

CARACTERIZAÇÃO DE INDICADORES DA EROÇÃO DO SOLO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS COM O SUPORTE DE GEOTECNOLOGIAS E MODELO PREDICTIVO¹

Antonio Marcos Machado de Oliveira²

Sérgio dos Anjos Ferreira Pinto³

Francisco Lombardi Neto⁴

RESUMO

O trabalho apresenta uma aplicação das geotecnologias (Sensoriamento Remoto e SIG) na seção do alto curso da bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, à montante da cidade de Iracemápolis, S.P. O objetivo foi indicar a importância da aplicação daquelas técnicas, com o suporte do modelo EUPS, como subsídio ao planejamento sustentável do uso das terras, com ênfase na ocupação agrícola. A partir da análise dos dados, foram geradas cartas de síntese referentes aos indicadores da erosão hídrica do solo: potencial natural de erosão (PNE), riscos e expectativa de erosão em relação à ocupação agrícola das terras. Além disso, a série de fotos, obtidas através do trabalho de campo, possibilitaram avaliar as limitações do modelo EUPS em determinadas situações.

Palavras-chave: Uso da Terra, Sensoriamento Remoto, SIG, Erosão, Modelo EUPS

ABSTRACT

GEOTECNOLOGIES AND PREDICTIV MODEL FOR CHARACTERIZATION SOIL EROSION POTENTIAL AND RISKS IN WATERSHEDS

This paper shows na application of the geotecnologies (Remote Sensing and GIS) in the section, of the high course of the basin of the River Cachoeirinha, above the town of Iracemápolis, S.P. The objective was to indicate the importance of the application of those techniques, with the support the USLE (Universal Soil Loss Equation) model, as a subside to the sustainable planning of the land use emphasizing the agricultural occupation. From the analysis of the data syntheses maps were produced referring to the indicators of hidric erosion of the soil: natural potential of erosion (NPE), risksand expectancy of erosion in relation to the agricultural occupation of the lands. More over, the series of photos, obtained though the field work, made it possible to evaluate the limitations of the USLE model in some situations.

Key words: Land Use, Remote Sensing, GIS, Erosion, USLE model

¹ Parte da tese de doutorado “Aplicação de geotecnologias e do modelo eups como subsídio ao planejamento do uso da terra: estudo de caso no alto curso da microbacia hidrográfica do ribeirão Cachoeirinha, Iracemápolis, S.P

² Professor do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (taba@ig.ufu.br)

³ Professor do Instituto de Geociências e Ciências Exatas da UNESP – Rio Claro (sanjos@rc.unesp.br)

⁴ Pesquisador do Instituto Agrônomo de Campinas (flombard@iac.br)

INTRODUÇÃO

Muitos pesquisadores vêm desenvolvendo trabalhos procurando detectar e caracterizar áreas que apresentam impactos ambientais decorrentes das intervenções antrópicas. Um tipo de impacto ambiental é a erosão dos solos, provocada especialmente pela pressão do uso agrícola das terras.

Afinal, a simples retirada da vegetação, para inserção de uma agricultura de subsistência, já promove alterações em alguns elementos do meio físico local, principalmente aquelas relacionadas a algumas propriedades do solo. Logo, o uso intensivo das terras cultiváveis, caracterizado não só pela retirada da vegetação natural, mas sobretudo pela intensa mecanização e emprego de insumos, pode torná-las inóspitas, além de causar sérios danos ao meio ambiente.

Para a caracterização dos processos da erosão hídrica dos solos, é necessário analisar os elementos do meio físico que participam desse processo, como por exemplo, o declive do terreno, o comprimento das vertentes, a intensidade das chuvas, os solos, além do uso/ocupação das terras, que inclui a cobertura vegetal natural e aquelas produzidas pela ação antrópica.

Na contextualização de uma bacia hidrográfica, como unidade de observação e intervenção, pode-se deduzir que, para a elaboração e aplicação de um plano de gestão eficaz, deve-se obter o máximo de dados possíveis sobre a realidade pesquisada, e isso pode ser viabilizado e agilizado através dos instrumentais (Sensoriamento Remoto e SIG, respectivamente). Isso é possível, uma vez que estes, proporcionam a aquisição, a análise e a integração dos dados, gerando informações que conduzem ao entendimento e conexão dos fragmentos da realidade, permitindo assim uma aproximação do conjunto da realidade pesquisada.

Quanto mais próximo da realidade, maior a possibilidade de haver uma contribuição efetiva do trabalho científico voltado para o planejamento. E isso ocorrerá com êxito quando o instrumental tecnológico for utilizado por uma equipe, preferencialmente interdisciplinar. Contudo, o raciocínio deve prevalecer sobre os instrumentos para que haja uma garantia maior de sucesso.

Nesse artigo, há uma apresentação dos resultados obtidos a partir da aplicação do modelo EUPS conjugado ao SIG-IDRISI em uma seção do alto curso da bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, à montante da cidade de Iracemápolis, (S.P.). O objetivo foi demonstrar a importância da aplicação daqueles sistemas para a aquisição e análise de dados que possam subsidiar o planejamento do uso das terras e levantar questões referentes à inserção no contexto das pesquisas geográficas.

Quanto aos objetivos específicos, destaca-se a elaboração de cartas sínteses relativas ao potencial natural de erosão (PNE), o risco de erosão e a expectativa de erosão em relação ao uso das terras, face às características dos elementos do meio físico da área analisada. Além disso, foram avaliadas as limitações do modelo EUPS - Equação Universal de Perda de Solo (Wischmeier e Smith, 1978), adaptado por Bertoni e Lombardi Neto, 1985 em determinadas situações e algumas considerações reflexivas a partir dos resultados obtidos.

Deve-se ressaltar que a realização desse exercício prático na sub-bacia do Ribeirão Cachoeirinha deve-se ao fato da mesma estar inserida no Programa Estadual de Microbacias Hidrográficas, situando-se numa região de grande importância sócio-econômica no Estado de São Paulo. Trabalhos já realizados disponibilizaram dados básicos detalhados, possibilitando a condução dessa pesquisa.

II. A ÁREA DE ESTUDO

O alto curso da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha (figura 1) está localizado no Município de Iracemápolis, Estado de São Paulo (22°35'30"S e 47°31'Wgr) à montante da sede municipal, e possui uma área total de 1474 ha.

