Carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná: subsídio ao estudo dos processos erosivos

Myriam da Silveira Reis Nakashima

Departamento de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

RESUMO. Este trabalho desenvolvido na bacia do rio Keller, Estado do Paraná objetiva divulgar a metodologia para o estudo da fragilidade ambiental da relação relevo-solo e dos graus de proteção pertinentes ao uso da terra/vegetação. Pretende também demonstrar a sua repercussão sobre os processos erosivos em áreas com substrato basáltico, sob interferência de clima mesotérmico úmido do (tipo cfa, cfah), da classificação de Köeppen. Fundamentada nestas constatações, propõe-se a classificação da fragilidade ambiental para a bacia do rio Keller, apoiada nas análises laboratoriais efetuadas nos horizontes dos diferentes tipos de solos, bem como nos ensaios de campo, utilizando o penetrômetro de bolso (que mede a resistência à penetração de cada um destes horizontes) e o infiltrômetro de superfície e sub-superfície. Tais procedimentos levam à compreensão da fragilidade ambiental (relação relevo-solo, uso da terra/vegetação) evidenciando e localizando as classes com maior potencial erosivo (mais "instáveis") e as menos susceptíveis ao desencadeamento desses processos (mais "estáveis"). Os resultados alcançados com a pesquisa demonstram: Baixa fragilidade ambiental inerente aos altos topos esculpidos no basalto amigdaloidal (0%-6% de declividade), que abrigam Latossolo Vermelho, textura argilosa, café ou cultivo temporário. Sua vinculação com as classes texturais compreendendo argila e argila pesada, com índices de infiltração muito rápidos a rápidos, que podem ocasionar processos erosivos voltados para a erosão laminar. Fragilidade média nas vertentes (de 0%-12%, 12%-20%, de declividade), detentoras de basalto amigdaloidal, com Nitossolo Vermelho ou de basalto de estrutura maciça com Neossolo Litótico. O uso da terra é caracterizado por cultivos temporários ou pastagem. Classe textural franco-argila-siltosa, franco-siltosa e índice do infiltrômetro de subsuperfície muito rápido (Neossolo Litólico), muito lento (Nitossolo Vermelho) neste caso, os processos erosivos estão voltados para a incisão em sulcos; Alta fragilidade ambiental das vertentes com forte declividade (20%-30%, >30%) e dos fundos de vales e planícies fluviais, compostos por basalto de estrutura maciça ou por basalto amigdaloidal recobertos por Neossolos Litólicos , Organossolos, ou Neossolos Flúvicos utilizados com pastagem. Classes texturais franco-argila-siltosa, argilo-siltosa, franco-siltosa; índice de infiltração sub-superficial muito rápido (solos rasos), lento (solos aluviais); processos erosivos vinculados a: escorregamentos, movimentos coletivos de solos, incisão em sulcos, ravinas, voçorocas. A elaboração das cartas temáticas, na escala 1:50.000, (hipsométrica, clinográfica, geológica, geomorfológica, das formas associadas aos processos erosivos atuais, de solos, de uso da terra/vegetação, de fragilidade ambiental da relação relevo-solo), aliadas às análises laboratoriais e aos ensaios de campo, constituem dados fundamentais para os estudos de planejamento ambiental. Esses procedimentos são importantes para a compreensão da dinâmica erosiva, bem como para a proposição de diagnósticos e prognósticos, visando a preservação do ambiente.

Palavras chave: fragilidade ambiental, processos erosivos, bacia do rio Keller.

ABSTRACT. Environmental weakness in the river Keller basin, Paraná: a study on erosion processes. The methodology for the study of environmental fragility of the relief-soil relationship with regard to the river Keller basin. Research demonstrates the repercussion on the erosive processes in areas with basalt substrata influenced by mesothermic climate (types Cfa, Cfah) of the Köeppen classification. A classification of the basin of river Keller's environmental fragility is proposed, based on the laboratory analysis of different soil horizons and field works, using pocket penetrometer (which measures penetration resistance to each horizons) and surface and subsurface infiltrometer. Procedures lead us to comprehend the environmental fragility (relations relief-soil, use of land/vegetation) and show the classes most likely to host erosion processes (less stable) and

the ones that are less likely to do so (more stable). Results demonstrate low environmental fragility, inherent to high tops in the amigdaloidal basalt (0%-6% of declination), with red latisol, clay structure, coffee or temporary cultures; correlation with textural classes with clay and heavy clay, with fast or very fast infiltrometer readings, which could lead to erosion processes converging to the laminar erosion; medium environmental of slopes (0%-12%, 12%-20% of declination), which have amigdaloidal basalt, with structured (red nitosol), or massive basalt with underdeveloped soils; land use is characterized by temporary cultures or pasture; textural classes: loam-clay-silty, loam-silty and very fast infiltrometer readings (underdeveloped soils), very slow (red nitoso); in the latter, the erosive processes will converge to gullied incisions; high environmental fragility in the slopes of high declination (20%-30%, >30%) and bottom of valleys and fluvial lowlands, composed of massive basalt or of amigdaloidal basalt recovered by underdeveloped soils, (river organosol or neosol) used as pasture; textural classes loam-clay-silty, clay-silty, loam-silty; very fast sub-superficial infiltrometer readings (underdeveloped soils), slow (river neosol); erosive processes linked to slidings, collective soil movements, gullied incisions, ravines and gullies. Production of thematic maps, scale 1:50.000 (hypsometric, clinographic, geological, geomorphological of shapes associated with actual erosive processes, of soils, use of land/vegetation, environmental fragility of the relation relief/soil), allied to laboratory analysis and to field experiments are fundamental data for the studies of environmental planning. These procedures are important for the comprehension of erosion dynamics and diagnosis and prognostics with an aim to preserve the environment.

Key words: environmental fragility, erosive processes, river Keller basin.

A bacia do rio Keller, alvo da Carta de Fragilidade Ambiental elaborada por Reis Nakashima (1999), situa-se na margem direita do Rio Ivaí, no Norte do Estado do Paraná, Sul do Brasil, entre as coordenadas geográficas de 52° 04'W - 51° 38'W; 23° 45'S - 23° 30'S (Figura 1), englobando uma área aproximada de 492 km^2.

A referida bacia ocupa um setor do reverso da cuesta basáltica do Terceiro Planalto Paranaense, conforme divisão do relevo, elaborada por Maack (1968). Esta área tem sofrido nas últimas décadas, mudanças ambientais intensificadas pela retirada da mata tropical dos planaltos do interior e do rio Ivaí (ITCF, 1987). No Norte Novo, microrregião econômica na qual se insere a pesquisa, houve desmatamento no decorrer de 1930-1950, para ceder lugar a agricultura perene do café que dominou a paisagem até 1970-1975. O desmatamento contribuiu para alterar de modo decisivo a regularidade de distribuição das chuvas. Tal fato repercutiu desfavoravelmente, no setor agrícola da bacia em questão, desencadeando processos erosivos, com perda de solos, provocando a instabilidade das vertentes, com modificações sociais, econômicas e ambientais negativas.

Nos intervalos dos períodos acima citados, uma sucessão de geadas e o ataque de doenças como a ferrugem, comprometeram a saúde e produtividade dos cafezais. Em conseqüência destes fatos, no decorrer de 1970, a política mundial bem como a política interna do país, voltou-se para a erradicação do café, substituindo-o por soja, trigo, milho, algodão, dentre outros.

Ross (1994) destaca que a tecnificação utilizada nas novas atividades agrícolas causaram mudanças radicais nas relações do trabalho no campo, ao mesmo tempo em que acentuaram os problemas ambientais por causa do uso intensivo dos adubos químicos utilizados como controladores das ervas daninhas e dos insetos, substâncias que contaminaram os mananciais e os solos.

Nas porções mais dissecadas do relevo esculpido no basalto, observou-se, sobretudo, entre 1980-1985, a ampliação das pastagens, conforme constatações de Moro (1992), Reis Nakashima *et al.* (1992) e Alves e Reis Nakashima (1994).

