

Espacialização de Serviços Ecosistêmicos

¹Sérgio Gomes Tôsto, ²Lauro Charlet Pereira, ³Ademar Ribeiro Romeiro, ⁴João Alfredo de Carvalho Mangabeira, ⁵Ranulfo Paiva Sobrinho
^{1,4} Embrapa Monitoramento por Satélite; ²Embrapa Meio Ambiente; ^{3,5}Universidade Estadual de Campinas
tosto@cnpm.embrapa.br
Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão, Campinas, São Paulo - Brasil
Tel. +55 19-32116200

RESUMO

A erosão do solo agrícola tem se caracterizado como um dos mais preocupantes problemas causados pela agricultura, tanto da perspectiva dos efeitos ambientais quanto dos problemas causados à própria produção agrícola (LOMBARDI NETO et al., 1989). Este trabalho foi desenvolvido no município de Araras, São Paulo, Brasil e tem como objetivo estimar e espacializar as perdas de solos considerando as atividades agrícolas exploradas sob diferentes classes de solo e uso e teve como objetivo estimar e espacializar a estimativa das taxas de perda de solo na área de estudo aplicando o modelo USLE – Universal Soil Loss Equation (WISCHMEIER e SMITH, 1978), adaptada para uso nas condições brasileiras por Bertoni e Lombardi (1998). O modelo estima a perda média de solo de locais específicos, sob sistemas de cultivo e manejo também específicos, tendo por base os valores médios de eventos de precipitação ocorridos, considerando uma série de observações de 20 anos ou mais. Consiste de um modelo multiplicativo, pelo qual a perda média anual de solo é obtida pelo produto de seis fatores determinantes que formam a seguinte equação: $A = R * K * L * S * C * P$. O mapa de espacialização da erosão foi gerado utilizando-se técnicas de Geoprocessamento. Os resultados mostram que a cana de açúcar queimada, culturas anuais, cana de açúcar crua, citricultura, cafeicultura, pastagem e floresta secundária, tiveram as maiores taxas de erosão respectivamente.

PALAVRAS CHAVE – Erosão do solo, qualidade ambiental, gestão de recursos ambientais.

ABSTRACT

The erosion of agricultural land has been characterized as one of the most troubling problems caused by agriculture, both from the perspective of environmental effects and the problems caused to agricultural production itself (LOMBARDI NETO et al., 1989). This work was developed in the city of Araras, São Paulo, Brazil, and aims to estimate losses and soil spatialize considering agricultural activities operated under different soil classes and use and aimed spatialize estimate and the estimate of loss rates soil in the study area by applying the model USLE - Universal Soil Loss Equation (WISCHMEIER and Smith, 1978), adapted for use in Brazilian conditions by Bertoni and Lombardi (1998). The model estimates the average soil loss of specific sites under cropping systems and management also specific, based on the average values of precipitation events occurred, considering a series of observations of 20 years or more. It consists of a multiplicative model, for which the average annual loss of soil is obtained by the product of six factors that form the

following equation: $A=R*K*L*S*C*P$. The erosion of spatial map was generated using GIS techniques. The results show that sugar cane burning, annual crops, raw cane sugar, citrus, coffee, pasture and secondary forest had the highest erosion rates respectively.

KEY WORDS - Soil erosion, environmental quality, environmental resource management.

INTRODUÇÃO

Historicamente, o desenvolvimento econômico global, na grande maioria dos países, apoiou-se na exploração e na utilização dos recursos naturais, exercendo, assim, uma pressão sobre os sistemas naturais, com efeitos adversos na qualidade do meio ambiente.

