Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo

Célia Regina Paes Bueno[1]* e Dirceu Pagoto Stein[2]

*[1]Departamento de Solos e Adubos, FCAV, Universidade Estadual Paulista, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil. [2]DEPRN, Campinas, São Paulo, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: crbueno@fcav.unesp.br*

RESUMO. Utilizando-se de fatores naturais e antrópicos, definiu-se a expectativa de erosão em glebas com diferentes classes de solos e usos, baseada na Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). Uma área de 580km^2 localizada em Brotas, Estado de São Paulo, foi usada no estudo. Foram integradas as informações sobre erodibilidade dos solos, erosividade das chuvas, declividade e comprimento das encostas, para se obter o potencial natural de erosão. Com os valores dos fatores antrópicos foi estimada a expectativa de erosão. Os fatores antrópicos foram tratados conjuntamente definindo o CPtolerável e CPatual. A expectativa atual de erosão para as glebas resultou da discordância entre a ocupação atual (CPatual) e a ocupação tolerável das terras (CPtolerável). Os resultados indicaram que 65% das glebas escolhidas apresentaram valores negativos, mostrando que a ocupação atual está adequada em relação à tolerância natural do uso da terra, e 35% da ocupação atual apresentaram discordâncias positivas, refletindo uma expectativa de erosão nas glebas.

Palavras-chave: EUPS (Equação Universal de Perdas de Solo), expectativa de erosão, ocupação atual, ocupação tolerável.

ABSTRACT. Anthropic and natural potential of erosion in the region of Brotas, state of São Paulo. Using natural factors and anthopics, erosion expectation was defined, in the field with different soils types and uses, based upon the Universal Equation of Losses of Soil (USLE). The area of 580km^2 located near Brotas, State of São Paulo was used in this study. The parameters used for integration of the information were: soil erodibility, rainfall erosivity, slopes and length of slopes, to define the natural potential of erosion. In addition to, the values of anthropics factors for erosion expectation was estimated. The anthropics factors were treated jointly as a CPtolerable and CPcurrent. The current expectation of erosion for the fields resulted in disagreement among current occupation (CPcurrent) and tolerable occupation of the lands (CPtolerable). The data indicate that 65% of the chosen plots presented negative values, showing that the current occupation was adapted in relation to the natural tolerance of land use, and 35% of the current occupation presented positive disagreements, reflecting that there was some erosion expectation in the fields.

Key word: USLE (Universal Soil Loss Equation), erosion expectation, current occupation, tolerable ocupation.

Introdução

A dinâmica natural da paisagem através dos processos naturais, juntamente com a quebra no equilíbrio naturalmente estabelecido, provocada pela ação do homem, determina a intensidade dos processos erosivos.

Para a avaliação e predição das perdas de solo por erosão, a USLE (*Universal Soil Loss Equation*), proposta por Wischmeier e Smith (1978), tem sido o modelo mais utilizado em todo o mundo. A equação engloba um conjunto de fatores naturais e antrópicos. Dentre os fatores naturais, destacam-se a erosividade da chuva (R), a erodiblidade do solo (K) e o fator topográfico (LS). Os fatores antrópicos são definidos pelo uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P). Quando se respeita a paisagem natural definida por fatores do meio físico, intervenientes nos processos de erosão, subentende-se que está estabelecida a tendência de ocupação dos solos, podendo determinar os limites potenciais de utilização das terras. Pesquisas consistentes sobre os riscos potenciais de erosão têm sido desenvolvidas por pesquisadores como Bueno (1994); Castro e Valério Filho (1997); Renschler *et al*. (1999); Nascimento e Lombardi Neto (1999); Nogueira (2000); Bertol e Almeida (2000) e Nyakatawa *et al*.

(2001).

A utilização adequada das terras agrícolas é de extrema importância, pois minimiza os problemas já existentes e mantém o potencial das terras ainda intactas. Na utilização de uma gleba, geralmente são empregados diversos manejos e culturas. A cultura, nos diferentes graus de desenvolvimento, oferece diferentes graus de proteção, podendo levar a diferenças em perdas de solo, juntamente com a incidência dos fatores climáticos, a resistência dos solos e o manejo dos restos culturais.

O presente trabalho tem como objetivo analisar e definir a expectativa atual da erosão, em diversas glebas, em função dos fatores naturais condicionantes da erosão e de fatores antrópicos, através da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).