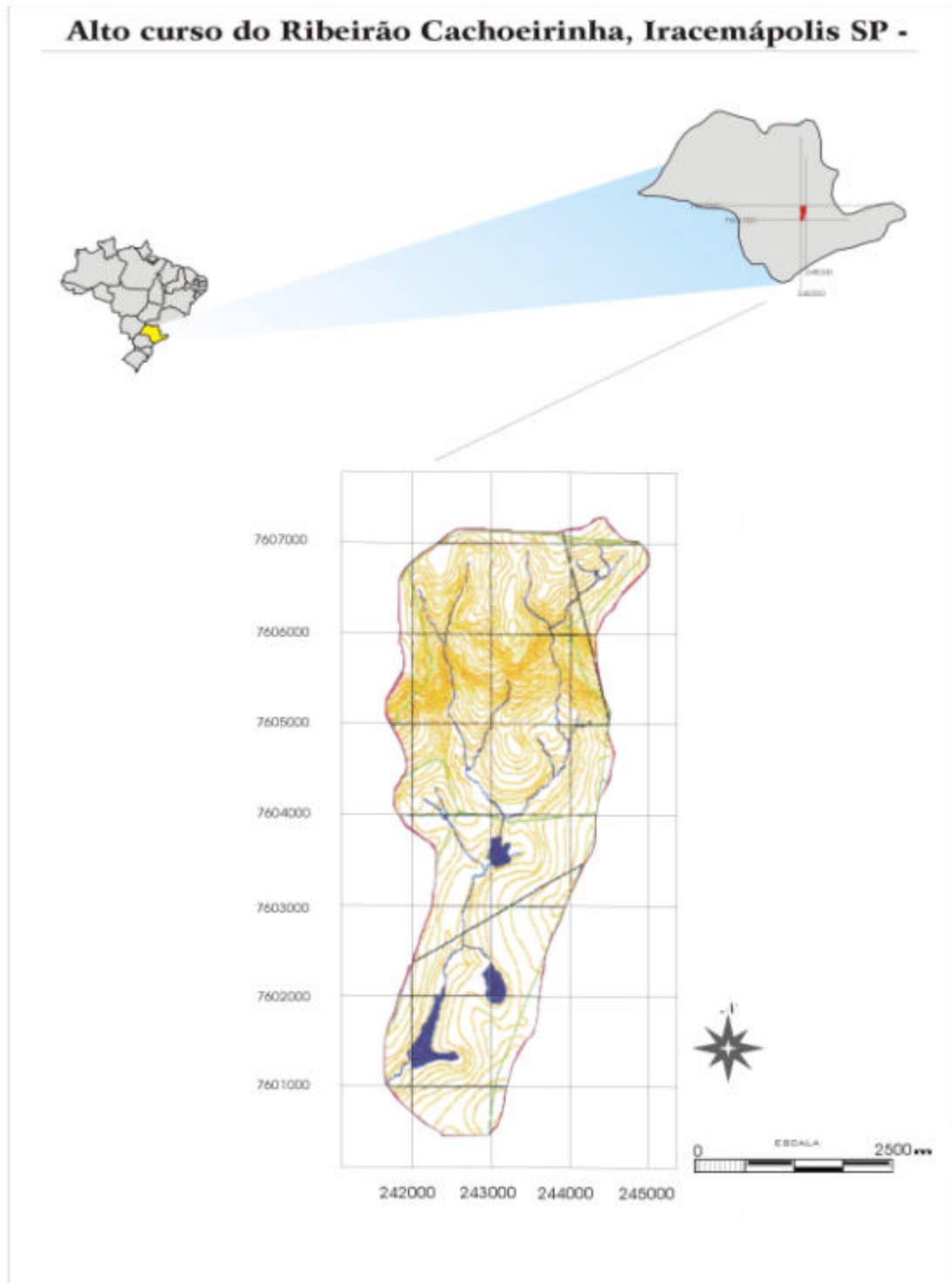


Figura 01. Área de estudo: Alto curso do Ribeirão Cachoeirinha, Iracemápolis SP -

Esta bacia se encontra na Zona do Médio Tietê, dentro da zona fisiográfica denominada Depressão Periférica Paulista, na região de Piracicaba/Limeira. Conforme IPT (1981), é uma zona constituída principalmente por sedimentos mesozóicos com áreas expressivas de intrusões de rochas básicas com reflexos na sua topografia. Apresenta colinas amplas, onde predominam os interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos.

Os principais tipos de solos encontrados na microbacia do Ribeirão Cachoeirinha, conforme o levantamento realizado por membros do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), são os seguintes: latossolo roxo, solo litólico, latossolo vermelho-amarelo, glei super húmico, latossolo vermelho-escuro, latossolo vermelho escuro e terra roxa estruturada (figura 2).

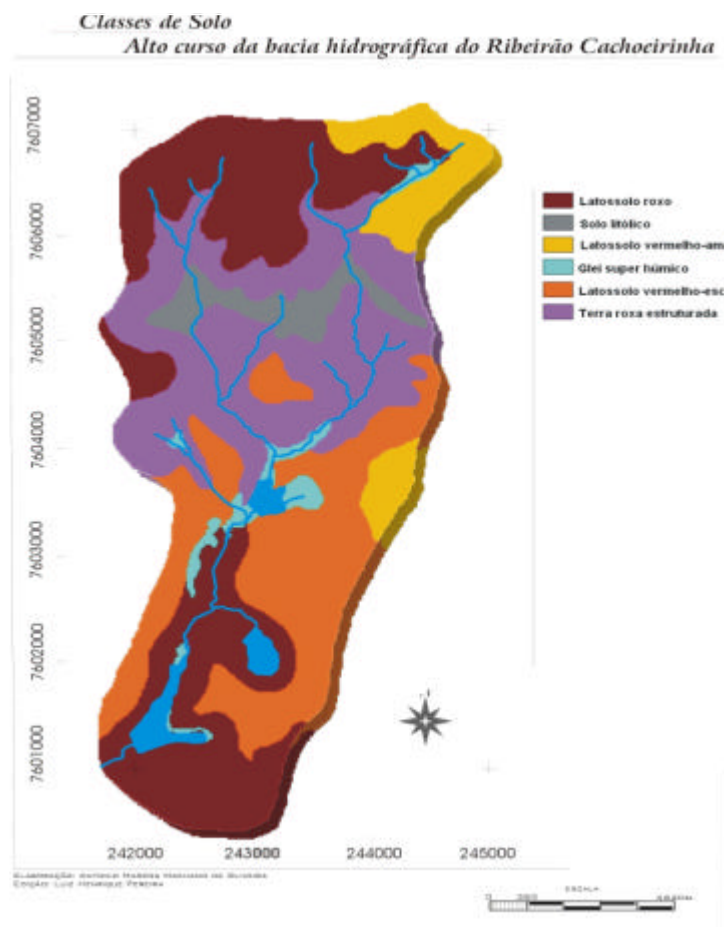


Figura 2. Classes de solos

O clima é caracterizado pelo inverno seco com uma precipitação média mensal para os meses mais secos (abril a setembro) de 48,5 mm e a temperatura média do mês mais frio é inferior a 18^oC. O verão é chuvoso, apresentando uma precipitação média mensal de 163 mm (outubro a março) e a temperatura do mês mais quente ultrapassa os 22^oC. O índice pluviométrico anual é de 1265,6 mm, conforme os dados referentes ao posto D4-064, situado no município de Limeira, S.P. (lat. 22° 33' e Long. 47° 21'), junto às cabeceiras dos formadores do Ribeirão Cachoeirinha e apresenta dados do período 1966 a 1996.

III. A ABORDAGEM METODOLÓGICA

Este trabalho foi desenvolvido considerando os seguintes materiais/equipamentos e abordagem metodológica.

3.1. MATERIAIS

- Bases digitais em formato DXF, adquiridas junto ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), com os seguintes temas:
 - Cartas topográficas digitais - MNT (Modelo Numérico do Terreno) e rede de drenagem elaborados a partir das cartas topográficas, escala 1:10.000;
 - Mapa de solos;
 - Mapa de Classes de uso da terra, a partir de fotografias aéreas (1996) na escala 1:25.000 e apoio de campo;
- Software SIG-IDRISI para suporte à análise e integração dos dados;
- Microcomputador pentium; impressora; scanner e GPS.
- GPS, para apoio de campo.

3.2. ABORDAGEM METODOLÓGICA

- O trabalho prático está estruturado em três segmentos operacionais:
- Levantamento de dados do meio físico e uso da terra, referentes aos parâmetros do modelo da Equação Universal de Perda de Solo – EUPS (Wischmeier e Smith, 1978) modificada por Bertoni e Lombardi Neto (1985);
 - Integração dos dados no SIG/*IDRISI* e;
 - Discussão dos resultados.

3.2.1. PARÂMETROS DO MODELO EUPS

Como já visto, EUPS (Wischmeier & Smith, 1978) modificada por Bertoni e Lombardi Neto (1985), é expressa genericamente por: **A= R.K.L.S.C.P.**

Sendo que:

A, é a perda de solo total por unidade de área;

R, fator erosividade;

K, fator erodibilidade dos solos;

LS, fator topográfico, sendo L, fator declividade, e S, fator comprimento de vertente;

C, fator cobertura vegetal/manejo do uso do solo;

P, práticas conservacionistas.

3.2.1.1. EROSIVIDADE (R)

Para a área de estudo utilizou-se do Sistema para Cálculo da Erosividade da Chuva para o Estado de São Paulo (Lombardi Neto et.al., 2000), com base na proposta de Bertoni e Lombardi Neto (1985).

A equação para cálculo da erosividade utilizada pelo sistema é:

$$\text{Elmusal} = 89.823 * (r^2/P)^{0.759}$$

Onde:

El mensal é a erosividade média mensal do mês i, em MJ mm/ha h;

r, é a precipitação média mensal do mês i, em mm;

P é a precipitação média anual, em mm;

A soma dos El mensais dá o valor de R anual.