A Revolução Verde, por meio do modelo industrial-produtivista de apropriação da natureza, acelerou de forma alarmante a degradação ambiental e social do espaço rural. O alto grau de industrialização trouxe, num primeiro momento, o aumento da produção e da produtividade, principalmente nos produtos de exportação – as “*commodities* agrícolas”. O incremento no uso de insumos, da mecanização e da expansão de monocultivos nas maiorias dos cultivos agrícolas, levou à degradação de grandes superfícies, muitas delas abandonadas depois de poucos anos de cultivo. O agravamento desses problemas se deu com a intensificação da produção em áreas não aptas, ou acima de sua capacidade de suporte, provocando erosão e contaminação de solos e de água com agroquímicos, tornando-os cada vez mais dependentes do aporte de energia externa e reduzindo a sua capacidade produtiva ao longo do tempo. Isso devido, em grande parte, à falta de uma visão mais abrangente entre a produtividade e a estabilidade dos ecossistemas tropicais (MARQUES et. al, 2003). O solo é um recurso natural fundamental para a produção agrícola graças a um conjunto de propriedades que permitem que ofereça sustentação às plantas e lhes dê condições necessárias de desenvolvimento. Tem um importante papel no meio ambiente, onde funciona como integrador ambiental e reator, acumulando energia solar na forma de matéria orgânica, reciclando água, nutrientes e outros elementos e alterando compostos químicos. Desse modo, o solo tem importante função ecológica, influenciando de forma positiva a qualidade ambiental e o funcionamento global da biosfera.

A degradação ambiental pode ser entendida como um processo de redução no uso atual e futuro do solo, mais precisamente, à perda de área cultivável, à desertificação, ao desmatamento, à depleção de bacias hidrográficas, entre outros. Dentre as manifestações de degradação observadas, a erosão é a externalidade. Segundo Seroa da Motta (1989), a erosão é uma das diversas externalidades que ocorrem no meio rural que pode trazer consequência danosas ao meio ambiente.

A erosão consiste no processo de desprendimento e arraste das partículas do solo, ocasionado pela ação da água ou do vento, sendo a principal causa de degradação das terras agrícolas. A erosão hídrica é um processo natural relacionado à formação do relevo e dos solos, cuja intensidade pode ser aumentada a ponto de causar degradação ambiental, principalmente em função do uso agrícola com práticas inadequadas (LOMBARDI NETO et al., 1989).

Os efeitos negativos do processo erosivo têm abrangência local (*on-site*), que são impactos diretos na qualidade do solo e no rendimento das lavouras, e outros geram impactos em âmbito global (*off-site*), ou indiretos, como as mudanças na qualidade

das águas naturais, danos à estrutura viária, inundações nas cidades, danos à estrutura civil, rompimento de barreiras e interdição de estradas, sedimentação de rios e reservatórios, desmatamento e desertificação.

Os efeitos diretos estão relacionados aos danos causados às propriedades químicas e físicas dos solos, como a perda de nutrientes, de água disponível para as plantas, de matéria orgânica, desestruturação das propriedades físicas dos solos, e também a perda de área agricultável. Estes efeitos obrigam os produtores a utilizarem uma dosagem adicional de fertilizante para manter a fertilidade do solo, a realizar reparos em benfeitorias da propriedade, a realizar replantio, assim, há um relativo aumento nos custos de produção como reflexos dos custos financeiros causados pela erosão. Economicamente, temos a redução da oferta de alimentos, a perda de renda, a diminuição da área agrícola *per capita* e a perda, às vezes irreversível, de terras ocupadas por sulcos e voçorocas, em que estas representam um processo erosivo em estágio muito avançado.