Material e métodos

A área de estudo, inserida na transição dos biomas Mata Atlântica e Cerrados, está localizada na porção central do Estado de São Paulo, Quadrícula de Brotas, entre os meridianos 48º00' e 48º15'W e os paralelos 22º00' e 22º15'S, compreendendo uma área de aproximadamente 580km^2 (Figura 1). O clima é classificado como Cwa de Koppen e tem uma precipitação média anual de 1580mm. Situa-se no Planalto Ocidental Paulista o qual, geologicamente, está inserido em rochas do Grupo Bauru e da Formação Serra Geral, constituídas de arenitos e basaltos, respectivamente.

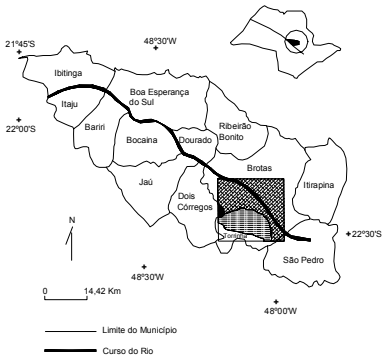

Figura 1. Localização da área de estudo do Potencial natural e antrópico de erosão na região de Brotas, Estado de São Paulo.

A base cartográfica da área, utilizada para reprodução dos mapas básicos e das cartas sínteses, foi elaborada a partir das cartas planialtimétricas do IBGE, na escala 1:50.000 com posterior redução para escala 1:100.000.

O mapa de solos teve como referência os publicados pelo IAC, elaborados por Almeida, *et al.* (1981), Quadrícula de Brotas, na escala de 1:100.000 (Figura 2).

Foram estudadas várias glebas representativas da região, com diferentes tipos de solos e usos. Através da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) (Wischmeier e Smith, 1978), foram integradas as informações sobre o conjunto de fatores naturais: erosividade da chuva (R), erodibilidade dos solos (K), declividade (S) e comprimento de vertentes (L), para se obter o potencial natural de erosão (PN= R.K.L.S). Com a ocupação atual das glebas, têm-se os valores dos fatores antrópicos (C e P) contemplados pela Equação.

Figura 2. Mapa de Solos das Glebas (Extraído e modificado de Almeida *et al.,* 1981).

Os valores de erosividade das chuvas (R), dados em MJ.mm/ha.h.ano, foram calculados através da equação sugerida por Lombardi Neto (1977), EI = 67,355 $(p^2/P)^{0,85}$, em que EI é o índice médio de erosividade por período anual, p é a precipitação média mensal e P é a precipitação média anual. Com base nessa equação e utilizando registros pluviométricos de 8 postos da rede estadual, situados no município de Brotas, foram obtidos os valores médios de EI para um período de 29 anos, de 1941 a 1970.

Os valores numéricos da erodibilidade dos solos (K) foram estimados com base nas classes pedológicas (Lombardi Neto e Bertoni, 1975) do mapa de solos (Tabela 1).

Tabela 1. Índices de erodibilidade (K) estimada e a tolerância de perdas (A) para as classes de solos da região de Brotas, Estado de São Paulo.

Classes de Solos	K (erodibilidade dos solos estimada)* -- t.h.MJ-1.mm-1--	A tolerável (t.ha-1.ano-1)
LVdf	0,0134	12,50
LVd	0,0153	15,70
LVAd	0,0173	13,40
PVAe	0,0438	7,90
NVef	0,0159	12,88
RQo	0,0223	14,00
RLe	0,0394	2,76

A interação das características morfométricas do relevo, como a declividade (S) e o comprimento de rampa (L), no condicionamento de perdas de solo,

levou Bertoni e Lombardi Neto (1999) a considerá-los conjuntamente, através de formulação específica que pondera a maior influência da declividade (S) em relação ao comprimento de rampa (L), sendo LS = $0{,}00984.L^{0,63}.S^{1,18}$.

A declividade foi extraída diretamente de cartas planialtimétricas na escala 1:50.000, segundo proposta de De Biasi (1977). As seguintes classes de declividade foram adotadas em porcentagem: $0 \leq A \leq 2$; $2 < B \leq 5$; $5 < C \leq 10$; $10 < D \leq 15$; $E > 15$.

O comprimento de rampa, medido em metros, foi definido como a distância entre o divisor de água e a linha de drenagem pertinente. Com uma grade do sistema UTM, posicionada sobre a carta planialtimétrica, definiu-se a linha do divisor de água mais próxima e/ou presente na célula de amostragem (200 x 200m). Assim, o comprimento de rampa foi medido considerando-se o possível caminho preferencial das águas pluviais que escoam superficialmente (perpendicular às curvas de nível).