O manejo inadequado do solo pelo uso de maquinarias pesadas tem causado a compactação, dificultando a penetração das raízes das plantas e a infiltração das águas das chuvas, que escoam carregadas de partículas para os talvegues, causando danos erosivos e assoreamento, interferindo na qualidade dos cursos fluviais.

Os dados pluviométricos das áreas de reverso da cuesta basáltica do Noroeste do Estado do Paraná demonstram a diminuição das chuvas nos meses de estiagem (sobretudo junho e agosto) e a intensificação nos meses chuvosos (outubro-março) que em áreas de forte declive, desencadeiam processos erosivos, tais como sulcos, cicatrizes de escorregamento, ou ainda ravinas e voçorocas ligadas às cabeceiras de drenagem.

A Carta de Fragilidade Ambiental, objeto deste artigo, constitui uma ferramenta de grande importância para o entendimento da fragilidade do relevo-solo, face à intervenção desordenada do homem e da sociedade sobre os recursos da natureza. Ao mesmo tempo, sinaliza para a necessidade de se praticar o planejamento ambiental.

Embasamento teórico e metodológico

A Carta de Fragilidade Ambiental é um documento cartográfico de síntese que resulta da análise integrada do relevo-solo e dos graus de proteção conferidos pelo uso da terra-vegetação (Figura 2)

A referida carta constitui a síntese da pesquisa geomorfológica desenvolvida por Reis Nakashima (1999), cujo objetivo principal foi efetuar a análise integrada entre os fatores endogenéticos e exogenéticos, representados pelos elementos geográficos abióticos e bióticos, inerentes as formas de relevo, vinculadas às unidades geomorfológicas da bacia do rio Keller.

É importante salientar que cada uma das morfologias estudadas se apresenta de forma estruturada, ocupando um determinado espaço e evoluindo no tempo através dos processos morfogenéticos. Estas formas estão inseridas nas unidades geomorfológicas da bacia em questão. Elas recebem, transformam e exportam energia e matéria que lhes conferem dinâmica e funcionamento. Qualquer mudança em um dos componentes da estrutura provoca a ruptura do "equilíbrio dinâmico" que, ao ultrapassar limiares, leva a uma situação de instabilidade (ruptura de equilíbrio) em busca de uma nova forma de equilíbrio.

Apoiada nesta premissa, o estudo da fragilidade ambiental da relação relevo-solo e de sua correlação com os processos erosivos buscou a fundamentação teórica, numa série de abordagens.

Baccaro (1990) relaciona os seguintes pesquisadores como principais adeptos da teoria dos sistemas: Fly (1929) e Bertalanffi (1933), são os pioneiros, utilizando-a na física e biologia, entretanto, a aplicação desta teoria na geomorfologia coube a Strahler (1950), Chorley (1962), Havard (1965), Chorley e Kenedy (1971), Tricart (1977), dentre outros (*apud* Baccaro, 1990).

Chorley e Kenedy (1971) definem sistema, como um arranjo estruturado de objetos e ou atributos que exibem correlações mútuas discerníveis e que operam juntos como um todo complexo, de acordo com alguns padrões observáveis.

A teoria dos sistemas foi também aplicada aos estudos geográficos. Sotchava (1962 *apud* Cruz, 1992), criou o termo geossistema e uma metodologia para o estudo das paisagens russas. Da leitura dos artigos de Sotchava (1977, 1978), apreende-se que o geossistema é considerado um fenômeno natural, mas que deve refletir os parâmetros sociais, econômicos, bem como as modificações efetuadas pelo homem.

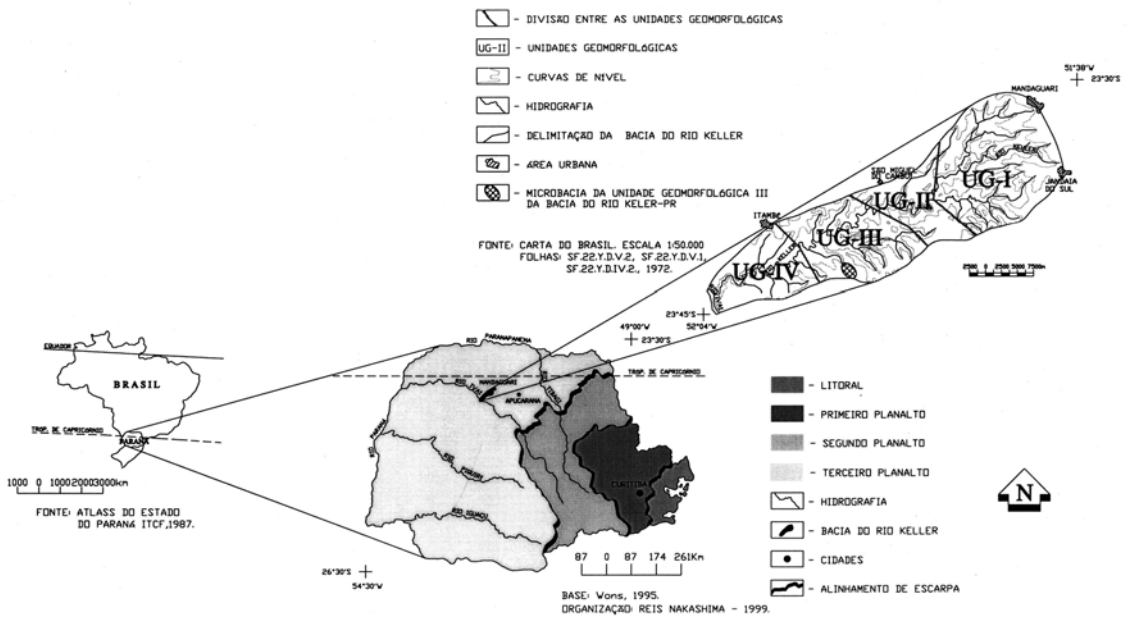

Figura 1. Localização da bacia do rio Keller, Estado do Paraná

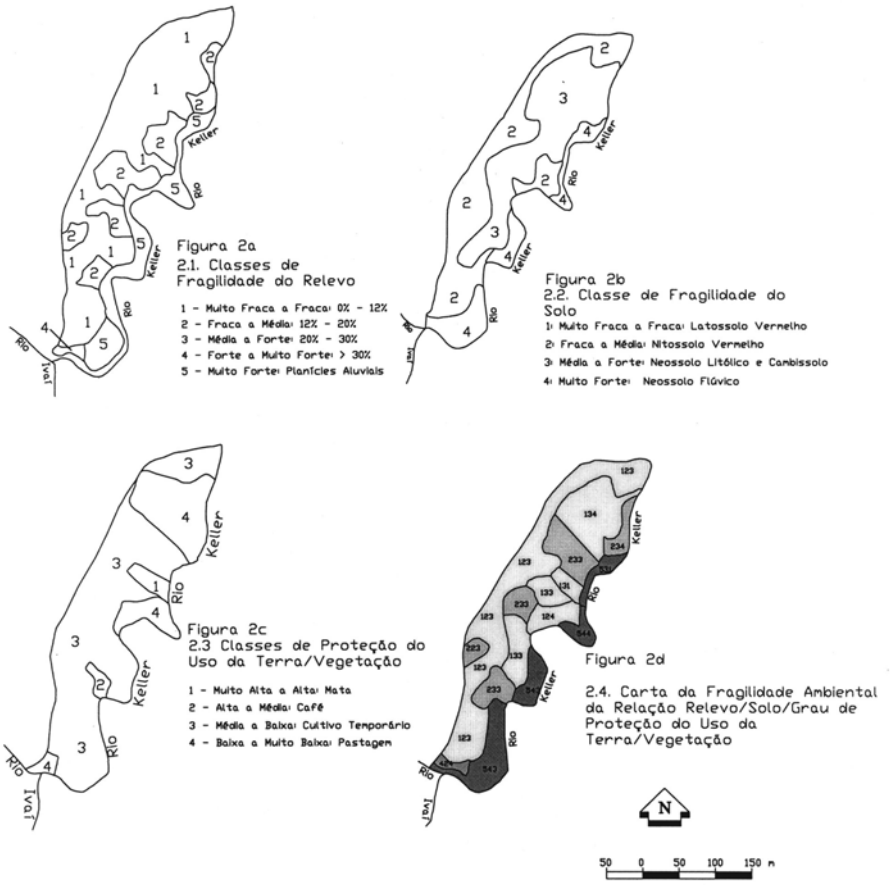

Figura 2. Demonstrativo da correlação entre as classes de fragilidade do relevo/solo e os graus de proteção do uso da terra/vegetação que originam a carta de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, Estado do Paraná. Base: Cartas Temáticas, Reis Nakashima (1999), organização: Reis Nakashima/2001

