relação ao atual deveu-se principalmente às restrições de ocupação das terras até o risco de degradação médio, resultando na diminuição da área ocupada com culturas semiperenes em detrimento do aumento das áreas de pastagem e mata ciliar.

Por sua vez, o risco de degradação para o cenário sem cobertura apresentou o maior valor de IP<sub>D</sub> (98), seguido do mapa com ocupação total por culturas anuais (90). Se a bacia fosse totalmente ocupada por culturas semiperenes, o índice cairia para 67, refletindo a maior proteção do solo com essa cultura em relação às culturas anuais. O índice continuou a



**Figura 3. Mapa de risco de degradação das terras para o cenário de uso planejado (SIG-TNTmips).**

decrecer, quando a bacia foi totalmente coberta por pastagem (42) e com culturas perenes (19). A ocupação total com floresta nativa e, ou, reflorestamento apresentou o menor valor de  $IP_D$  possível, isto é, zero. Este resultado não implica no fato de tal uso não apresentar risco de degradação, sendo o  $IP_D$  um índice comparativo. Este valor é encontrado quando toda a área avaliada apresenta a classe de  $F_i$  mínimo. Os resultados da comparação entre os mapas de uso único concordaram com valores do fator uso-manejo do solo (C), descritos por Bertoni & Lombardi Neto (1990), no que diz respeito à proteção do solo pelas culturas. O uso atual da microbacia diminui em 43,9% o risco de degradação em relação à condição sem cobertura, mostrando seu valor de  $IP_D$  (55) próximo ao valor encontrado para o de cobertura total com culturas semiperenes (67), fato atribuído à dominância dessa cultura na área.

Os valores de  $IP_D$  encontrados para os cenários de uso atual, redistribuído e planejado mostraram que a principal causa da degradação das terras da microbacia é a superutilização destas e não somente a distribuição espacial dos usos na área. Esse fato mostra que a falta de um índice que expresse quantitativamente o risco de degradação pode levar à interpretação equivocada quanto ao sucesso da simples alteração espacial do uso das terras, mantendo-se as áreas relativas de produção, no que diz respeito à diminuição dos impactos causados pela atividade agrícola. Por outro lado, o uso de um índice comparativo surge como uma proposta para subsidiar tomadas de decisão em planejamento, seja qual for o objetivo deste (risco de degradação, risco de erosão, adequação de uso, entre outros). Tal método também apresenta a vantagem de ser de fácil e rápida interpretação, permitindo a avaliação objetiva da eficácia das alternativas de ocupação das terras consideradas.

## CONCLUSÕES

1. Foi possível avaliar e comparar quantitativamente o risco de degradação para diferentes usos da terra por meio do índice proposto, diminuindo a subjetividade nas tomadas de decisão em planejamento.

2. Os resultados apontaram que a principal causa da degradação das terras na microbacia é sua superutilização, tendo sido demonstrado que apenas a redistribuição do uso atual das terras não alterou o risco de degradação na microbacia. A diminuição da degradação foi possível apenas com a limitação da ocupação mais intensiva nas áreas de menor suscetibilidade à erosão.

3. O SIG revelou-se uma ferramenta de grande utilidade para trabalhos desse tipo, posto que permitiu a manipulação dos mapas temáticos, a alteração de cenários, o cruzamento de informações e a obtenção de mapas finais de risco com a rapidez necessária.

## LITERATURA CITADA

- BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. Conservação do Solo. São Paulo, Ícone, 1990. 355p.
- BLUM, E.H. Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. & STEWART, B.A. Methods for assessment of soil degradation. New York, CRC Press, 1997. p.1-16.
- CÂMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E.D. & SANO, E.E., coords. Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1993. 274p.
- CLARK II, E.H.; HAVERKAMP, J.A. & CHAPMAN, W. Eroding soils. The off-farm impacts. Washington, The Conservation Foundation, 1985. 252p.
- DIEPEN, C.A.; KEULEN, H.; WOLF, J. & BERKHOUT, A.A. Land Evaluation: from intuition to quantification. *Adv. Soil Sci.*, 15:140-204, 1991.
- FORMAGGIO, A.R.; ALVES, D.S. & EPIPHANIO, J.C.N. Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:249-256, 1992.
- JENKINS, A.; PETERS, N.E. & RODHE, A. Hydrology. In: MOLDAN, B. & CERNY, J., coords. Biogeochemistry of small catchments: A tool for environmental research. (Scope 51). Chichester, John Wiley, 1994. p.31-54.
- LAL, R. & STEWART, B.A. Need for land restoration. *Adv. Soil Sci.*, 17:1-11, 1992.
- LAL, R. Soil quality and sustainability. In: LAL, R.; BLUM, W.H.; VALENTINE, C. & STEWART, B.A. Methods for assessment of soil degradation. New York, CRC Press, 1997. p.17-30.
- LAL, R. Soil erosion by wind and water: Problems and prospects. In: LAL, R., ed. Soil erosion and research methods. Wageningen, SWCS. 1988. p.1-6.
- LIMA, E.R.V.; KUX, H.J.H. & SAUSEN, T.M. Sistema de informações geográficas e técnicas de sensoriamento remoto na elaboração de mapa de riscos de erosão no sertão da Paraíba. *R. Bras. Ci. Solo*, 16:257-263, 1992.
- LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J. Tolerância de perdas de terra para solos do estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônomo, 1975.12p. (Boletim Técnico)
- LOPES ASSAD, M.L. Uso de um sistema de informações geográficas na determinação da aptidão agrícola de terras. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:133-139, 1995.
- MOREIRA, I.V.D. Origem e síntese dos principais métodos de avaliação de impacto ambiental. In: Manual de avaliação de impactos ambientais. Curitiba. SUEEHMA - GTZ, 1992. p.1-7.
- RANIERI, S.B.L. Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação do risco de erosão em uma bacia hidrográfica utilizando sistema de informações geográficas (SIG). São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, 1996. 128p. (Tese de Mestrado)
- STAR, J. & ESTES, J. Geographic Information Systems. New Jersey, Prentice-Hall, 1990. 331p.
- TERAMOTO, E.R. Relações solo, substrato geológico e superfícies geomórficas na Microbacia do Ribeirão Marins (Piracicaba, SP). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1995. 93p. (Tese de Mestrado)