METODOLOGIA

O Método do Custo de Reposição (MCR) apresenta uma das idéias mais básicas quando se pensa em prejuízo: a reparação por um dano provocado. Assim, o MCR se baseia no custo de reposição ou restauração de um bem danificado e entende esse custo como uma medida do seu benefício (PEARCE, 1993). Para esse autor, o MCR é, frequentemente, utilizado como uma medida do dano causado. Essa abordagem é correta nas situações em que é possível argumentar que a reparação do dano deve acontecer por causa de alguma outra restrição, por exemplo, de ordem institucional. É o caso do padrão de qualidade da água: os custos para alcançá-lo são uma *proxy* dos benefícios que esse padrão proporciona à sociedade. Porém, esse autor alerta para os riscos desse procedimento porque, ao impor uma reparação, a sociedade está sinalizando que os benefícios excedem os custos, quaisquer que sejam estes, e que, portanto, “os custos são uma medida mínima dos benefícios”. Outra situação de aplicação válida da abordagem do custo de reposição é quando se configura uma restrição total a não permitir um declínio na qualidade ambiental. É o que se chama de “restrição à sustentabilidade”. Sob essas condições, os custos de reposição se apresentam como uma primeira aproximação dos benefícios ou do dano (PEARCE, 1993).

A operacionalização desse método é feita pela agregação dos gastos efetuados na reparação dos efeitos negativos provocados por algum distúrbio na qualidade ambiental de um recurso utilizado numa função de produção. Na função de produção, os gastos com todo o processo de recuperação do bem ou do serviço ambiental servem como uma medida aproximada do benefício que a sociedade auferir por ter um determinado recurso.

Existem várias aproximações para a estimação do valor econômico da erosão, sendo a mais comum a mensuração dos custos de reposição dos nutrientes perdidos via aplicação de fertilizantes industrializados. Serão levados em conta apenas os danos causados pela erosão na propriedade agrícola. Aqueles efeitos observados fora da propriedade (*off-site*) serão desconsiderados, embora não sejam, em nenhum momento, menos importantes que os ocorridos *in situ*.

A aplicação do método do custo de reposição de nutrientes¹, cuja idéia básica é a quantificação das perdas de nutrientes, usando-se como parâmetro a equivalência

¹ Para mais detalhes sobre o método do custo de reposição de nutrientes, ver, entre outros, Marques (1995).

de preços de fertilizantes encontrados no mercado envolve quatro procedimentos: i. quantificação das perdas de solo por cultura; ii. identificação da quantidade de nutrientes carregada pelo processo erosivo (nitrogênio – N, fósforo – P, potássio – K, cálcio e magnésio – Ca+Mg); iii. conversão da quantidade de nutrientes em equivalentes de fertilizantes necessários para repor a fertilidade do solo (sulfato de amônia, superfosfato simples, cloreto de potássio e calcário dolomítico); iv. mensuração dos custos de aplicação dos fertilizantes.

No presente trabalho, utilizou-se uma adaptação do método do custo de reposição dos nutrientes proposto por Marques (1995), adicionado do custo de aplicação dos fertilizantes para se atribuir valor monetário aos impactos relacionados à erosão do solo em cada atividade agrícola do município.

Valor econômico da perda de solo agrícola = $\sum_{i=1}^n (Q_n * P_n) + C_{af}$, onde:

Q_n = Quantidade de nutrientes necessários para reposição da fertilidade do solo observada nas amostras;;

P_n = Preço de mercado de cada fertilizante industrializado;

C_{af} = Custo de aplicação dos fertilizantes.

A estimativa das taxas de perda de solo na área de estudo foi efetivada aplicando o modelo USLE – Universal Soil Loss Equation (WISCHMEIER e SMITH, 1978), também conhecido por Equação Universal de Perda de Solo, que foi adaptada para uso nas condições brasileiras por Bertoni e Lombardi (1998). O modelo estima a perda média de solo de locais específicos, sob sistemas de cultivo e manejo também específicos, tendo por base os valores médios de eventos de precipitação ocorridos, considerando uma série de observações de 20 anos ou mais (WISCHMEIER e SMITH, 1978). Consiste de um modelo multiplicativo, pelo qual a perda média anual de solo é obtida pelo produto de seis fatores determinantes, de acordo com a equação:

$$A = R * K * L * S * C * P, \text{ onde:}$$

A = perda anual de solo em $Mg.ha^{-1}.ano^{-1}$;