Bertrand (1968) inclui o geossistema entre a 4ª e 5ª ordem de grandeza temporo-espacial da sua escala taxonômica, que corresponde a um espaço da ordem de alguns quilômetros quadrados a algumas centenas de quilômetros quadrados. Ressalta ainda que é nesta escala que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência dos elementos da paisagem e que evoluem as combinações dialéticas mais interessantes para o geógrafo.

Ao definir paisagem, Bertrand (1968) considera-a como uma porção de espaço caracterizada por uma combinação dinâmica, portanto instável de elementos geográficos diferenciados: físicos, biológicos, antrópicos que ao reagirem dialeticamente uns sobre os outros, fazem desta paisagem um conjunto geográfico indissociável que evolui em bloco, tanto sobre o efeito das interações dos elementos que as constituem, como sob o efeito da dinâmica de cada um dos elementos considerados separadamente.

Grigoriev (1968) destaca o caráter dinâmico e interativo entre os diversos estratos geográficos terrestres que estão diretamente interrelacionados e interconectados em estrutura e evolução, de forma a constituir um topo indivisível, um fenômeno natural peculiar com leis próprias de estrutura e evolução. Assegura que o estrato geográfico só pode ser estudado com sucesso, quando o efeito da sociedade humana e de seus modos de produção sobre a natureza forem rigorosamente levados em conta.

Tricart (1977) utiliza a abordagem sistêmica como instrumento lógico de que se dispõe para estudar os problemas do meio, porque oferece uma visão de conjunto do aspecto dinâmico.

No decorrer deste trabalho foi constatado que a dinâmica geomorfológica manifesta-se, sobretudo, através das vertentes. Neste sentido, Tricart (1957) ressalta que o estudo das vertentes está no âmago da preocupação dos geomorfólogos, porque o relevo representa o elemento mais importante para o

homem, uma vez que a sua evolução repercute nas atividades agrícolas e nas obras de engenharia civil.

Horton (1948 *apud* Chorley (1978) foi o primeiro a traçar o modelo clássico da evolução das vertentes.

Carson e Kirkby (1972) afirmam que o estudo das vertentes é essencial não apenas para o entendimento da paisagem, mas também como meio prático para o controle da erosão e da sedimentação, que ocorre quando o homem modifica esta paisagem através da agricultura, obras de engenharia ou operações de remanejamento da terra. Os referidos autores consideram que o cultivo e a pastagem têm por muito tempo acelerado as taxas naturais de lavagem das superfícies, ocasionando a incisão em ravinas.

Prandini (1982) correlacionou o aparecimento de ravinas e voçorocas às práticas agrícolas inadequadas que favorecem a concentração das águas de superfície em carreadores e caminhos de serviço.

De Ploey (1981) utilizou dados experimentais para comprovar que a cobertura de gramíneas modifica o comportamento hídrico da água, que pode ativar os processos de lavagem das vertentes, pelo desenvolvimento de fluxos turbulentos.

Marques *et al.* (1961) divulgaram as seguintes perdas de solos para o Estado de São Paulo:

- Mata natural: 0,04 t/ha/ano
- Pastagem: 0,40 t/ha/ano
- Café: 0,90 t/ha/ano
- Algodão: 26,60 t/ha/ano

Estudos semelhantes efetuados por Casseti (1995) indicam os seguintes volumes de perdas de terra em Goiânia.

- Mata natural - declividade: 15,8% - 0,03 t/ha/ano
- Pastagem - declividade: 14,4% - 0,23 t/ha/ano
- Arroz - declividade: 11,0%. - 51,65 t/ha/ano

Bertoni e Lombardi Neto (1990) estabeleceram padrões de tolerância para perdas de solos do Estado de São Paulo. Levaram em consideração, sobretudo, a profundidade e a textura dos horizontes superficiais. Estes autores elaboraram a seguinte equação: P=100xhxd, onde:

p = peso de terra em um hectare, t/ha;

h = espessura de horizonte, cm;

d = densidade do solo, g/cm^3.

O total de solo do perfil da unidade do solo foi obtido somando a quantidade de solo de cada horizonte considerado. Dentre os solos por eles analisados que despertam interesse para a bacia do rio Keller tem-se:

- Latossolo Vermelho, textura argilosa: 11,6 a 12,5t/ha
- Nitossolo Vermelho, 11,6 a 12,5t/ha
- Neossolo Litólico, 1,9 a 7,3 t/ha

Em relação às perdas de terra e água estes autores consideraram para médias pluviométricas de 1300mm chuva e declividade entre 8,5 a 12,8% os seguintes índices:

- solos argilosos 20,1t/ha de terra e 5,7% de água.
- Nitossolos Litólicos: 9,5t/ha de perda de terra e 3,3% de perda de água.

No que diz respeito à ação das diferentes coberturas vegetais nas perdas de solo e água da chuva pela erosão que interessam à bacia do rio Keller, Bertoni e Lombardi Neto (1990) apresentaram os seguintes índices:

- mata 0,004t/ha de solo - 0,7% de água.
- café 0,9t/ha de solo - 0.7% de água
- algodão 26,6t/ha de solo - 7,2% de água
- soja 20,1t/ha de solo - 6,9% de água
- milho 12,00t/ha de solo - 5,2% de água
- cana-de-açúcar 12,4t/ha - 4,2% de água

Estudos efetuados por Reis Nakashima (1999) registraram, entretanto, concentrações de terracetes de pisoteio do gado, sulcos, ravinas, voçorocas em áreas associadas, sobretudo, as pastagens e aos cultivos temporários.

Bigarella e Mazuchowsky (1985) constataram que o escoamento superficial no terreno desempenha um papel importante no mecanismo erosivo e que a intensidade do fenômeno depende da sua velocidade. Assim, nas vertentes mais íngremes, a ação da gravidade acentua o processo. Desta forma, a erosão acelerada afeta, principalmente, as vertentes mais íngremes, as mais arenosas, aquelas despidas de vegetação e os terrenos mal utilizados pela agricultura.

Salomão (1994) refere-se à intervenção humana como fator decisivo no desenvolvimento de ravinas e voçorocas no Estado de São Paulo. Este pesquisador dedicou-se ao estudo das erosões lineares, tais como sulcos, ravinas, voçorocas, causadas pelo escoamento concentrado, ao mesmo tempo em que propôs a distinção entre os diferentes vocábulos.

No que diz respeito à Carta de Fragilidade Ambiental, principal objeto deste artigo, é importante ressaltar os trabalhos de:

Ross (1994), que elaborou uma metodologia para o estudo dos ambientes naturais e antropizados, calcada nos conceitos ecodinâmicos preconizados por Tricart (1977) e aplicados com modificações.