A multiplicação desses fatores, conforme definido pela equação Universal de Perdas de Solo, (R. K. LS), determina o potencial natural de erosão (PN), que pode ser entendido como a perda de solo provocada exclusivamente pelos fatores naturais condicionantes da erosão, sem nenhuma cobertura (C=1) ou prática conservacionista (P=1).

Na obtenção do uso e ocupação das terras, foram utilizadas composições coloridas TM/Landsat-5, na escala 1:100.000 nas bandas 2(B), 3(G) e 4(R), correspondendo ao quadrante 220/75 C, obtidas em 02/04/90 (Figura 3).

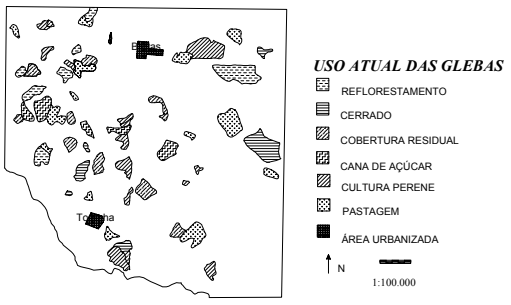

Figura 3. Mapa de Uso Atual das Glebas.

As categorias de ocupação presentes na área foram identificadas através dessas composições e informações obtidas em campo. Foi então elaborada uma legenda de ocupação das terras que contém sete categorias, as quais foram agrupadas exclusivamente em virtude do porte de vegetação, que reflete a proteção da vegetação ao solo, em quatro grupos maiores identificados por números, com as categorias específicas diferenciadas por letras (Tabela 2).

Os fatores de uso-manejo e práticas conservacionistas são abordados conjuntamente neste trabalho. Esses correspondem aos fatores C e P da equação universal de perdas de solo, referenciando a ação antrópica no condicionamento da erosão.

Tabela 2. Categoria de ocupação das terras utilizadas na área de estudo e valores correspondentes de CP para a região de Brotas, Estado de São Paulo.

Porte da Vegetação	Categoria de Ocupação	CPatual
1. Vegetação de porte alto a médio	1a Reflorestamento	0,0158
2. Vegetação de porte médio a baixo	2a Cerrado	0,0007
	2b Cultura Perene	0,0400
	2c Cana de açúcar	0,0500
3. Vegetação de porte baixo a rasteiro	3a Cobertura Residual	0,0080
	3b Pastagem	0,0050
4. Ocupações diversas antrópicas	4a Área Urbanizada	0,0000

O fator CPatual corresponde à influência atual no condicionamento da erosão, representando as perdas de solo em função dessa ocupação, práticas conservacionistas e processos erosivos instalados. Os valores do fator uso e manejo atual (C) foram calculados para as principais culturas existentes na área em estudo de acordo com Bertoni e Lombardi Neto (1999). Para o fator prática conservacionista, adotou-se P = 1, que representa a pior situação possível quanto às perdas de solo devido às práticas conservacionistas, pois não foi possível estabelecer valores confiáveis de P para toda a área (Tabela 2).

Considerando-se o valor de perda tolerável para cada tipo de solo, além dos fatores naturais e antrópicos obtidos, definiram-se os valores de perdas provocados pela ocupação atual e os valores de perdas tolerados pelo meio físicos, utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo. Os fatores C e P da equação foram tratados conjuntamente, tendo-se definidos os fatores CPtolerável e CPatual. O fator CPtolerável foi obtido através da relação: Atolerável / PN (Tabela 1). O fator CPatual corresponde à influência da ocupação atual no condicionamento da erosão, que em função dessa ocupação representa as perdas de solo, tendo implícita a influência das diversas variáveis inerentes às práticas agrícolas. O fator CPtolerável corresponde a um índice de perdas de solo que considera todas as características do meio físico intervenientes no processo de erosão.