Esse sistema gerou uma tabela de valores de erosividade para a área, conforme apresentado na tabela abaixo.

Tabela1. Índice de erosividade

FATOR R		
Latitude	Longitude	R
		MJmm/ha.h
34° 40'	47° 31'	6877
34° 40'	47° 31' 10''	6878
34° 40'	47° 31' 15''	6879
34° 45'	47° 31'	6878
34° 45'	47° 31' 10''	6878
34° 45'	47° 31' 20''	6879
34° 50'	47° 31'	6878
34° 50'	47° 31' 10''	6878
34° 50'	47° 31' 20''	6879
34° 55'	47° 31'	6878
34° 55'	47° 31' 10''	6879
34° 55'	47° 31' 20''	6879

3.2.1.2. ERODIBILIDADE (K)

O parâmetro erodibilidade (K) do solo, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), refere-se à suscetibilidade de um solo à erosão, sendo que o mesmo varia naturalmente conforme as características físicas do solo e se modifica conforme o tipo de solo.

O mapa de solos da área foi elaborado pelo IAC, primeiramente a partir de fotografias aéreas na escala 1:25.000, trabalho de campo e análises físico-químicas, e posteriormente conduzido no SIG-ILWES, para transformação dos dados em formato digital.

BERTONI E LOMBARDI NETO (1985) estabeleceram, para vários solos, o valor de K, bem como de sua tolerância de perda.

$$K = [(Argila\ Natural/Argila)/(Argila/UE)] \times (1/9.81)$$

Argila natural ou argila dispersa em água em %

Argila - argila dispersa em soda – em %

UE – umidade equivalente ou equivalente de umidade – em %

A tabela 2 mostra os valores de erodibilidade para as classes de solos apresentadas na área.

Tabela 2. Valores de erodibilidade e tolerância

IRACEMÁPOLIS	Erodibilidade	Tolerância
	t.h/MJ.mm	t/ha
Latossolo Roxo distrófico	0,0128	13,0
Latossolo Roxo eutrófico	0,0098	13,0
Latossolo vermelho escuro distrófico	0,0175	15,0
Latossolo vermelho escuro eutrófico	0,0167	12,3
Latossolo vermelho amarelo distrófico	0,0298	12,8
Terra Roxa Estruturada eutrófica	0,0181	13,4
Solo Litólico eutrófico	0,0442	6,7

3.2.1.3.FATOR TOPOGRÁFICO (FT)

Para Bertoni e Lombardi Neto (1985) a intensidade da erosão pela água tem estreita relação com o comprimento do declive e seu gradiente. Baseando-se nesse fato, os autores mencionados definem o fator(LS) como sendo “a relação esperada de perdas de solo por unidade de área em um declive qualquer em relação a perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive”.

Os autores(op.cit.) formularam a seguinte equação para o cálculo do fator topográfico (FT):

$$FT=0,00984.L^{0,63}.S^{1,18}$$

Onde:

FT – fator topográfico;

L – comprimento de vertente em metros;

S – grau de declive em %.

Os dados do fator topográfico foram obtidos a partir das bases cartográficas digitais implementadas no sistema de informações geográficas IDRISI.

a) COMPRIMENTO DE VERTENTE (L)

Para a obtenção dos valores desse termo, considerou-se o espaçamento de terraços estabelecido para as áreas de cana-de-açúcar, conforme proposto por Lombardi Neto et.al.(1994), uma vez que esse uso é predominante na área em questão. Os valores foram generalizados para os demais usos. Tais valores foram obtidos da seguinte forma:

$$E.H. = 100.EV/D$$

Onde:

EH – espaçamento horizontal

EV – espaçamento vertical de terraços (7 metros para áreas de cana usada pela Usina)

D – declividade em porcentagem

Esse procedimento foi conduzido no SIG-IDRISI, utilizando o módulo *image calculator* e, em seguida, reclassificou-se a imagem obtida definindo as seguintes classes em metros: menor que 50, 50 a 100, 100 a 150 e maior que 150.

b) CLASSES DE DECLIVIDADE (S)

A declividade foi obtida através de uma base digital vetorial MNT - Modelo Numérico de Terreno (IAC), implementada no SIG-IDRISI.

A partir desta base foi criado um DEM (digital elevation model), possibilitando gerar a hipsometria e a declividade do terreno.

Os procedimentos necessários à criação do DEM são os seguintes:

- Criação de uma nova imagem no módulo *initial*;
- Rasterização dos vetores MNT a partir do módulo *reformat*;
- Interpolação dos dados no módulo *surface analysis-intercon*;
- Utilização de um filtro mediana (3X3) para a retirada de resíduos.

A hipsometria foi elaborada no módulo *reclass* utilizando-se dos parâmetros definidos pelo usuário, o que possibilitou o fatiamento das cotas altimétricas de 10 em 10 metros, numa amplitude que varia de 595 a 810 metros na área.

Para a obtenção da declividade, o DEM foi submetido ao módulo *surface analysis-topographic variables* e, em seguida ao módulo *reclass* onde definiram-se seis classes de declive (em %), conforme Donzeli, et.al. (1992, p.105): 0 a 3, 3 a 6, 6 a 12, 12 a 20, 20 a 40 e acima de 40, respectivamente.

3.2.1.4. AQUISIÇÃO DE DADOS DO USO DA TERRA (C)

As classes de uso da terra foram obtidas a partir da base digital fornecida pelo IAC e pelo ajuste realizado no campo com apoio de GPS. A base inicial foi realizada a partir de fotografias aéreas na escala 1:25.000 (aerolevanteamento de 1996), com posterior transferência a partir do aparelho Kartoflex Zeiss, para a escala 1:10.000.

A partir dessa base, realizou-se verificação de campo com o auxílio de GPS, onde se podem incluir áreas de capoeira não mapeadas anteriormente. Além desse procedimento, também foram delimitadas as áreas de mata ciliar através de um “buffer” de 30 metros, a partir da drenagem, de acordo com a Lei nº 7.803/89 do Código Florestal. Essa etapa foi realizada no SIG-IDRISI, utilizando-se dos módulos *distance* e *reclass*.

Com base nas informações de uso da terra, foram definidos os dados referentes ao fator C da EUPS. Os valores encontram-se relacionados na tabela 7, confeccionada a partir das tabelas de Donzelli et al.(1992) e Pinto (1995).

Tabela 3. Valores do fator C da EUPS para as diferentes classes de uso da terra

uso da terra	valores do termo C
Mata ciliar , várzea e capoeira	0,0004
Reflorestamento	0,0489
Pastagem	0,0075
Cobertura residual	0,0100
cana	0,0500

Por sua vez, para o termo P (práticas conservacionistas), utilizou-se da equação proposta por Lombardi Neto (relatório anual, 1995) onde a declividade é considerada fator limitante. Essa equação é expressa por:

$$P = 0.69947 - 0.08991 * S + 0.01184 * S^2 - 0.00035 * S^3$$

Onde: P, práticas conservacionistas (declive menor que 0,5%, P = 0,6; declive maior que 20%, P = 1,0) e,
S, declividade em %.

3.2.2. INTEGRAÇÃO DOS DADOS NO AMBIENTE IDRISI:

No ambiente desse sistema foram desenvolvidas as seguintes etapas:

- Caracterização do potencial natural à erosão (PNE) conforme IPT (1986), Pinto (1991) e Donzeli et al. (1992), com o apoio da formulação da EUPS ajustada por Bertoni e Lombardi Neto (1985);
- Definição do uso da terra permissível (CP permissível) com base na formulação da EUPS, conforme já proposto em Donzeli et al. (1992);
- Determinação da expectativa de erosão para a área de estudo de acordo com Donzeli et al. (1992).