Para Ross (1994) o estudo da fragilidade ambiental exige um estudo integrado dos elementos do estrato geográfico (clima, geologia, relevo, solo, tipo de cobertura vegetal), que dão suporte à vida

vegetal e ao homem. Estes elementos tratados integramente possibilitam chegar a um diagnóstico das diferentes categorias hierárquicas da fragilidade dos ambientes naturais. Dentro desta concepção ecológica, o ambiente foi analisado sob o prisma da teoria dos sistemas. Esta teoria parte do pressuposto de que na natureza as trocas de energia e matéria se processam através de relações de equilíbrio dinâmico, que pode ser alterado pela intervenção do homem nos diversos componentes da natureza, gerando estados de desequilíbrios temporários ou permanentes. Apoiado nestas constatações, o referido autor inseriu novos critérios. As unidades instáveis ou de instabilidade emergente foram definidas como aquelas cujas intervenções antrópicas modificam intensamente os ambientes naturais, através do desmatamento e práticas de atividades econômicas diversas. Enquanto que as unidades estáveis ou de instabilidade potencial são aquelas que estão em equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrando-se em estado natural.

Rodrigues (1998) readequou a proposta metodológica de Ross (1994), ao efetuar a análise empírica-experimental da fragilidade do relevo-solo, em sub-bacia do Reservatório Billings, inserida no cristalino do Planalto Paulistano, escala 1:10.000.

Reis Nakashima (1999) aplicou com modificações a proposta de Ross (1994), no estudo da fragilidade ambiental da bacia do rio Keller, escala 1:50.000 correlacionando-a aos processos erosivos. Neste sentido, procedeu a análise empírica-experimental no intuito de comprovar ou não a aplicabilidade do modelo de Ross.

Material e métodos

Procedimentos operacionais da análise da fragilidade ambiental: relação relevo-solo

Para realizar o estudo da Fragilidade Ambiental da relação relevo-solo, recorreu-se à análise integrada dos elementos climáticos, geológicos, geomorfológicos, pedológicos, uso da terra/vegetação, que foram correlacionados com os processos erosivos, análises laboratoriais e experimentos de campo.

Foi de grande importância efetuar a análise de cada um destes elementos para obter um diagnóstico e, através das interrelações, proceder a análise integrada para o entendimento da dinâmica ambiental.

A fase preliminar da pesquisa envolveu, portanto, o levantamento dos dados necessários à elaboração da Carta de Fragilidade Ambiental, tendo sido necessário a utilização das seguintes técnicas:

Técnicas de gabinete:

- Pesquisa bibliográfica
- Trabalhos de fotointerpretação apoiados nas fotografias aéreas do ITCF, 1980 1:25.000, bem como nas imagens TM - LANDSAT, 1985, canais 3, 4, 5 e composição colorida, escala 1:100.000.
- Elaboração da Carta Base, escala 1:50.000.
- Utilização de técnicas estatísticas para a confecção de tabelas e gráficos que possibilitaram alcançar a análise integrada para obtenção das classes hierarquizadas da fragilidade ambiental.

Técnicas de trabalho de campo:

- Acompanhamento da elaboração e correção das cartas temáticas.
- Observação das formas associadas aos processos erosivos atuais.
- Descrição dos perfis de solos.
- Coleta de amostras de solos, para posterior análise laboratorial.
- Ensaios com o penetrômetro de bolso e com o infiltrômetro de superfície e sub-superfície.

Técnicas de laboratório:

- Foram aplicadas análises granulométricas nos diversos horizontes dos principais tipos de solos, representativos das quatro unidades geomorfológicas da bacia do rio Keller.
- Recorreu-se à metodologia proposta por Jorge (1985).

Levantamento de dados:

- **Dados climáticos**

Os dados levantados pertencem à Estação Climatológica de Maringá, Estado do Paraná, por estar mais próxima da área pesquisada.

Confeccionou-se um gráfico de barras para os totais de precipitações do período de 1987-1996. Em seguida partiu-se para a elaboração do gráfico de barras dos totais mensais de precipitações do ano de 1988 (mais seco do decênio), e do ano de 1990 (mais chuvoso do decênio).

Foi de suma importância trabalhar com os dados climáticos, porque eles representam a entrada da energia no sistema geomorfológico repercutindo na sua dinâmica.

Elaboração das cartas:

- **Carta base**

Compilada das Cartas do IBGE, 1ª ed, 1972; de onde foram retiradas as curvas de nível, os pontos cotados, a rede de drenagem, a malha urbana, a rede

rodo-ferroviária, servindo de fundo topográfico para todas as cartas temáticas necessárias a análise e posterior síntese, indispensável à elaboração da Carta de Fragilidade Ambiental.

- **Carta geomorfológica**

Sua elaboração envolveu as técnicas de laboratório e de campo, já descritas.

Foram adotados os seguintes procedimentos adaptados à metodologia proposta por Ross (1992):

- A bacia foi subdividida em quatro grandes unidades geomorfológicas, representadas por um hachuriado cinza com diferentes espaçamentos.
- Cada unidade geomorfológica foi também representada por um algarismo romano, de I a IV (Figura 1).
- As unidades geomorfológicas foram obtidas pela correlação entre a Carta Hipsométrica e a Carta de Declividade, elaboradas na fase inicial da pesquisa.
- Em cada unidade geomorfológica foi feita a representação das formas de relevo, utilizando letras, tomando como exemplo:
- Topo convexo amplo (Tca)
- Patamar em topo convexo (Ptc).

Em cada unidade geomorfológica foram mapeados em símbolos pretos:

- Os dados ligados a formas lineares e areolares, tais como: divisores de água, alinhamento de crista, tipos de vale, dentre outros.
- As formas ligadas a processos erosivos atuais, tais como: sulcos, ravinas, voçorocas, dentre outras.
- As unidades geomorfológicas e respectivas formas de relevo foram correlacionadas com os dados morfométricos (altitude, declividade), geológicos, de solos, de uso da terra/vegetação, compondo a legenda integrada anexada no rodapé da Carta Geomorfológica.

- **Cartas das formas associadas aos processos erosivos atuais:**

Foi retirada da Carta Geomorfológica para destacar os processos erosivos facilitando a correlação com as demais cartas elaboradas no decorrer da pesquisa.

Possibilitou também que se efetuasse a quantificação dos processos erosivos para comprovação da hierarquia das classes de fragilidade ambiental.

A legenda representada por símbolos pretos indica: as cicatrizes de escorregamento, terracetes de pisoteio do gado, sulcos, ravinas, voçorocas, cicatrizes de solapamento basal, áreas sujeitas a depósitos de escorregamento, depósitos em leques colúvio-aluvionares.

Os processos erosivos foram correlacionados com as diversas categorias da fragilidade ambiental que ocorrem na bacia.

- **Carta de solos:**

A sua elaboração envolveu técnicas de campo, gabinete e laboratório, já citadas o corpo do trabalho.

No levantamento de campo foram descritos os perfis de solos representativos das quatro unidades geomorfológicas da bacia em questão, seguindo a classificação da Embrapa (1999). Foram também colhidas as amostras dos horizontes destes perfis para análise de laboratório, bem como efetuados os testes com os infiltrômetros e o penetrômetro de bolso.

A Carta Clinográfica foi de grande utilidade, auxiliando na delimitação das unidades de solos mapeados.

Elaborou-se na Carta original (Reis Nakashima, 1999) uma legenda a cores para representar as seguintes classes de solos:

- Latossolo Vermelho, textura argilosa: magenta
- Nitossolo Vermelho: vermelho
- Neossolo Litólico e Cambissolo: cinza.
- Neossolo Flúvico: azul

Os dados mapeados foram correlacionados aos dados obtidos nas Cartas de Declividade, Geomorfológica (Unidades Geomorfológicas e formas de relevo), Carta das Formas Vinculadas aos Processos Erosivos Atuais, ensaios de laboratório e campo para que se pudesse chegar à hierarquia de fragilidade dos solos.

- **Carta de uso da terra/vegetação**

Esta carta oferece a percepção de como o homem e a sociedade apropriaram-se da bacia do rio Keller, através das diversas formas de utilização do seu espaço.

Os diversos tipos de uso proporcionam determinado grau de proteção com reflexos sobre a estabilidade (instabilidade potencial) ou instabilidade (instabilidade emergente).