Resultados e discussão

O potencial natural de erosão (PN) foi elaborado a partir da equação PN= R.K.LS. Na erosividade das

chuvas (R), devido à pequena discrepância dos dados, foi utilizada a média total anual que é de 6859 $MJ.ha^{-1}.mm.h^{-1}$, constante para todas as glebas. Na ordenação do potencial natural de erosão, foram considerados três níveis, com intervalos apropriados para área de estudo, que refletem qualitativamente, valores baixos ($0 < PN \leq 500$), médios ($500 < PN \leq 1000$) e altos ($PN > 1000$ $t.ha^{-1}.ano^{-1}$) de perdas de solo (Figura 4). A análise dos resultados destaca a perfeita interação existente entre o solo e o relevo no condicionamento do nível de PN, refletindo o estreito controle exercido pela erodibilidade (K) e pelo fator topográfico (LS), este mais efetivo devido à declividade (D). Resultados semelhantes foram encontrados por Stein *et al*. (1987), Pinto (1991) e Castro e Valério Filho (1997).

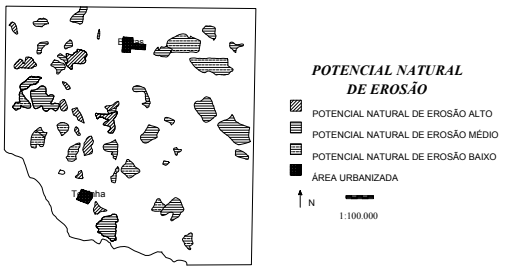

Figura 4. Potencial Natural de Erosão - (PN = R.K.LS)

Para definir a expectativa da erosão, em função da ocupação das terras para as glebas, foram utilizados os fatores CPatual e CPtolerável, isto é: resultou da diferença entre a ocupação atual e a ocupação tolerável das terras.

Essa diferença fornece indicadores numéricos da maior ou menor possibilidade da presença de erosão. Quando o resultado for positivo, espera-se a manifestação dos processos erosivos, isto é, existe uma discrepância de ocupação na gleba considerada, o que reflete uma maior possibilidade de incidência de erosão.

A expectativa de erosão assim obtida representa a suscetibilidade da área à erosão em função dos fatores de ocupação, sendo expressa pela discordância entre a ocupação imposta pelo homem e a ocupação ditada pela vocação natural.

As discordâncias negativas ou nulas indicam que os fatores de ocupação estão compatíveis com a capacidade de uso da terra. São condições nas quais a ocupação, antrópica ou natural, não incrementa o conjunto de fatores do meio físico no sentido de favorecer as perdas de solo por erosão.

As discordâncias positivas podem apresentar diferentes níveis; no entanto valores numéricos maiores não significam necessariamente uma possibilidade maior de ocorrência de erosão. Apenas indicam que existe uma expectativa de manifestação do processo, não implicando maior probabilidade ou nível de intensidade, caso ocorra realmente a erosão.

Essas discordâncias permitem categorizar qualitativamente a área quanto à expectativa de erosão, não devendo ser consideradas como uma estimativa quantitativa. Ressalta-se, ainda, que as glebas com discordâncias positivas não apresentam necessariamente erosão, da mesma forma que as glebas com discordâncias negativas ou nulas não implicam ausência de erosão.

As glebas estudadas apresentaram discordâncias positivas e negativas, como apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Discordâncias positivas e negativas das glebas analisadas.

Culturas	Discordâncias negativas		Discordâncias positivas	
	Total	%	Total	%
Pastagem	13	21,67	1	1,66
Cultura Perene	3	5,0	9	15,0
Cobertura Residual	9	15,0	4	6,67
Reflorestamento	7	11,67	1	1,66
Cana-de-açúcar	0	0,0	6	10,0
Cerrado	7	11,67	0	0,0

Os valores utilizados geralmente minimizam a expectativa de erosão, pois o valor de CPatual é sempre o mesmo, e quanto maior o CPtolerável, maior a possibilidade de ocorrer discordância positiva. Nesse caso, os valores alcançados refletem uma magnitude estimada de perdas de solo.

O conjunto de dados das discordâncias indica que 65,01% das glebas escolhidas apresentam valores negativos, mostrando uma ocupação atual adequada em relação à tolerância natural do uso da terra. Assim, 34,99% da ocupação atual apresentam discordâncias positivas, refletindo que existe uma expectativa de erosão nas glebas (Figura 5).

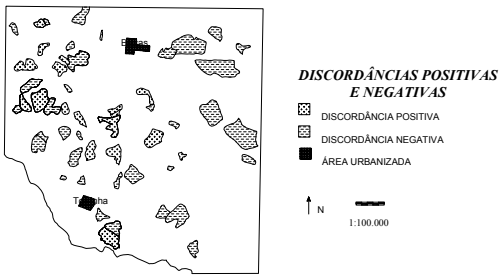

Figura 5. Expectativa de erosão em função de fatores de ocupação (CPa - CPt).

