

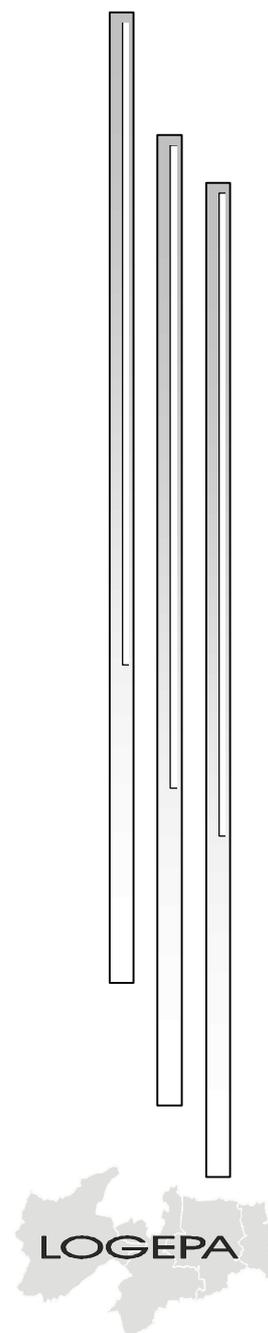
CADERNOS DO LOGEPA

ISSN 1677-1117

**EROSÃO DO SOLO: FATORES
CONDICIONANTES E MODELAGEM
MATEMÁTICA**

Eduardo Rodrigues Viana de Lima

Ano 2 – No. 01 - 2003



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
LABORATÓRIO E OFICINA DE GEOGRAFIA DA PARAÍBA
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
JOÃO PESSOA – PB

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Centro de Ciências Exatas e da Natureza
Departamento de Geociências
Curso de Geografia

REITOR
Jader Nunes de Oliveira

PRÓ- REITORA DE GRADUAÇÃO
Iguatemy Maria de Lucena Martins

PRÓ- REITORA DE EXTENSÃO E ASSUNTOS COMUNITÁRIOS
Lúcia de Fátima Guerra Ferreira

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
Eduardo Rodrigues Viana de Lima

VICE-CHEFE DO DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS
Maria de Fátima Ferreira Rodrigues



LABORATÓRIO E OFICINA DE GEOGRAFIA DA PARAÍBA

COORDENADOR: Emília de Rodat Fernandes Moreira
MEMBROS: Ana Glória Cornélio Madruga; Doralice Sátyro Maia, Jomário da Fonseca Lins; Maria de Fátima Ferreira Rodrigues; Magno Erasto de Araújo; José Augusto de Almeida, Lígia Tavares, Sinval Almeida Passos.

EDITOR RESPONSÁVEL
Emília de Rodat Fernandes Moreira

CONSELHO EDITORIAL
Ana Glória Cornélio Madruga, Universidade Federal da Paraíba; Bernardo Maçano Fernandes, UNESP – Presidente Prudente; Doralice Sátyro Maia, Universidade Federal da Paraíba; Edvânia Torres, Universidade Federal de Pernambuco; Emília de Rodat Fernandes Moreira, Universidade Federal da Paraíba; José Antônio Pacheco de Almeida, Universidade Federal da Paraíba; Janete Lins Rodriguez, Fundação Casa José Américo de Almeida –PB; Maria de Fátima Ferreira Rodrigues, Universidade Federal da Paraíba; Maria Geralda Almeida, Universidade Federal de Goiás; Marilda Aparecida de Menezes – Universidade Federal de Campina Grande; Rosa Ester Rossini, Universidade de São Paulo; Ruy Moreira, Universidade Federal Fluminense

CADERNOS DO LOGEPA – SÉRIE PESQUISA tem o objetivo de divulgar trabalhos de pesquisa desenvolvidos primordialmente por docentes do curso de graduação em geografia da UFPB, na forma de artigo técnico científico. São aceitos trabalhos de docentes de cursos que tenham afinidade com a geografia desde que contribuam para a ampliação do conhecimento geográfico, particularmente da Geografia Regional da Paraíba e do Nordeste.