R = fator erosividade da precipitação e da enxurrada, em $M.J.mm.ha^{-1}.h^{-1}.ano^{-1}$;

K = fator erodibilidade do solo, definido pela intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva, para um solo específico mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25m em $Mg.ha.h/ha.MJ.mm$;

L = fator comprimento da encosta, definido pela relação de perdas de solo entre uma encosta com um comprimento qualquer e uma encosta com 25m de comprimento, para o mesmo solo e grau de inclinação;

S = fator grau de declividade, definido pela reação de perdas de solo entre um terreno com uma declividade qualquer e um terreno com declividade de 9%, para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C = fator de cobertura e manejo da cultura, definido pela relação de perdas de solo entre um terreno cultivado e dadas condições e um terreno mantido continuamente descoberto, em condições semelhantes àquelas em que o fator K é avaliado, adimensional;

P = fator prática de controle de erosão, relação de perdas de solo entre um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo, adimensional.

Os fatores R, K, L e S dependem das condições naturais do clima, do solo e do terreno, definindo o potencial natural de erosão, já os fatores C e P são antrópicos ou relacionados com as formas de manejo do solo e do uso e ocupação das terras. Os valores para o fator C utilizados para este trabalho estão mostrados na tabela 1. O fator R foi calculado a partir do potencial erosivo da chuva (erosividade) na região do município de Araras, seguindo a metodologia estabelecida por Bertoni & Lombardi Neto (1990) e os valores encontrados para o fator erosividade (R) variaram entre 8.791 a 9.043 MJ.mm.ha⁻¹.ha⁻¹.ano⁻¹.

Tabela 1 - Valores do Fator C”

USO FATOR “C”	FATOR C
Cafeicultura	0,02010
Cana-de-açúcar crua	0,03770
Cana-de-açúcar queimada	0,07540
Citricultura	0,02470
Cultura anual (soja + milho)	0,10231
Floresta secundária	0,00077
Pastagem	0,01000

Fonte: Dados gerados pela pesquisa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o conjunto de dados e de informações gerado, foi elaborado o mapa de perdas de solo para o município e pode-se verificar que há locais na região que, muito embora sejam pequenos, a taxa de perdas de solos pode atingir até 24 a 60 e 60 a 120 t.ha⁻¹.ano⁻¹, conforme mostra a espacialização na figura 1. Foram encontrados as seguintes taxas de erosão para as atividades agrícolas exploradas no município, conforme a tabela 2.

Tabela 2 - Taxa de perda de solos

USO DO SOLO	TAXA DE PERDA DE SOLOS t.ha⁻¹.ano⁻¹
Cafeicultura	2,8763
Cana-de-açúcar crua	3,9562
Cana-de-açúcar queimada	14,8818
Citricultura	2,9403
Cultura anual (soja + milho)	14,4046
Floresta secundária	0,9958
Pastagem	1,8154

Fonte: Dados gerados pela pesquisa.