Para elaboração desta carta, recorreu-se aos trabalhos de gabinete e campo já referenciados.

Adotou-se uma legenda colorida representativa dos diversos tipos de uso da terra/vegetação, que possibilitou a correlação com os demais documentos cartográficos e o entendimento do grau de proteção proporcionado ao relevo e solo.

- **Carta de fragilidade ambiental:**

Este documento cartográfico de síntese (Figura

2d) surgiu da correlação efetuada entre as Cartas Geomorfológicas, de Solos e de Uso da Terra/Vegetação.

Os dados numéricos que compõem essa carta foram classificados hierarquicamente em função do:

- Relevo: (Figura 2a)

Constituiu o primeiro dígito da Carta de Fragilidade Ambiental.

A declividade foi escolhida como a variável de maior representatividade do relevo.

Foram atribuídas cinco classes de fragilidade em decorrência da declividade, assim representadas:

1. Muito fraca a fraca: 0% - 12%.
2. Fraca a média: 12% - 20%
3. Média a forte: 20% - 30%.
4. Forte a muito forte: >30%.
5. Muito forte: vincula-se às planícies fluviais. Obs.: esta classe não tem vinculação com a declividade.

- Solo: (Figura 2b)

Constituiu o segundo dígito da Carta de Fragilidade que apresenta as seguintes classes:

1. Muito fraca a fraca: Latossolo Vermelho, textura argilosa.
2. Fraca a média: Nitossolo Vermelho.
3. Média a forte: Neossolo Litólico e Cambissolo.
4. Forte a muito forte: Neossolo Flúvico.

- Uso da terra/vegetação: (Figura 2c)

Constituiu o terceiro dígito da Carta de Fragilidade Ambiental.

O uso da terra/vegetação foi analisado em função do grau de proteção que proporciona ao relevo e ao solo. Sua legenda numérica indica as classes de proteção proporcionadas ao relevo e ao solo:

1. Proteção muito alta a alta: mata e capoeira.
2. Proteção alta a média: café, silvicultura.
3. Proteção média a baixa: cultivo temporário.
4. Proteção baixa a muito baixa: pastagem.

A Carta de Fragilidade Ambiental expressa, portanto, o cruzamento entre os três planos de informação (Figura 2d), compostos pelos três dígitos acima mencionados. Tomando como exemplo a classificação:

124: o número 1 (1º dígito) representa o relevo com 0% - 12% de declividade; classe 2 (2º dígito) representa o Nitossolo Vermelho; classe 4 (3º dígito) representa a pastagem, considerada coma de baixa a muito baixa proteção ao relevo e solo.

Para finalizar, a carta foi adotada na versão original (Reis Nakashima, 1999), além dos dígitos numéricos, uma legenda a cores, que destaca a fragilidade do relevo em grandes categorias.

Optou-se pelo:

- Amarelo claro: para as declividades entre 0% - 12%.
- Amarelo escuro: para declividdes entre 12% - 20%.
- Laranja: para declividades entre 20% - 30%.
- Vermelho: para declividade de >30%.
- Pinck: para as planícies fluviais, consideradas como de maior fragilidade ambiental.

- Quantificação dos processos erosivos:

Objetivou estabelecer as correlações dos processos erosivos com as classes de fragilidade ambiental (Tabela 1).

Tabela 1. Síntese das correlações dos sulcos com as classes de fragilidade ambiental nas Unidades Geomorfológicas da bacia do rio Keller, Estado do Paraná

Unidade Geomorfológica: Total de ocorrência	Classe de fragilidade ambiental	Nº de ocorrência	% de ocorrência
I: 74 oc.	112	01	1,35
	122	03	4,05
	123	06	8,1
	133	01	1.35
	134	01	1,35
	221	01	1,35
	222	02	2,70
	224	05	6,76
	231	01	1,35
	232	05	6,76
	233	03	4,05
	234	14	18,91
	322	01	1,35
	323	01	1,35
	333	01	2,35
	334	13	17,56
	422	01	1,35
	424	01	1,35
	434	13	17,56
II: 27 oc.	123	21	77,70
	224	04	14,80
	233	01	3,70
	333	01	3,70
III: 42 oc.	122	01	2,38
	123	18	42,85
	124	04	9,52
	134	02	4,76
	223	01	2,38
	233	01	4,76
	234	01	2,88
	333	03	7,14
	334	05	11,90
	434	03	7,14
	544	02	4,76
IV: 44 oc.	124	04	9,1
	133	14	31,8
	233	07	15,1
	234	14	31,8
	334	03	6,8
	434	02	4,5

Fonte: Dados obtidos na Carta de Processos Erosivos e na Carta de Fragilidade Ambiental; Organização: Reis Nakashima (1999)

Tabela 2. Classificação da fragilidade ambiental nos fundos de vales e planícies fluviais da bacia do rio Keller, Estado do Paraná. Relações com os dados laboratoriais e do penetrômetro de bolso

Unidade geomorfológica/ litologia/ declividade	Forma/ tipo solo/ processo erosivo	Horizonte/ classe textural	Estrutura dos horizontes	Dados do penetrômetro	Classificação (2º o Índice de Penetração (kgf/cm^2))	Classe da fragilidade ambiental
I/ Basalto amigdaloidal/ 12%-20%	Fundo de talvegue do afluente do Ribeirão Rochedo, 520m (P.7)/ Organossolo/ ravina	A_{t1} - Argila siltosa	Poliédrica à angular	4,5	Alto à muito alto	544
		A_{t2} - Argila pesada	Poliédrica sub-angular	4,0	Alto à muito alto	
II/ Basalto amigdaloidal/ 0%-6%	Terraço do Rio Keller, 380m (P.12)	A - Franco argilo siltosa	Granular média, grande, moderada	4,0	Alto à muito alto	544
		B_{t1} - Argila	Poliédrica à poliédrica	3,7	Médio à alto	
		B_{t2} - Argila siltosa	Poliédrica sub-angular à angular	4,0	Alto à muito alto	
IV/ Basalto amigdaloidal/ 0%-6%	Terraço da área da confluência Keller x Ivaí, 300m (P.24)	A - Franco argilo siltosa	Granular, pequena, média, moderada	2,5	Baixo à médio	543 (Carta de fragilidade ambiental) 541 (Trabalho de campo em 1996)
		B_t - Franco argilo siltosa	Poliédrica sub-angular à angular	1,7	Baixo à muito baixo	
		B_w- Franco argilo siltosa	Poliédrica sub-angular à laminar (em alguns setores)	1,0	Baixo à muito baixo	

Fonte: Dados da análise de laboratório e dos ensaios de campo; Organização:Reis Nakashima/1999

Tabela 3. Síntese dos resultados alcançados com a pesquisa

Forma de relevo (Declividade) Litologia/Solo	Forma de relevo ou forma/ associada aos processos erosivos atuais	Classificação dos índices do penetrômetro de bolso (kgf/cm^2)	Classificação dos índices do infiltrômetro	Classificação da fragilidade ambiental baseada na pesquisa
Alto Topo (0% - 12%) Basalto Amigdaloidal/Latossolo Vermelho, textura argilosa	Erosão laminar	Muito Baixa a Baixa (0,0-1,7)	Muito Rápida (Superfície) Rápida (Sub-Superfície)	112 (uso 1980) 113 (uso atual)
Alto Patamar (0% - 12%) Basalto Amigdaloidal/Latossolo Vermelho, textura argilosa	Erosão laminar	Alta a Muito Alta (>3,5-4,5)	Rápida (Superfície) Muito Lenta (Sub-Superfície)	123(uso atual)
Topo e Baixo Patamar (0% - 12%) Basalto Amigdaloidal/Nitossolo Vermelho	Erosão laminar	Intercalações: Muito Baixa a Baixa (0,0-1,7) Média a Alta (>2,5-3,5)	Não Houve Registro	123
Vertente (> 30%) Basalto de estrutura maciça, Diabásio/ Nitossolo Litólico	Cicatriz de escorregamento; Terracete de pisoteio do gado, Sulco	Alto a Muito Alta (>3,5-4,5)	Lenta (Superfície) Muito Rápida (Sub-Superfície)	434
Vertente de Baixo à Médio Declive (0% - 12%); 12%-20%/ Basalto Amigdaloidal/Nitossolo Vermelho Basalto de Estrutura Maciça/ Neossolo Litólico/Cambissolo	Sulco Terracete de pisoteio do gado	Baixa a Média (>1,7-2,5)	Não Houve Registro	123 (em área de Basalto amigdaloidal com Nitossolo Vermelho) 133/134 (em área de Basalto de estrutura maciça/Neossolo Litólico
Fundo de Vale e Planície Fluvial/ Bassalto de Estrutura Maciça; Basalto Amigdaloidal/ Organossolo, Nitossolo Flúvico	Terraço, sulco, ravina, voçoroca Terraço fluvial da confluência: rio Keller x Ivaí	Alta a Muito Alta (>3,5-4,5) Baixa a Média (>1,7-2,5)	Não Houve Registro Muito Rápida (Superfície) Lenta (Sub-Superfície)	544 543 (uso 1980) 541 (uso atual)