ISSN – 1677-1117

É permitida a reprodução deste texto, desde que obrigatoriamente citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são rigorosamente proibidas.

Para adquirir esta publicação, escreva, telefone ou envie sua correspondência para o endereço abaixo:
LOGEPA/Departamento de Geociências - Campus I - Cidade Universitária
58030-900 – João Pessoa, PB – Brasil
Tel: 0xx83-2167432 Ramal 44
E-mail: emilia@funape.ufpb.br

EROSÃO DO SOLO: FATORES CONDICIONANTES E MODELAGEM MATEMÁTICA

Eduardo Rodrigues Viana de Lima
Prof. Dr. Do Dpto. De Geociência e do PPGG/UFPB

Assim como qualquer outro fenômeno do âmbito de estudo da geografia física, a erosão do solo provocada pela ação do escoamento superficial das águas pluviais, também é estudada do ponto de vista das interrelações espaciais e seus fatores condicionantes. Este trabalho foi concebido da perspectiva da análise espacial da erosão hídrica do solo, buscando apoio em estudos anteriores que elegeram as variáveis envolvidas no fenômeno.

A erosão dos solos é tema que faz parte do arcabouço teórico da geomorfologia desde os seus primórdios, com William Morris Davis (1991) (Ciclo geográfico). Na perspectiva geomorfológica esse fenômeno é considerado como um elemento da dinâmica das formas de relevo e é alvo de trabalhos de diversos pesquisadores, que procuram indicar os diferentes mecanismos dos processos erosivos, tais como os de R. E. Horton (1945), A. N. Strahler (1956,1957), R. J. Chorley (1978), M. J. Kirkby (1980, 1988), R. Lal (1990), A. Young (1960), K.W. Butzer (1974), M. A. Keech (1968), J. De Ploey e J. Poesen (1985), Francis Ruellan (1953), M. A. Stocking (1972, J. Tricart (1968, 1977), D. P. Rao (1975), e, no Brasil, Aziz Ab'Saber (1968), Antônio Christofolletti (1968, 1985), entre outros.

Entre as perspectivas de estudo da erosão do solo que levam em consideração a análise espacial do fenômeno, está a avaliação preditiva como forma de subsidiar o planejamento do uso da terra, bem como definir as medidas de conservação. No intuito de desenvolver estudos preditivos recorre-se ao uso de modelos, que surgiram na década de 40, e até hoje são amplamente utilizados nas pesquisas agrônômicas de conservação do solo.

Sendo assim, no que se refere aos aspectos agrônômicos, Bertoni e Lombardi Neto (1993) enfatizam a erosão do solo do ponto de vista conservacionista, considerando como estudos de erosão aqueles que envolvem a determinação de perdas de solo e água por erosão, com talhões munidos de sistemas coletores, e o desenvolvimento de ravinas e determinação de mudanças na superfície do solo. Naturalmente existem outros pontos de vista sobre os quais os estudos de erosão podem ser desenvolvidos, mas em todos os casos é de significativa importância a análise espacial do fenômeno, sejam quais forem as variáveis envolvidas.

De forma genérica, concebe-se a erosão como um processo de retirada e transporte de partículas do solo pelos agentes erosivos (Ellison, 1947), os quais Bertoni e Lombardi

Neto (1993) especificam como sendo água e vento e a U. S. Soil Conservation Society of America-SCSA (1976) vai mais além, incluindo o gelo e outros agentes geológicos, tais como o rastejamento.

Segundo Vilar (1987) e Vilar e Prandi (1993), a erosão consiste em um conjunto de processos pelos quais os materiais da crosta terrestre são desagregados, dissolvidos ou desgastados e transportados de um ponto a outro pelos agentes erosivos (geleiras, rios, mares, vento ou chuva). Lal (1990), como se pode constatar na Figura 1, expõe os diferentes tipos de erosão e os agentes responsáveis pelo processo.