3.2.2.1. POTENCIAL NATURAL DE EROSIÃO (PNE)

O potencial natural de erosão (PNE) é indicado a partir da integração de dados dos fatores da EUPS, que se referem a elementos do meio físico, considerando a erosividade da chuva, erodibilidade do solo e fator topográfico. Assim, o potencial natural de erosão pode ser indicado como segue:

$$PNE = R.K.L.S.$$

Os dados referentes aos termos desta formulação foram integrados no IDRISI a partir do módulo de operações matemáticas (*image calculator*). Em seguida, esses dados obtidos foram correlacionados à tolerância dos solos, definindo-se assim as classes de PNE, conforme discutido em Donzeli et al. (1992). Estes valores são apresentados na tabela 4.

Tabela 4. Classes de Potencial Natural de Erosão

categorização qualitativa de PNE	PNE classificado de acordo com a tolerância dos solos	Área em hectares
ausente	0 – 1	37
baixo	1 – 2	0
médio	2 – 10	408,5
alto	10 – 100	903
muito alto	> 100	65,5

3.2.2.2. USO PERMISSÍVEL DA TERRA

De acordo com Wischmeier & Smith (1978), quando a perda de solo por erosão é referenciada a uma dada tolerância (T), esta pode substituir o termo A (valor de perda) da EUPS. Através dos valores T, é possível obter valores do fator C permissível em relação às tolerâncias de perdas por erosão para cada tipo de solo, considerando o fator P igual a 1 (plântio vertente abaixo). Para a indicação de

valores de C permissível, utiliza-se a relação, conforme já apontado em Donzelli et.al. (1992):

$$CP \text{ permissível} = T / PNE$$

Por sua vez, na tabela 2, já apresentada, (adaptada de Bertoni e Lombardi Neto, 1985) mostra os valores da tolerância de perdas (valor T) para cada tipo de solo da área.

Tal procedimento foi também realizado no módulo de operações matemáticas do *IDRISI* e o mapa resultante foi reclassificado conforme a tabela.6, ajustada de Donzelli et al. (1992) que considera o uso da terra permissível condicionante do risco à erosão.

Tabela 5. Valores de C permissível e graus/riscos à erosão

risco à erosão	valor de Cpermissível	Área em hectares
baixo	> 0,02	541
médio	0,020 – 0,001	784,5
alto	<0,001	136,5

Fonte: Donzelli et.al. (1992)

A tabela demonstra que quanto mais próximo de zero (0), o uso torna-se mais restrito, pois sua capacidade de resistir à erosão é muito baixa, portanto apresentando risco alto à erosão do solo.

Em seguida, determinou-se a expectativa de erosão em relação ao uso da terra, que, de acordo com Donzelli et al. (1992), se obtém a partir da discrepância entre o uso atual da terra e o uso permissível da terra.

Os cruzamentos foram executados no módulo *overlay* do *IDRISI* e os mapas resultantes foram reclassificados no módulo *reclass* em três categorias, baseando-se no intervalo de classes por eles apresentados, como mostra a tabela abaixo:

Tabela 6. Classes de expectativa de erosão

valores de expectativa	classes qualitativas	Área em hectares
< 0	ausente	337,5
0 – 0,05	baixa expectativa de erosão	582,5
> 0,05	média expectativa de erosão	494

IV. Apresentação e discussão dos resultados

O modelo EUPS é voltado para a previsão e quantificação das perdas de solo por erosão, principalmente aquela promovida pelo escoamento superficial das águas pluviais. Assim como outros, foi elaborado a partir de dados experimentais obtidos de análises detalhadas em talhões experimentais e pequenas bacias hidrográficas (Bertoni e Lombardi Neto, 1985).

As perdas de solos são promovidas principalmente pela erosão hídrica, que se divide basicamente em erosão em lençol causada pelo escoamento laminar, e a erosão em sulcos (ravinações e voçorocas), a partir do escoamento concentrado.

No que se refere aos fatores condicionantes dos processos de erosão, destacam-se as características da chuva, a topografia, a natureza dos solos, a

cobertura vegetal e a ação antrópica (Wischmeier, 1977, apud Pinto, 1983 ; Kirkby e Morgan, 1980; Bertoni e Lombardi Neto, 1985; e Lal, 1990).

Bertoni e Lombardi Neto (1985) destacam que a ação erosiva das águas pluviais ocorre no momento em que a gota de chuva colide com o solo. Primeiramente há um desprendimento das partículas de solo, depois as mesmas são transportadas por salpicamento e, por fim, as gotas imprimem energia, em forma de turbulência, à água de superfície, causando o escoamento e o transporte de partículas. A capacidade de transporte de solo, imprimida pelas gotas de água que caem na superfície, varia com o tamanho das gotas e com a velocidade do seu impacto.

Ao caírem, as gotas provocam a compactação do solo, diminuindo sua capacidade de infiltração, e assim em chuvas mais intensas aumenta a velocidade das enxurradas.

Para a bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha a média de erosividade é de 6828 MJmm/ha.h, como determinado a partir do Sistema para Cálculo da Erosividade da Chuva para o Estado de São Paulo.

De acordo com Wischmeier, Johnson e Cross (1971); e Lal (1990) a susceptibilidade do solo à erosão é definida como erodibilidade. Esta por sua vez, constitui-se numa propriedade inerente ao solo, e é influenciado por suas características, que, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1985), são principalmente aquelas que afetam a capacidade de infiltração e permeabilidade do solo e sua capacidade de resistir ao desprendimento e transporte pela chuva.

De maneira geral, os solos da área de estudo não apresentam grande erodibilidade, afinal o mais susceptível, que é o solo litólico eutrófico, corresponde a apenas uma pequena parcela da área.

Em relação à topografia, destaca-se a importância da declividade do terreno e o comprimento de vertente. O grau de declividade do terreno exerce influência direta sobre a quantidade de perda de solo por erosão, pois, quanto maior seu gradiente, maior a intensidade de escoamento das águas sob o efeito da gravidade, sendo, portanto, menor o seu tempo disponível para a infiltração no solo.

O alto curso do Ribeirão Cachoeirinha não possui, de maneira geral, fortes declives, pois 84 % da área apresentam uma declividade abaixo de 12 % e somente 6 % da área estão acima de 20 % de declive. Tal fato pode ser comprovado no mapa (figura 3).

Em relação ao comprimento de vertente, quanto maior, mais forte será a enxurrada, produzindo grande número de sulcos e causando maiores perdas de solo nas partes mais baixas. Na área estudada os comprimentos de vertentes são pouco acentuados como verificado na figura 4, não tendo assim, grande influência no risco de erosão.