Fonte: Dados extraídos da carta geomorfológica, de fragilidade ambiental e dos ensaios de campo; Organização: Reis Nakashima/1999

- Aplicação dos ensaios de campo

Utilizou-se o penetrômetro de bolso e o infiltrômetro de superfície e sub-superfície.

Os referidos testes foram também utilizados para comprovar as classes de fragilidade ambiental (Tabelas 2 e 3).

Resultados

A Carta de Fragilidade Ambiental da relação relevo-solo, produto síntese desta pesquisa, baseia-se nos graus de fragilidade atribuídos ao relevo-solo e aos graus de proteção advindos do uso da terra/vegetação. A validade desta abordagem decorreu da sua comprovação através dos dados

obtidos na carta de processos erosivos, na análise laboratorial e nos ensaios com o penetrômetro de bolso e o infiltrômetro de superfície e sub-superfície. A observação deste documento cartográfico demonstra que os maiores graus de fragilidade ambiental da bacia do rio Keller concentram-se sobretudo nas Unidades Geomorfológicas I e III, vinculando-se:

- as vertentes de forte declividade (classe 3: 20% - 30%, classe 4: >30%), bem como a classe 5 do relevo, representada pelas planícies fluviais, consideradas de fragilidade muito forte;
- aos solos com classe 3 (Neossolo Litólico e Cambissolo) e 4 (Neossolo Flúvico);
- ao uso da terra/vegetação: classe 4 (pastagem) e 3 (cultivos temporários). Os resultados da análise laboratorial efetuados nos horizontes dos solos, das diversas unidades pedológicas, suas relações com a estrutura dos horizontes dos diversos sistemas pedológicos, correlacionados com os ensaios de campo, e com as classes obtidas na Carta de Fragilidade Ambiental ou no trabalho de campo, constituíram passos fundamentais para a comprovação dos graus de fragilidade ambiental da bacia, ficando comprovado que:

a) Os topos e patamares podem apresentar:

Fragilidade ambiental muito baixa a baixa que se aproximam de uma situação de "estabilidade", correlacionando-se com:

- classes de fragilidade ambiental 112, 113, aliadas às baixas declividades vinculadas ao Latossolo Vermelho, textura argilosa, recoberto por café ou cultivo temporário. Eles estão correlacionados aos horizontes A, Ap, Bw1, Bw2, que apresentam classe textural argila, argila pesada, estrutura granular e poliédrica fina;
- índices do penetrômetro: 0,7 - 1,0 kgf/cm^2;
- índice do infiltrômetro de superfície: muito rápido;
- índice do infiltrômetro de sub-superfície: rápido.

Fragilidade muito baixa a baixa foi correlacionada também a:

- classes de fragilidade 122, 124, inerentes aos patamares de 620 e 420 m de altitude, das Unidades Geomorfológicas I e II, representadas por Nitossolo Vermelho (classe 3), recoberto por café (classe 2) ou por pastagem (classe 4).
- horizonte A, argilo-siltoso, estrutura poliédrica sub-angular, ou granular pequena, média.

Fragilidade muito baixa a baixa foi correlacionada ainda a:

- classes de fragilidade 113, composta por Latossolo Vermelho, textura argilosa, da Unidade Geomorfológica I, 122, inerente ao topo do morro de 500 m de altitude da Unidade Geomorfológica III, 123 presente no topo de 472 m de altitude da Unidade Geomorfológica II, representados por horizonte Ap, classes textural: argila, com estrutura granular média e argila-siltosa, com estrutura granular, pequena, moderada.
- índices do penetrômetro: 0,7; 1,5; 1,7 kgf/cm^2.

Fragilidade baixa a média, vincula-se:

- à classe de fragilidade 112, presente no topo da Unidade Geomorfológica I que possui Latossolo Vermelho, textura argilosa, horizonte Bw1, Bw2, classe textural argila, argila pesada, estrutura poliédrica fina à muito fina. Índice do penetrômetro 2,5 kgf/cm^2.
- à classe de fragilidade ambiental: 122, 123 prende-se ao patamar de 620 m de altitude, da Unidade Geomorfológica I; bem como ao patamar de 440 m, da Unidade Geomorfológica II.
- ao horizonte Bw, classe textural argila-siltosa ou argila, com estrutura poliédrica fina.
- ao índice do penetrômetro: 2,50kgf/cm^2.

Fragilidade média a alta, correlaciona-se:

- à classe de fragilidade ambiental 122, 123, 124 filiadas aos topos patamares de 500 m, 472 m, 460 m, 440 m, 380 m das quatro unidades geomorfológicas;
- ao Nitossolo Vermelho, com horizontes A, Bt1, Bt2, Bw, classe textural argila-siltosa, argila pesada, estrutura poliédrica sub-angular;
- ao índice do penetrômetro > 2,5 à 3,7 kgf/cm^2.

Fragilidade alta a muito alta, correlaciona-se a:

- classe de fragilidade ambiental 123, 124, comuns nos patamares de 680 m de altitude, da Unidade Geomorfológica I, 472 m da Unidade Geomorfológica II, 360-380 m da Unidade Geomorfológica IV, recobertos por Nitossolos Vermelhos.
- horizontes A1, Bt1, Bt2 argila-siltosa, argila pesada; estrutura poliédrica sub-angular à angular;

- índices do penetrômetro = > 3,7 à 4,5 kgf/cm²;
- índice de infiltrômetro de superfície e sub-superfície muito lento a lento.

É importante ressaltar que todas as correlações acima efetuadas convergem para o processo de erosão laminar inerente à posição morfológica destes topos.

b) As vertentes apresentam as seguintes modalidades de fragilidade ambiental:

Fragilidade baixa a média:

- classe de fragilidade ambiental 132, 133 presente na Unidade Geomorfológica II e IV, cujas altitudes encontram-se entre 420m; 380m; 360m, comuns nas altas e médias vertentes com declividade 0% a 12%;
- presença de cambissolos com horizontes A, (B) C, classe textural franco-argila-siltosa a franco-siltosa. Estrutura granular, pequena, média e poliédrica sub-angular média;
- índice do penetrômetro = 1,4 - 2,0 kgf/cm²;
- horizonte C - 20% - 30% de declividade, classe textural franco-siltosa, inerente a alta vertente de 420m de altitude, da Unidade Geomorfológica III;

A correlação destes elementos leva ao desencadeamento de sulcos e terracetes de pisoteio do gado.