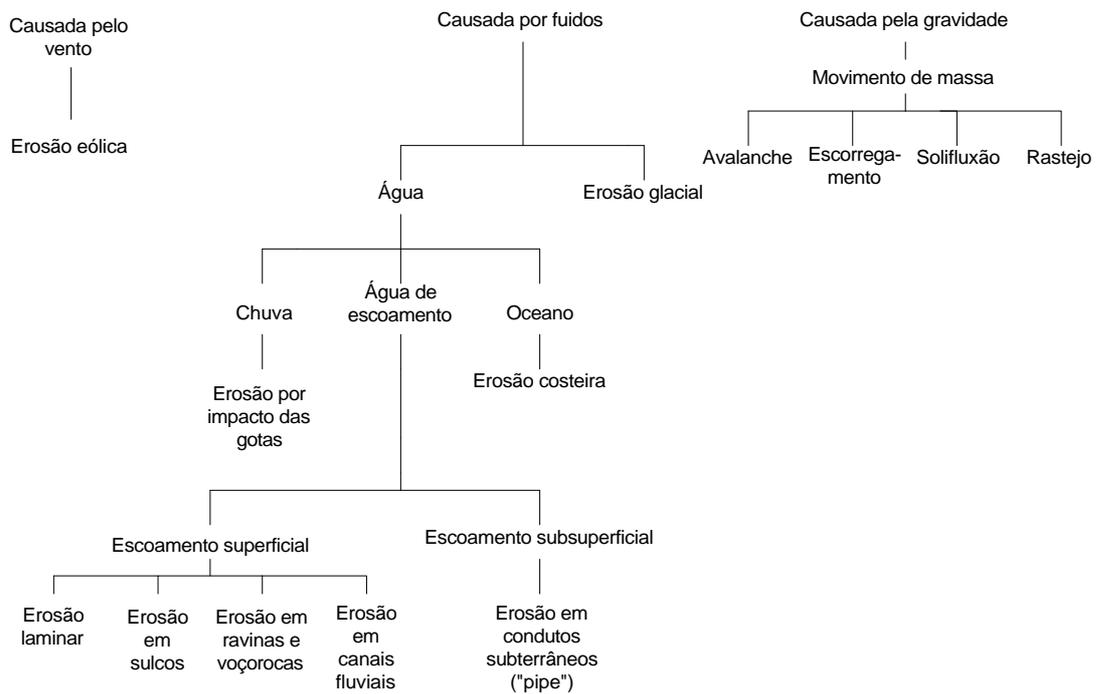


Figura 1 - Tipos de erosão (modificado de Lal, 1990).

Por meio da Figura 2, Lal (1990) mostra os fatores ambientais envolvidos nos processos de erosão, e Dunne e Leopold (1978) por meio da Figura 10, relaciona-os com os diferentes tipos de erosão acima apresentados.

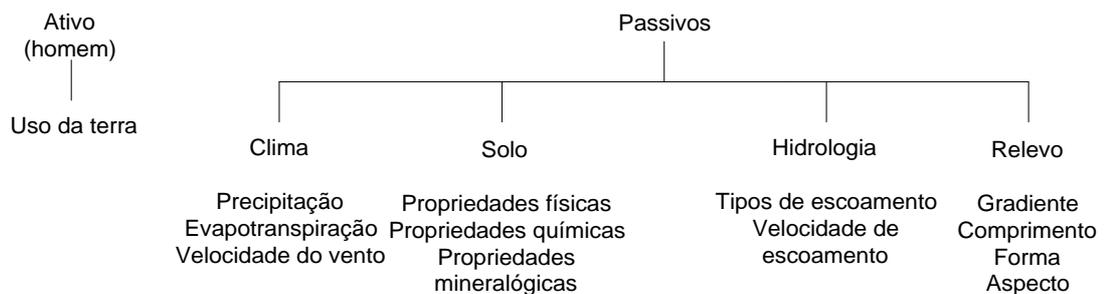


Figura 2 - Fatores envolvidos na erosão (Lal,1990) (modificado).