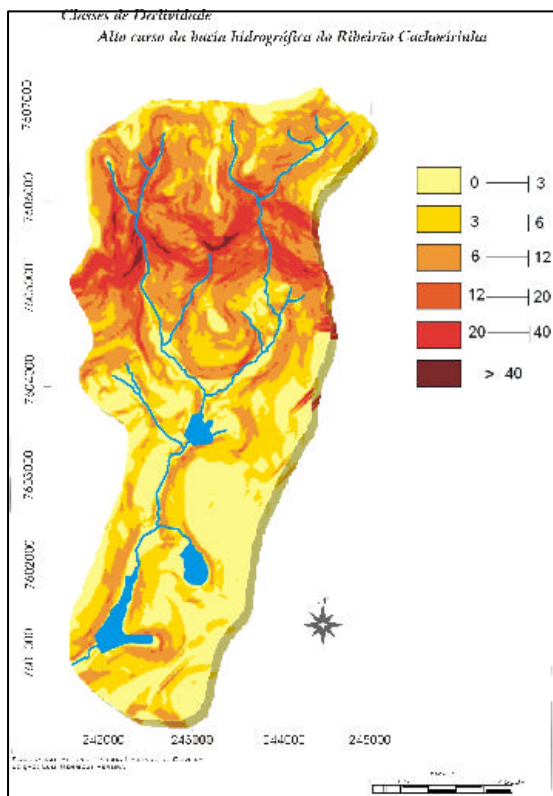


Figura 3. Classes de declividade

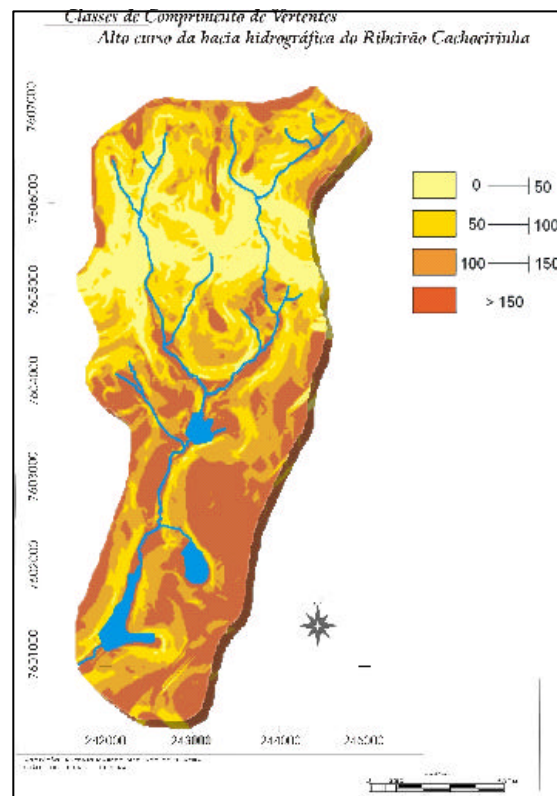


Figura 4. Classes de comprimento de vertentes

A integração desses fatores naturais do meio físico permite a determinação do potencial natural de erosão. Como observado na figura 5, os maiores valores do PNE, obtidos através do modelo EUPS, estão localizados justamente nas áreas de maior declive, na presença de um solo mais vulnerável, como o solo litólico eutrófico. Contudo, há um predomínio de um potencial natural de erosão, variando de médio a alto, em toda a bacia.

Quando se associam os valores de potencial natural de erosão (PNE) com os valores de perdas toleráveis para cada unidade de solo (T), obtém-se o risco de erosão (figura 6) que conforme Donzelli et.al. (1992), se constitui num atributo indicativo para o uso adequado da terra, em termos dos limites de tolerância de perdas para cada tipo de solo. Ele é um indicador do provável ajuste da ocupação agrícola dos solos, em referência às características de elementos do meio físico, intervenientes no processo de erosão (Stein et.al., 1987).

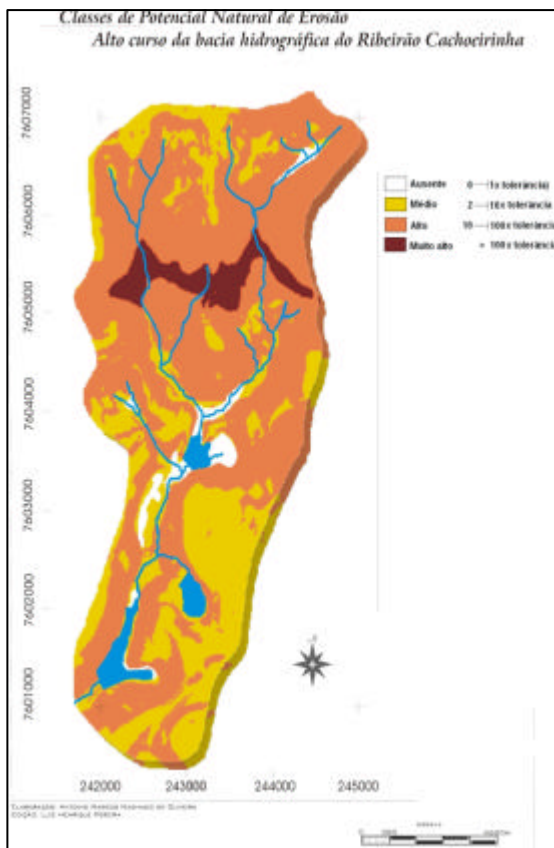


Figura 5. Potencial natural de erosão

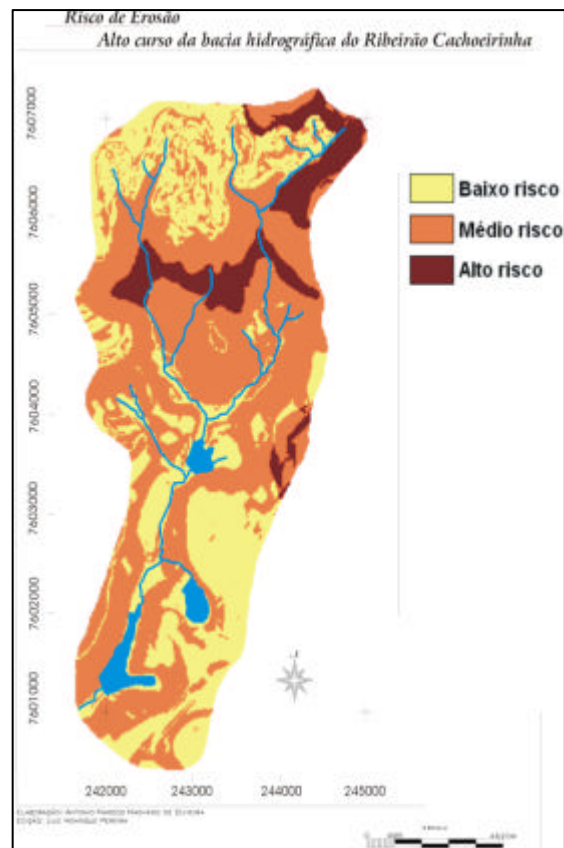


Figura 6. Classes de risco de erosão

O passo seguinte foi relacionar aos condicionantes naturais dos processos erosivos, o uso da terra, que se constitui nas formas de ocupação antrópica do espaço.

No alto curso da bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, o mapa de uso da terra (figura 7) revela que há um predomínio de cana-de-açúcar (75% da área). Do restante da área 10%, estão ocupados por capoeira, 1,5% de mata ciliar, 0,5% de reflorestamento e 10% de cobertura residual (capim-colônião, mamonas, entre outros), como demonstra a tabela abaixo.

Tabela 7. Classes de uso da terra

USO DA TERRA	ÁREA
Cana-de-açúcar	75 %
Reflorestamento	0,5%
Capoeira	10%
Cobertura residual	10%
Mata ciliar	1,5%
Outros	3%

Em decorrência disso, a ânsia de obter o máximo de produção conduz a uma maximização do emprego de agrotecnologias (mecânica, química e biológica), além de promover uma retirada quase que total da cobertura vegetal. E o desmatamento para uso agrícola, realizado de modo desordenado, sem levar em consideração a

capacidade de uso das terras, promove sérios problemas de erosão e degradação do solo e água.

A inadequação do uso da terra gera uma série de problemas, tanto para as comunidades rurais como urbanas, que podem ser resumidos nos seguintes: perda de solo pelo arraste de partículas, reduzindo a produção e a produtividade agrícolas; assoreamento dos cursos d'água e contaminação das águas por agrotóxicos e produtos químicos, que são carregados juntamente com as partículas de solo. Estes dois últimos podem comprometer seriamente o abastecimento d'água da zona rural e das cidades.

A partir da discrepância entre o uso da terra e o risco de erosão determina-se a expectativa de erosão (figura 8), conforme Donzelli et.al. (1992). O modelo EUPS aponta para uma predominância de expectativa de erosão que varia de baixa a média (75% da área), sendo 41% para a primeira e 34% para a segunda, respectivamente.