Fragilidade alta a muito alta:

- as classes de fragilidade ambiental 223, 224, 433, estão correlacionadas com declividades de 12% - 20%, 20% - 30%l >30%, inerentes às altas e médias vertentes, recobertas por Neossolos Litólicos e Cambissolos.
- classe textural argila-siltosa, com estrutura poliédrica sub-angular, média; argila com estrutura poliédrica sub-angular, grande, pertinentes as altas vertentes da Unidade Geomorfológica III;
- índice do penetrômetro >3,7 - 4,5 kgf/cm²;
- índice do infiltrômetro de superfície: lento. Índice do infiltrômetro de sub-superfície muito rápido.

c) Os fundos dos vales e as planícies fluviais apresentam:

- classes de fragilidades ambiental 543 (da fotografia aérea de 1980); 541 (trabalho de campo, 1996) estão vinculadas ao terraço fluvial de 300m de altitude da Unidade Geomorfológica IV, situadas na confluência dos rios Keller-Ivaí, onde se observa:
- presença de Neossolo Flúvico com horizontes A, C, classes texturais franco-argilo-siltosas, estrutura granular, pequena, média, poliédrica sub-angular.
- índice do penetrômetro de bolso 1,0 kgf/cm² (baixo a baixo).
- índice do penetrômetro de bolso 2,5 kgf/cm² (baixo a médio).
- índice do infiltrômetro de superfície: muito rápido.
- índice do infiltrômetro de sub-superfície: lento, devido a proximidade do lençol freático. Esta situação é passível de desencadear cicatrizes de solapamento basal quando ultrapassar limiares (provocando o desabamento dos sedimentos aluviais saturados com água).

Fragilidade ambiental muito alta:

- correlacionada com o Organossolo da ravina, situado no talvegue de 520 m de altitude da Unidade Geomorfológica I, compatível com a classificação 544. Presença de horizonte A, proeminente, B, C, franco-argilo-siltoso, argila, argilo-siltoso. Estrutura granular e poliédrica sub-angular pequena. Índice de penetrômetro: 3,7 - 4,0 kgf/cm²;
- correlaciona-se também ao solo do terraço do rio Keller, com 380m de altitude, situado na Unidade Geomorfológica II, classe de fragilidade ambiental 544. Apresenta horizonte A, Bt1, Bt2, franco-argilo-siltoso, argiloso, argila-siltoso, com estrutura granular, média, grande; granular à poliédrica; poliédrica sub-angular a angular, índice do penetrômetro entre 3,7 - 4,0 kgf/cm² (considerado médio a alto, alto a muito alto).

As formas dos processos erosivos atuais presentes no fundo dos vales e planícies fluviais são constituídos por:

- **ravinas**: associadas, sobretudo, com as classes de declividades baixas, Nitossolo Vermelho x cultivo temporário, Neossolo Litólico x pastagem, Neossolo Flúvico x cultivo temporário, Neossolo Flúvico x pastagem: Classes 123,124, 134, 223, 234, 434, 543, 544.
- **voçorocas**: distribuem-se nas quatro unidades geomorfológicas da bacia, estão alojadas nas rupturas côncavas, ligadas às cabeceiras de drenagem. As classes de fragilidade ambiental mais freqüentes são, 123, 124, 134, 543, 544. Correlacionam-se, portanto, a Nitossolo x cultivo temporário; Nitossolo x pastagem; Neossolo Litólico ou Cambissolo x pastagem; Neossolo Flúvico x cultivo temporário; Neossolo Flúvico x pastagem.

Estas constatações comprovam:

- que os ensaios com o penetrômetro de bolso apresentam índices entre (0,0 - 1,7 kgf/cm^2) que, embora sejam menos resistentes à penetração, foram considerados de baixa fragilidade ambiental, portanto, mais "estáveis". Os referidos índices correlacionam-se a situações de baixa declividade, dado a seu posicionamento em topos, patamares e vertentes esculpidas em basalto amigdaloidal abrigando Latossolo Vermelho, textura argilosa ou Nitossolo Vermelho. O uso da terra com o cultivo permanente (café) ou temporário imprime média a baixa proteção ao relevo e ao solo. Os processos comuns a esta situação vinculam-se à erosão laminar e à incisão em sulcos.
- que os índices mais altos de resistência à penetração (> 3,7 - 4,5 kgf/cm^2) refletem alta resistência à penetração. No entanto, eles estão associados aos Neossolos Litólicos, posicionados nas vertentes de alta declividade (20% - 30%, > 30%), no basalto de estrutura maciça e no diabásio, recobertos por pastagens. Associam-se também ao fundo dos vales e planícies fluviais ocupados por pastagem que registraram o maior número de ocorrências de processo erosivos atuais, representado por escorregamentos, movimentos coletivos de solos, incisão em sulcos, ravinas, voçorocas, solapamentos basais. Foram, portanto, considerados como "instáveis" e de alta fragilidade ambiental. Conclui-se, portanto, que a baixa ou alta fragilidade ambiental na bacia do rio Keller está vinculada à posição topomorfológica, declividade, estrutura, classe textural do solo, força gravitacional: (vertente de alto declive), graus de proteção associados ao uso da terra/vegetação, circulação hídrica com reflexos na dinâmica erosiva.

A importância da aplicação de ensaios com o infiltrômetro de superfície e subsuperfície nos estudos de fragilidade ambiental foi comprovada pelos seguintes resultados:

- infiltração muito rápida em superfície e rápida em sub-superfície, comum no Latossolo Vermelho, textura argilosa associado aos altos topos que constituem áreas de "maior estabilidade" e menor fragilidade ambiental, favorecendo aos processos de erosão laminar.
- infiltração rápida em superfície, muito lenta em subsuperfície associada ao Nitossolo Vermelho.
- infiltração lenta em superfície muito rápida em subsuperfície constatada em Neossolo Litólico.
- infiltração muito rápida em superfície, lenta em subsuperfície vinculada ao Neossolo Flúvico.

As três últimas situações correlacionam-se aos baixos patamares, vertentes com fortes declividades e fundos de planícies fluviais, que demonstram situações de alta fragilidade ambiental, portanto, de instabilidade do relevo e dos solos, ocasionando cicatrizes de escorregamento, sulcos, ravinas e voçorocas.

Discussão

As pesquisas sobre fragilidade ambiental da relação relevo-solo na bacia do rio Keller, Estado do Paraná, revelam que as maiores classes da fragilidade ambiental, tais como 541, 543, 544, encontram-se nos fundos dos vales e planícies aluviais incluídas na classe 5 do relevo, considerada de fragilidade muito forte e que apresentam Neossolo Flúvico, classe 4, fragilidade muito forte; cultivo temporário, classe 3, que oferece média a baixa proteção ou pastagem classe 4, baixa a muito baixa proteção.

Nesta classificação, incluem-se os terraços, as ravinas com Organossolo e as planícies aluviais.

O terraço aluvial da confluência do rio Keller-Ivaí, inserido na Unidade Geomorfológica IV (Figura 1), obteve classificação 541. Ele possui horizontes A, C1, C2; classe textural argilo-siltosa; textura granular pequena, média, grande, moderada à poliédrica angular.

Os índices do penetrômetro variam entre 1,0-1,7 kg f/cm^2 - 2,5 kg f/cm^2 (considerado baixo a médio). Os testes com o infiltrômetro de superfície registraram em duas leituras consecutivas que 6,75ℓ de água penetraram no solo em 9'5", considerado como índice muito rápido; o penetrômetro de sub-superfície demonstrou em duas leituras que 5,0ℓ de água infiltraram-se em 55cm de solo, no decorrer de 75', índice considerado lento. Tal fato se deve à saturação do solo pela proximidade do lençol freático, que pode desencadear processo de solapamento na base das vertentes e voçorocamento nas cabeceiras de drenagem.

A classificação 541 de fragilidade ambiental foi reforçada, portanto, pela análise de campo laboratório e pelos testes realizados com os infiltrômetros acima descritos.

Situação de alta fragilidade foi verificada nas vertentes retilíneas classificadas nas categorias 433, 434, cujo relevo está incluído na categoria 4, superior a 30% de declividade, considerado de muito forte fragilidade; solo: classe 3, Neossolo Litólico, que apresenta média a forte fragilidade; uso da terra: cultivo temporário, classe 3, considerada de média a baixa proteção.