Analisando as muitas combinações de ocupação da terra com níveis do potencial natural de erosão,

observa-se que os níveis altos destes são mais determinantes que o tipo de ocupação no controle das discordâncias positivas, enquanto que as discordâncias negativas são definidas pela ocupação. Em função disto, têm-se glebas de expectativa de erosão bem ligadas a áreas de alto potencial de erosão e em menor grau, os níveis médios.

A mesma categoria de ocupação pode originar discrepância negativa ou positiva sobre a área que apresente o mesmo potencial natural de erosão, dependendo diretamente do nível com que este se manifesta. Isso explica as áreas com mesma cobertura e nível de potencial apresentarem, ora sim ora não, expectativa de erosão.

Considerando todas as glebas, a pastagem (em parte) e o cerrado controlam a presença de expectativa nas glebas de alto potencial. A cana-de-açúcar e a cultura perene sempre mostram expectativa de erosão quando associadas ao potencial alto e médio. Quando este é baixo, dependerá de seu nível. A cobertura residual baixa, quando associada a altos potenciais, apresenta expectativa de erosão, provavelmente devido à ação antrópica no passado, sem manejo, e o solo já degradado. O reflorestamento, quando associado a altos potenciais, sempre apresenta expectativa de erosão. Quando esta é média, dependerá do seu nível. Com potenciais baixos, o reflorestamento funciona como cultura conservacionista. Assim sendo, através das discordâncias obtidas, podemos destacar as maiores potencialidades de ocorrer processos erosivos na região.

Conclusão

A maior porcentagem das glebas apresentou discordâncias negativas, mostrando uma ocupação atual adequada.

As discordâncias positivas indicam que existe uma expectativa de manifestação do processo de erosão, não implicando maior probabilidade ou nível de intensidade, caso ocorra realmente a erosão.

Os níveis mais altos do potencial natural de erosão são mais determinantes que o tipo de ocupação no controle das discordâncias positivas, enquanto que as discordâncias negativas são definidas pela ocupação.

Referências

ALMEIDA, C. L. F. *et al. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo*: quadrícula de Brotas: SF-22-Z-B-III-4. Campinas: Instituto Agronômico, 1981. Mapa, color, Escala 1:100.000.

BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v.24, p. 657-668, 2000.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do Solo*. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999.

BUENO, C. R. P. *Zoneamento da susceptibilidade à erosão dos solos da alta e média Bacia do Rio Jacaré-Pepira, SP., com vistas ao planejamento ambiental.* 1994. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

CASTRO, A. G.; VALÉRIO FILHO, M. Simulação da expectativa de perdas de solo em microbacia sob diferentes manejos florestais. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 21, p. 419-426, 1997.

DE BIASI, M. Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização. *Geomorfologia*, São Paulo, v.21, p. 8-13. 1977.

LOMBARDI NETO, F. *Rainfall erosivity its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil*. 1977. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Purdue University, West Lafayete, 1977.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. *Erodibilidade de solos paulistas*. Campinas: Instituto Agronômico, 1975. (Boletim Técnico, 27).

NASCIMENTO, P. C.; LOMBARDI NETO, F. Razão de perdas de solo sob cultivo de três leguminosas. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Viçosa, v. 23, p. 121-125, 1999.

NOGUEIRA, F. P. *Uso agrícola sustentado das terras do município de Vera Cruz, SP: proposta metodológica*. 2000. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2000.

NYAKATAWA, E. Z. *et al.* Predicting soil erosion in conservation tillage cotton production systems using the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Soil Tillage Res.,* Amsterdam, v.57, p.213-224, 2001.

PINTO, S dos A. F. *Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos:* contribuição metodológica. 1991. Tese (Doutorado em Ciências/Geografia Física) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991.

RENSCHLER, C. S. *et al.* Evaluating spatial and temporal variability in soil erosion risk - rainfall erosivity and soil loss ratios in Andalusia, Spain. *Catena,* Amsterdam, v.34, p.209 - 225, 1999.

STEIN, D. P. *et al.* Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe-Paranapanema. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 4., Marília, 1987. *Anais*… Marília: ABGE, 1987. p.105-135.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. *Predicting rainfall erosion losses*: a guide to conservation planning. Washington: Department of Agriculture, 1978. (Agriculture Handbook, 537).

Received on February 18, 2003.

Accepted on September 02, 2003.