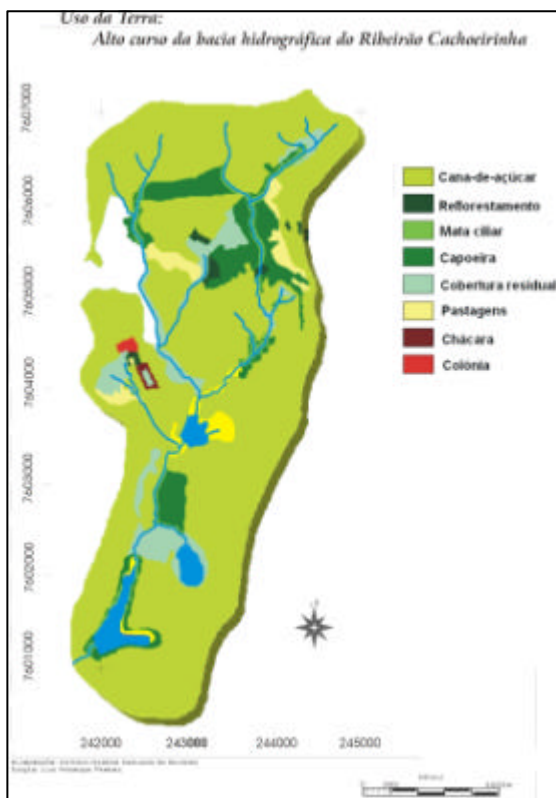


Figura 8. Uso da Terra

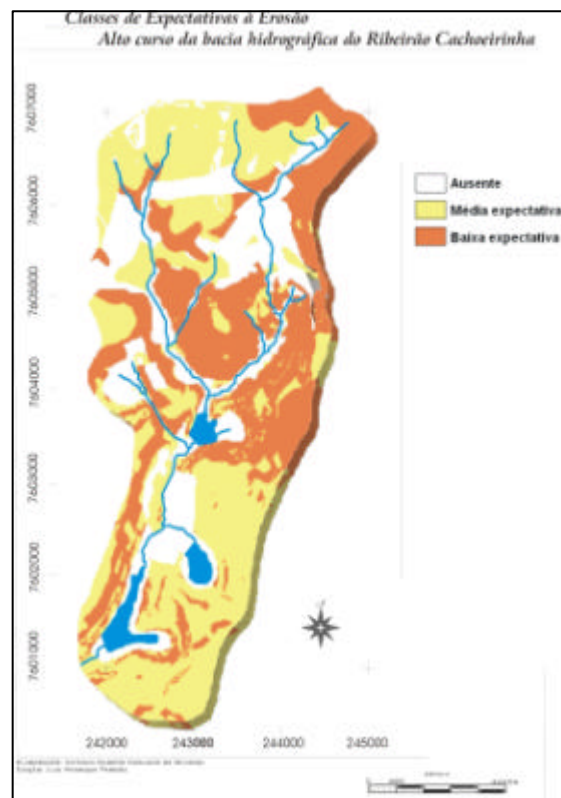


Figura 8. Classes de expectativa de erosão

Pelos dados apresentados não há valores altos de expectativa de erosão, porém, os processos erosivos estão ocorrendo em praticamente toda a área. Com a averiguação de campo, constatou-se que ocorrem, inclusive, em áreas onde o modelo EUPS aponta, através de seus parâmetros, que há baixa ou ausência de expectativa de erosão (presença de Lve e declive inferior a 6%)

Um exemplo disso pode ser visto na série de fotos (1 e 2) adquiridas em 18 de outubro de 2003, a qual representa uma área de terra preparada para o plantio de cana-de-açúcar, que sofreu o impacto direto da chuva. Isso resultou na formação

de sulcos erosivos, denotando a perda de uma quantidade significativa de solo fértil e assoreamento do córrego próximo.



Foto 1. Ampliação do sulco erosivo



Foto2. Deposição dos sedimentos

Os processos erosivos foram decorrentes das fortes precipitações que ocorreram nos dias 11 e 12 de outubro de 2003. Como pode ser observado no gráfico abaixo, a precipitação acumulada no dia 11 chegou a 61,4 mm e foi um pouco mais amena no dia 12, quando alcançou a marca de 26 mm (em 24 hs).

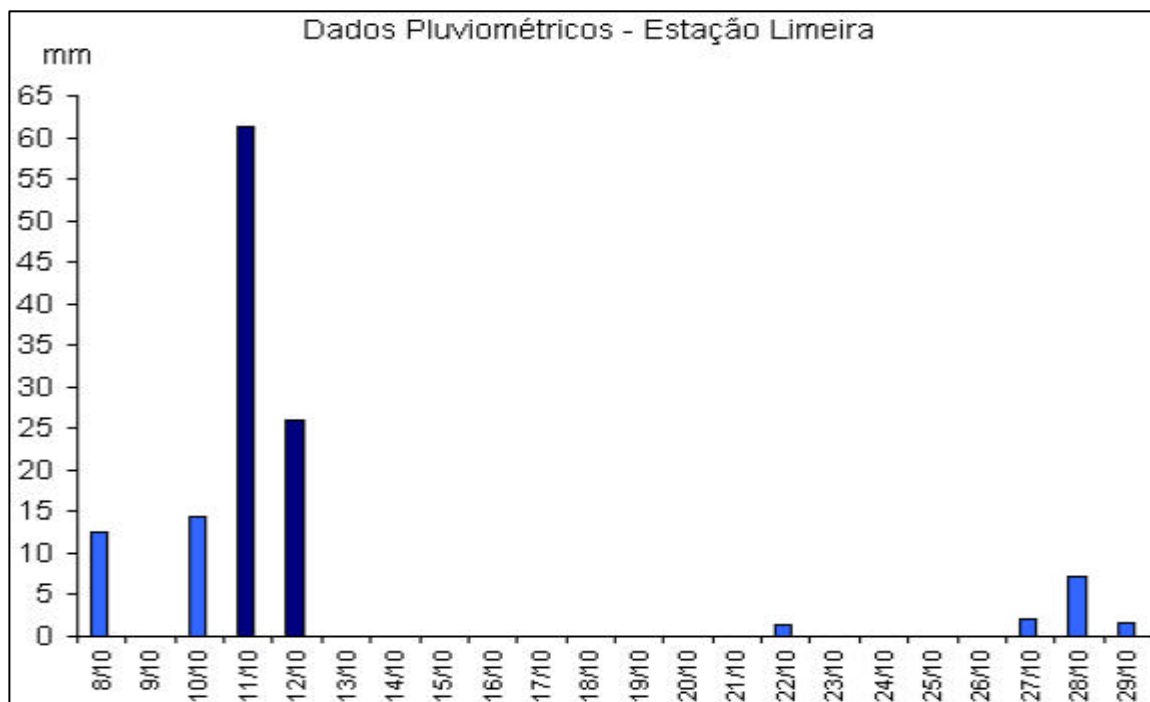


Gráfico 1. Total das precipitações diárias no período de 08/10 a 29/10/2004

Os processos erosivos foram intensos, apesar desse local não apresentar forte declive e possuir um solo com boa capacidade de resistência à erosão, como é o caso do latossolo vermelho-escuro.

E, mesmo a área já apresentando a cobertura da cana-de-açúcar, continuou apresentando processos erosivos, denunciados a partir da água barrenta e da acumulação de sedimentos ao longo do terraço, como pode ser observado nas fotos

seguintes (3 e 4), referentes a janeiro de 2004. Esta é uma demonstração empírica de que nem sempre a cana-de-açúcar protege os solos impedindo a erosão.



Foto 3. Deposição de sedimentos no terraço



Foto 4. Sulco erosivo dentro do canavial

Um ano depois, apesar da cana-de-açúcar estar no estágio final de maturação, pronta para o corte, ainda assim os processos erosivos estão ocorrendo, como poder observado nas fotos (5 e 6), que datam de outubro de 2004.



Foto 5. Canal erosivo formado pela enxurrada



Foto 6. Água com sedimentos ao longo do terraço

A cobertura proporcionada pela cana-de-açúcar não impediu ao longo do tempo, o assoreamento dos cursos d'água. E esse é outro fenômeno obscuro aos mapas, cuja visualização somente é possível por meio de um registro fotográfico. Sua identificação é de grande importância, pois além de colocar em risco a vida aquática, pode causar enchentes nas áreas ribeirinhas e comprometer seriamente o abastecimento d'água.

O alto curso do Ribeirão Cachoeirinha está seriamente comprometido, pois há indicativos de que todos os seus afluentes estão assoreados, uma vez que os mesmos estão cobertos pela taboa (vegetação indicativa da deposição de

sedimentos), além dos reservatórios à jusante se apresentarem com um baixo volume de água e com as margens entulhadas por sedimentos (fotos 7 a 10).