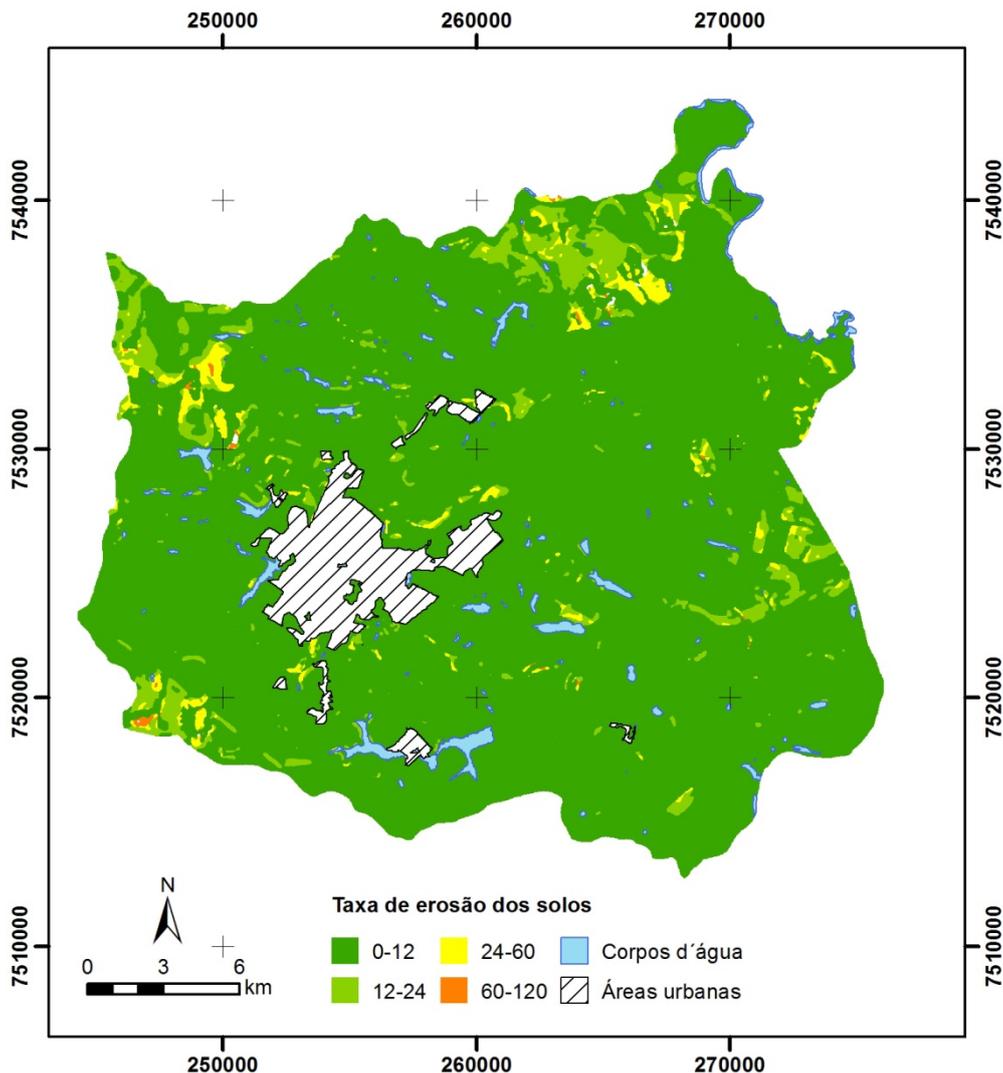


Figura 1 - Mapa da espacialização das taxas de erosão dos solos do município de Araras, SP.

Fonte: Mapa gerado pela pesquisa.

CONCLUSÕES

As técnicas de geoprocessamento são ferramentas importantes para a espacialização das perdas de solo e contribuem muito para o entendimento e visualização da degradação dos solos via erosão hídrica dos solos.

REFERÊNCIAS

BERTONI, J., LOMBARDI NETO, F., **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone. 355p. 1990.

MARQUES, J. F. **Efeitos da degradação do solo na geração de energia elétrica: uma abordagem da economia ambiental**. Tese de Doutorado/USP. São Paulo. 1995. 257 p.

MARQUES, J.F.; SKORUPA, L.A.; FERRAZ, J.M.G. **Indicadores de sustentabilidade em agroecossistema**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. 2003. 281p.

PEARCE D. Natural resources, growth and development : Natural resources, growth and development: Economics, Ecology and Resource Scarcity. Clement Tisdell, Praeger, New York. **Ecological Economics**, Elsevier, vol. 7(1), pages 78-79, February. 1993.

SEROA DA MOTTA, R. **Manual de valoração econômica de recursos ambientais**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal, 1989. 218p.

WISCHIMEIER, W. H.; SMITH, D.D. **Prediciting rainfall erosion losses: a guide to a conservation planning**. Washington: USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537).