A classe textural dos horizontes A e C é argilo-siltosa, possuindo estrutura granular, média, moderada, forte.

Os dados do penetrômetro incluem-se entre 3,0 (médio à alto) a 4,0 kg f/cm^2 (alto a muito alto).

O infiltrômetro de superfície registrou na 2ª leitura, que 7,65 L de água percolou o solo em 20' (índice considerado lento), enquanto o infiltrômetro de sub-superfície, em 2 leituras consecutivas consumiu 10,0 L de água que percolou 76 cm de solo em 24`2" (índice considerado muito rápido).

Tais fatos devem-se a forte declividade destas vertentes (>30%), associada aos horizontes argilo-siltosos pouco espessos assentados sobre a rocha. A proximidade do basalto de estrutura maciça ou do diábasio, somada a muito baixa proteção atribuída à pastagem, permitiu que água escoasse rapidamente pelas fraturas destas rochas. Estas interrelações culminaram com o desenvolvimento de cicatrizes de escorregamento, bem como de terracetes de pisoteio do gado.

Fragilidade ambiental classificada como 133, 234, 334 são suscetíveis de desencadear sulcos, terracetes de pisoteio do gado, escorregamentos. Podem levar também ao desenvolvimento de voçorocas.

Os Nitossolos Vermelhos, classificados como 123, são condizentes com classe 1 do relevo: 0% - 12% de declive: fragilidade muito fraca à fraca; classe 2, Nitossolo Vermelho com fragilidade fraca à média; uso da terra, classe 3: cultivo temporário, que oferece média à baixa proteção ao relevo e ao solo. A leitura do penetrômetro registrou índices entre 2,0 - 3,7 - 4,0 kgf/cm^2 em horizontes franco-argilo-siltosos, argilosos, argila pesada.

Os dados do infiltrômetro de superfície demonstraram que 7,25 L de água percolaram o Nitossolo Vermelho em 12', considerado índice rápido.

O infiltrômetro de sub-superfície registrou em duas leituras que 7,60 L de água percolou 51 cm do Nitossolo Vermelho em 105', considerado como índice muito lento, comprovando a má drenagem dos horizontes sub-superficiais deste solo, suscetíveis à instalação de sulcos.

Fragilidade ambiental baixa a muito baixa foi detectada nos altos topos, patamares e vertentes com baixas declividades, classificados como 112, 113. Eles apresentam relevo classe 1, fragilidade muito fraca a fraca; Latossolo Vermelho, textura argilosa, classe 1, fragilidade muito fraca a fraca; uso de terra (café) classe 2, considerado de baixa a média proteção ou cultivo temporário, classe 3, que proporciona média a baixa proteção.

Os horizontes característicos do Latossolo Vermelho, textura argilosa, são Ap, Bw1, Bw2, classe textural argila e argila pesada com estrutura granular, pequena, fraca a poliédrica muito fina.

Os dados do penetrômetro indicaram índices entre 0,7 - 1,0 kgf/cm^2, considerados muito baixos abaixos.

O infiltrômetro de superfície registrou em duas leituras que 7,12 L de água percolou o solo em 10', considerado um índice muito rápido. O infiltrômetro de sub-superfície demonstrou em duas leituras consecutivas que 10,00 L de água se infiltrou em 76 cm de solo em 24'20", considerado índice rápido.

Estas interrelações resultaram no bom desenvolvimento destes perfis de solo. Sua forma de uso, café, oferece alta a média proteção, o cultivo temporário, média a baixa proteção, desencadeando erosão laminar nos topos ou, em forma de sulcos, nas vertentes de baixo declive.

As características morfopedológicas, o sistema de drenagem do perfil respondem por seu baixo grau de fragilidade ambiental.

Ao finalizar o artigo, fica comprovada a grande eficácia da Carta de Fragilidade Ambiental e da análise integrada da paisagem, para o estudo de Planejamento Territorial de cunho ambiental.

Referências

ALVES, F. R. F.; REIS NAKASHIMA, M. S. Análise da dinâmica dos processos erosivos no vale do Rio Keller-Pr. *In*: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3, 1993 (s. 1). Ponta Grossa. *Anais...* Ponta Grossa: UERPG/UEL/UEM, 1994, p.172.

BACCARO, C. A. D. *Estudos dos processos geomorfológicos de escoamento fluvial em área de cerrado*. 1990. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. 3.ed. São Paulo: Ícone, 1990.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. *Caderno de Ciências da Terra*, São Paulo, v. 13, p1-27, 1968.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, Y, Z. Visão integrada da problemática da erosão. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 3, 1985, Maringá. *Anais...* Maringá: IBGE - ADEA, 1985.

CARSON, M. A. KIRKBY, M. J. *Hillslope form and process*. Cambridge: Cambridge Unversity Press, 1972

CASSETTI, V. *Ambiente e apropriação do relevo*. 2.ed. São Paulo: Contexto, 1995.

CHORLEY, R. J. *The hillslope hidrology cicle. Hillslope hidrology*: KIRKBY, M. J. (Ed.). Chichester: J. J Willy & Sons, 1978.

CHORLEY, R. J.; KENEDY, B.A.. Physical geography: *a systems approach*. London: Prentice Hall int. Inc., 1971.

CRUZ, O. *Estudo dos processos geomorfológicos do escoamento pluvial na área de Caraguatatuba*. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1992.

DE PLOEY, J. The ambivalente effects of some factores of erosion. *Mem. Inst. Geol. Louvrain Lenvon,* Belginn, v. 31, p. 171-181, 1981.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos.* Brasilia: Embrapa, 1999.

GRIGORIEV, A. A. *The theorethical of modern plysical geography in the interation of sciences in the study of the earth*. Moscow: Progress Pinfishen, 1968.

ITCF - INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS. *Atlas do Estado do Paraná*. Escala: 1:. 1.400.000. Curitiba, 1987.

JORGE, J. A. *Física e manejo dos solos tropicais*. São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola Campinas, 1985.

MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná*. Curitiba: BADEP/UFPR/IBPT, 1968.

MARQUES, J. Q. A. *et al*. Perdas por erosão no Estado de São Paulo. *Bragantia,* Campinas, 20, p.1143-1181, 1961.

MORO, A. D. *Substituição das culturas, modernização agrícola e organização do espaço rural no norte do Paraná*, 1992. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Rio Claro, 1992.

PRANDINI, F. L. (Coord.). Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente: Condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana. IPT (IPT Publicação 1153, Monografias 3), São Paulo, 1982.

REIS NAKASHIMA, M. S. *Análise dos processos erosivos e da fragilidade ambiental na bacia do rio Keller-Pr*, 1999. Tese (Doutorado). Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

REIS NAKASHIMA, M. S. *et al*. Dinâmica do uso do solo agrícola no vale do Rio Keller-Pr. *In*: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEM, 4, 1992, Maringá. *Anais...* Maringá: UEM, 1992; p.67.

RODRIGUES, S. C. *Análise empírica experimental da fragilidade relevo-solo no cristalino do planalto paulistano: sub-bacia do Reservatório Billings.* 1998. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

ROSS, J. L. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos da taxonomia do relevo. *Revista do Departamento de Geografia*, n.6, p.17-29, 1992.

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

SALOMÃO. F. X. T. *Processos erosivos lineares em Bauru - SP: regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural*. 1994. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

SOTCHAVA, V. B. O estudo dos geossistemas. Métodos em Questão, 16. IGEOG - USP. São Paulo, 1977, p. 1-52.

SOTCHAVA, V. B. Por uma teoria de classificação de geossistemas da vida terrestre. *Biografia*, São Paulo, v. 14, p.1-24, 1978.

TRICART, J. Mise au point: *l`evolution de versants*. L`information geographique. v.21. Paris, 1957.

TRICART, J. *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro: Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE 1977.

Received on September 05, 2001.
Accepted on November 19, 2001.