Foto 7. Córrego assoreado



Foto 8. Canal fluvial totalmente coberto por taboa e capim (aparência de campo)



Foto 9. Deposição de sedimentos nas margens do reservatório



Foto 10. Sedimentos avançando dentro do reservatório

Isso vem ocorrendo devido à retirada quase que completa da mata ciliar, que foi substituída pela cana-de-açúcar ou por pastagens, como mostram as foto 11 e a figura 9, onde estão indicadas as áreas de ocorrência dos fragmentos de mata ciliar presentes atualmente na área de estudo.



Foto 11. Visão panorâmica da bacia

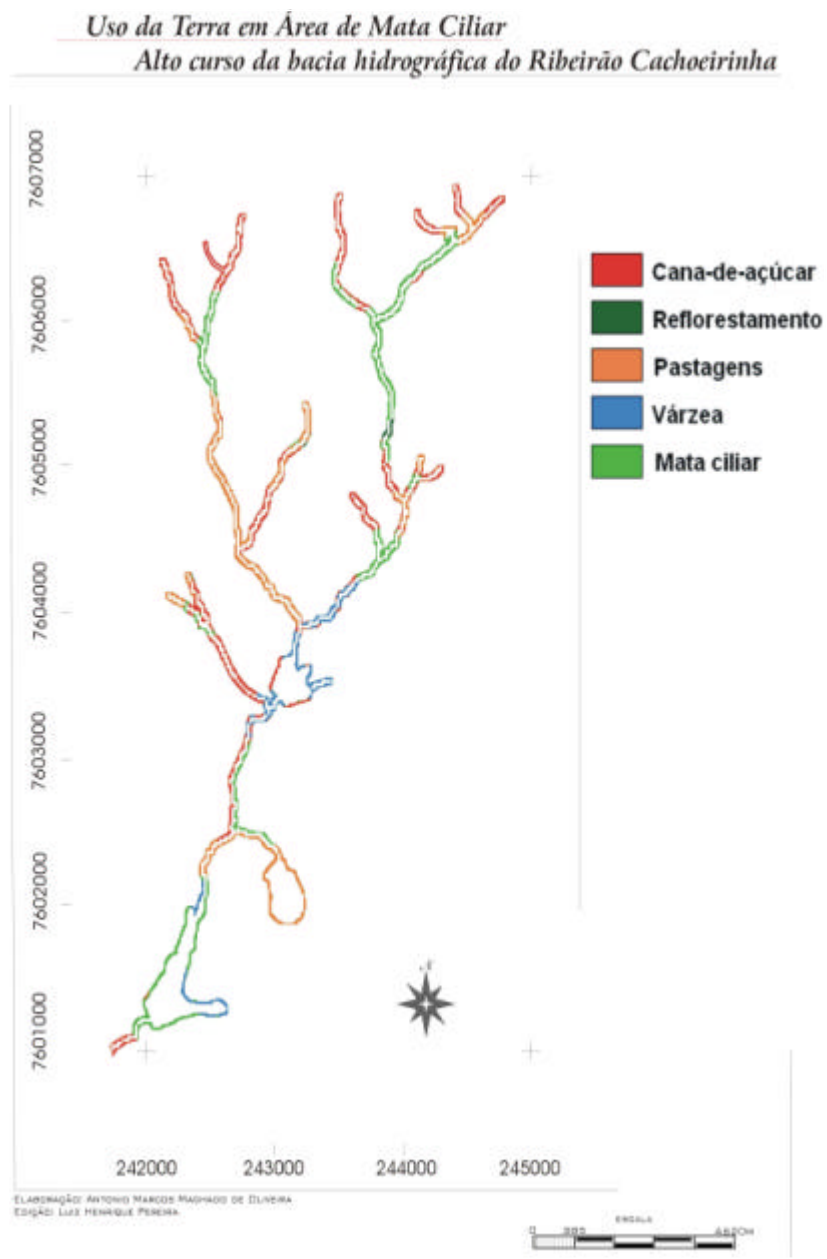


Figura 9. Classes de uso e cobertura vegetal ao longo dos canais fluviais

Contudo, o mais grave é que o canal continua a avançar sobre a mata ciliar e, inclusive, soterrando por completo pequenos córregos. Nas fotos de janeiro de 2004 (24 a 27) está registrado um desses pequenos riachos em meio à plantação da cana-de-açúcar.

A sobrevivência desse córrego já era precária, pois não havia mais a presença da mata ciliar para protegê-lo e parte de suas nascentes havia sido soterradas, pela construção de uma estrada. Contudo, durante o período de colheita, setembro de 2004, sofreu um completo soterramento como demonstrado nas fotos (29 a 33).



Foto 12. Detalhe do córrego (abertura de dois canais)



Foto 13. Córrego em meio ao canavial



Foto 14. Córrego seco durante a colheita



Foto 15. Talvegue do córrego

Outro fato que deve ser registrado é a presença de uma cava abandonada foto 16, formada a partir da exploração de uma pedreira de rochas basálticas, que não está representada no mapa de declividade.



Foto 16. Cava de uma pedreira extinta



Foto 17. Processos erosivos no alto da cava

O mapa de declividade não foi capaz de registrá-la porque os interpoladores utilizados para sua confecção, no sistema IDRISI, suavizam as rugosidades do terreno inseridas entre as cotas altimétricas. Assim, a inclinação e o desnível desse local ficam mascarados, como se não existissem. Além disso, mesmo que registrada pelo sistema, ou com a inserção por meio de GPS, outro entrave para sua visualização no mapa é a escala de apresentação que lhe daria apenas um aspecto pontual.

Esse problema de ordem técnica pode redundar em interpretações equivocadas, e por isso, a grande importância da vistoria de campo e do registro fotográfico.

O registro da cava não pode ser ignorado, uma vez que ela está se tornando um depósito de sedimentos e ao mesmo tempo sofrendo uma ampliação provocada pela erosão hídrica nas suas adjacências.

Além disso, verifica-se que as intervenções antrópicas na área estão acelerando os processos erosivos com a retirada da cobertura vegetal circunvizinha à cava, acarretando tais perdas de solos (foto17).

A cava e os processos erosivos adjacentes, como fragmentos da realidade, são importantes no ato conectivo, ainda porque, estão associados a eles outros fragmentos intrínsecos que podem ser abstraídos a partir de um encaminhamento lógico do raciocínio.

Desta forma, pode-se inferir, por exemplo, que a exploração dessa pedreira está associada à produção de cana-de-açúcar que predomina na área, já que boa parte das rochas extraídas foram destinadas às vicinais que servem para o escoamento do produto, à construção da sede e da usina.

Também há um local, não registrado nos mapas, digno de atenção. Trata-se de uma área de forte declive onde toda cobertura vegetal foi retirada tornando-se

assim extremamente susceptível às erosões. Na tentativa de amenizá-las, foram depositados entulhos, contendo desde bagaço de cana até materiais de origem inorgânica. Contudo, a erosão hídrica está ocorrendo da mesma forma, e com um agravante, não só está carreando partículas de solo, mas inclusive o lixo depositado, para os cursos d'água (Fotos 18 a 20).



Foto 18. Lixo doméstico (outubro/2003)



Foto 19. Montes de lixo, depositados por caminhão (março/2004)



Foto 20. Entulhos carregados após as chuvas (outubro/2004)

Diante do exposto, verificam-se irregularidades referentes à legislação ambiental. Dentre elas, podem-se citar:

- Desflorestamento da vegetação da área de preservação permanente próxima às nascentes e soterramento das mesmas. A Resolução Conama nº 4, de 18/09/1985, estabelece em seu artigo 3º que são reservas ecológicas:

“(...) as florestas e demais formas de vegetação natural situadas nas nascentes permanentes ou temporárias incluindo os olhos d’ água e veredas, seja qual for a sua situação topográfica, com uma faixa mínima de 50 metros a partir de sua margem, de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia de drenagem contribuinte (...)”

O Código Florestal, Lei nº 7.803, de 15 de julho de 1989, também em seu artigo 3º comenta:

“(...) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados ‘olhos d’água’, qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio de 50 metros de largura (...)”

- Erosão dos solos, retirada da mata ciliar e conseqüente assoreamento dos rios. O Código Florestal, Lei nº 7.803, de 15 de julho de 1989, estabelece em seu artigo 2º :

“(...) são áreas de preservação permanente, pelo só efeito dessa lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas: a) ao longo dos rios ou de qualquer outro curso d’água, em faixa marginal cuja largura mínima será de 30 metros para os rios com até 10 metros de largura (...), as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas a atenuar a erosão das terras (...)”

- Presença de lixo orgânico e inorgânico em uma área de forte declive, resultando em poluição dos córregos, afetando o abastecimento e comprometendo a vida vegetal e animal. A Resolução Conama nº 1, de 23/01/1986, considera em seu artigo 1º:

“(...) impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que direta ou indiretamente, afetam: I – a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II – as atividades sociais e econômicas; III – a biota; IV – as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; e V – a qualidade dos recursos naturais (...)”

- Conforme o artigo 225, da Constituição da República Federativa do Brasil, 1988:

“(...) todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum ao povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações(...)”

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Numa pesquisa, o máximo que se consegue são aproximações da realidade. Isto, logicamente, se houver um comprometimento com a verdade por parte do pesquisador. Caso contrário, pode-se criar uma situação ilusória, em que a realidade abstrata acaba por ganhar “status” de verdade absoluta.

Esse é um grave problema que ocorre na pesquisa, uma vez que a todo o momento criam-se modelos da realidade que serão reaplicados na tentativa de melhor replanejar o espaço “vivido”. Assim, quanto maior for o afastamento da verdade, maior serão os danos causados a esse espaço.

A busca pela liberdade de raciocínio, na prática, torna o trabalho do pesquisador mais aproximado da realidade, dando a ele certa eficiência no que se refere às intervenções em prol da resolução, por exemplo, dos problemas ambientais, que inclui a interação entre os aspectos físicos e humanos. No caso específico do geógrafo, devem-se transpor as barreiras impostas pelas vãs dicotomias físicas versus humanas, ou ainda, homem versus natureza.

O conflito homem versus natureza ocorre porque o homem transcende da natureza e a vê, muitas vezes, como algo desprezado dele.

Segundo Monteiro (1981), devem-se adquirir informações do meio físico para atingir uma avaliação econômica e, conseqüentemente, uma razoável prognose.

Como então realizar uma análise geográfica de um determinado problema sócio-ambiental, sem considerar os condicionantes físicos e humanos envolvidos?

No caso do alto curso do ribeirão Cachoeirinha, o assoreamento dos rios está diretamente associado à prática de manejo agrícola imposta pelo homem ao meio

físico. O desmatamento, a ocupação irregular das áreas ribeirinhas e o uso intensivo das máquinas determinaram o surgimento do problema, pois se a cobertura vegetal da cana-de-açúcar já é insuficiente para impedir o poder erosivo da chuva, pior sem ela, quando a terra está preparada para o plantio, como visto anteriormente.

O alto curso do Ribeirão Cachoeirinha representa apenas um pedaço da realidade e, para compreender uma parcela dela, referente ao uso da terra e aos processos erosivos, foi necessário conectar outros fragmentos ali presentes.

Num primeiro momento, esses fragmentos foram divididos em dois grandes conjuntos: um primeiro relacionado aos fatores do meio físico e um segundo referente aos aspectos humanos.

Partindo da conexão de alguns fatores do meio físico (erosividade, erodibilidade e fator topográfico), foi possível obter uma primeira visão geral do potencial natural aos processos erosivos apresentado pela área estudada. E, ao acrescentar o fator antrópico (uso da terra e manejo agrícola), foi possível determinar o risco da ocorrência de erosão nesse local.

Diante disso, vale destacar que os modelos conjugados às tecnologias de sensoriamento remoto e SIG's são instrumentos importantes para as conexões dos fragmentos da realidade, os quais permitem um maior conhecimento da mesma. Dado o resultado final, já se podem levantar questões relevantes, como por exemplo, sobre o uso da terra e os impactos ambientais causados à área de estudo. Contudo, necessita-se de cautela ao escolher e aplicar um determinado modelo, pois, conforme Kaplan (1964, citado por Chorley, 1975), um modelo ruim poderia torná-lo simbólico, dando à realidade um aspecto excessivamente formal e muito simplificado e, ainda, poderia tentar erigir uma estrutura mais exata do que permitem os dados e ser utilizado para previsões inadequadas.

Informações como essas, geralmente expressas por mapas, são portadoras de hipóteses e ao mesmo tempo possibilitam ao pesquisador vislumbrar soluções práticas no que se refere a um planejamento ambiental. E, ao incorporar novos elementos ao mapa há uma maior compreensão da realidade, pois as reflexões em busca da essência de sua representação darão a ele vivacidade e dinamismo, alterando seu caráter meramente pictórico.

Partindo desse raciocínio, o exemplo da aplicação das tecnologias de sensoriamento remoto, SIG's e do modelo EUPS, na bacia hidrográfica do Ribeirão Cachoeirinha, serve apenas como exercício metodológico. Sem dúvida que isso é importante como ensaio, afinal, o pesquisador, tal como um soldado, tem que estar preparado e atento para, quando for solicitado, poder atuar de maneira eficiente, tanto isoladamente como em equipe. Porém, esse exemplo, bem como outros tantos estudos somente terão validade prática quando estiverem integrados em um plano maior.

BIBLIOGRAFIA

Bertoni, José e Lombardi Neto, Francisco. **Conservação do Solo**. São Paulo, Ed. Ícone. 1985

Brasil, Constituição. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, D.F. Senado federal, Centro Gráfico, 1988, 48p.

Brasil. **Resolução CONAMA**. Brasília, D.F. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução n.001, de 23 jan. 1986, 8p.

Donzeli, Pedro; Valério Filho, Mário; Pinto, Sérgio dos Anjos Ferreira; Nogueira, Francisco de Paula; Rotta, Carlos Laerte; Lombarda Neto; Francisco.. **Técnicas de Sensoriamento Remoto aplicadas ao Diagnóstico Básico para o planejamento e Monitoramento de Micro Bacias Hidrográficas**. Campinas: Documentos IAC, nº29, 1992.págs. 91-119.

Kirkby,Michael J., Morgan,Royston Philip Charles.. **Soil Erosion** , John Wiley & Sons,Ltd. Norwich, Great Britain. 1980.

Lal, R..**Soil erosion in the tropics. Principles & management**. McGraw-Hill, Inc. EUA, 1990.

Lombardi Neto, Francisco.; Bertoni, José. Erodibilidade dos solos paulistas. Campinas, **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, nº 27, set. 1975.

Lombardi Neto, Francisco; Pruski, Fernando Falco., Teixeira, Antonio de F. **Sistema para o cálculo da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo**. Viçosa. 2000 (CD-room).

Monteiro, Carlos Augusto.. **A questão ambiental no Brasil –1960-1980**. São Paulo: IG-USP, 1981.133p.

Oliveira, Antonio Marcos Machado de.. **Análise da dinâmica do uso da terra: estudo da bacia hidrográfica do Ribeirão São João (SP)**. IGCE, Unesp, Rio Claro, SP. 2000 (Dissertação de Mestrado).

Pinto, Sérgio dos Anjos Ferreira..**Utilização das técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento para a caracterização de erosão dos solo no SW do Estado de São Paulo**. São José dos Campos, INPE, 1983 (dissertação de mestrado)

Pinto, Sérgio dos Anjos Ferreira.. **Sensoriamento Remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos: contribuição metodológica**. São Paulo: Universidade de São Paulo. 1991 (Tese Doutorado).

Wischmeier, Walter H.; Johnson, C. Bruce.; Cross, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil Conservation**. Vol.26:189-193, 1971.

Wischmeier, Walter. H. e Smith, Dawning. D.. **Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning**. ,Washington: Agriculture Handbook, n. 537, U.S. Departament of Agriculture. 1978.

Recebido em março de 2007

Aprovado em agosto de 2007