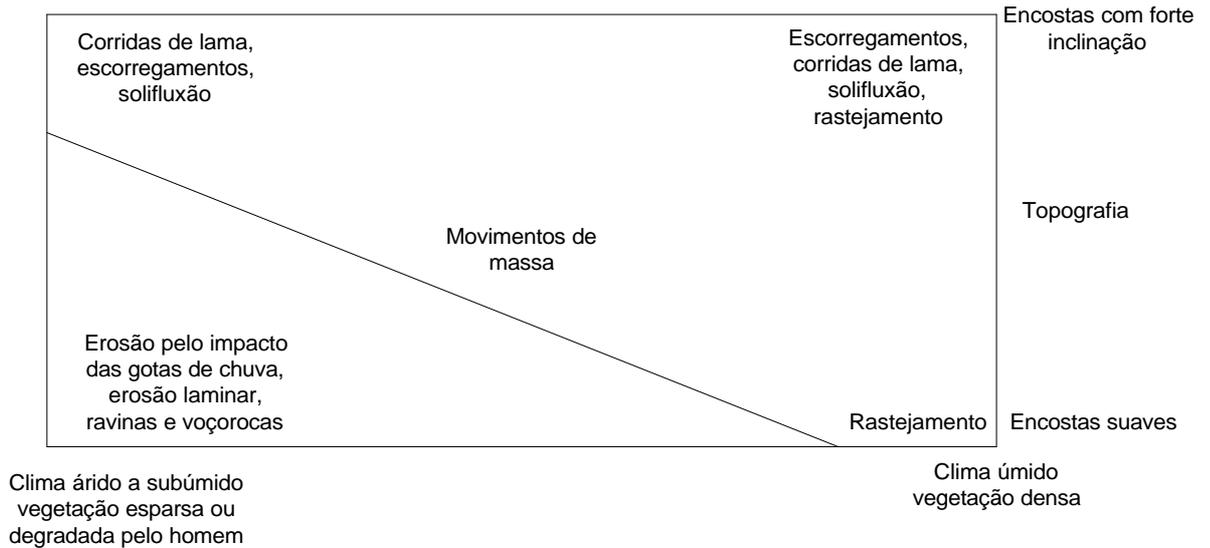


Figura 3 - Relação entre os fatores ambientais e os tipos de erosão (Dunne e Leopold, 1978 - modificado).

Sob qualquer dos agentes erosivos, o processo da erosão pode ser considerado de duas maneiras, em função de sua intensidade. Distinguem-se, então, a erosão geológica (também conhecida como normal ou natural), que corresponde a um processo lento e contínuo de evolução da terra, e a erosão acelerada, que constitui um processo rápido em parte induzido pela intervenção do homem (Benzet, 1939; El Swaify et al., 1982, apud Nishiyama, 1995).

Dentre os citados agentes erosivos, entretanto, a água é o mais importante, notadamente na zona intertropical, pela ação das chuvas, escoamento das águas em superfície, mares e lagos, dos quais resulta a chamada erosão hídrica de superfície.

Das formas de erosão hídrica, entretanto, a de maior abrangência e impacto sobre as atividades humanas, é a representada pela água das chuvas através do impacto das gotas sobre o solo e seu escoamento superficial que remove o material das camadas de superfície das vertentes. No que refere ao escoamento superficial, são distinguidas as formas clássicas de erosão pela água como a laminar, em sulcos, em ravinas e em voçorocas:

- **Erosão laminar ou inter-sulcos** (*interrill erosion*) - Consiste na remoção de delgadas camadas de solo e portanto não se fazendo notar sua ação com facilidade. Origina-se do escoamento superficial disperso pela encosta, não se concentrando em canais. Ocorre, quase sempre, sob condições de chuva prolongada, quando a capacidade de infiltração do solo é excedida. O aumento da turbulência do fluxo de água provoca uma maior capacidade erosiva. Esse tipo de erosão tende a ocorrer com maior facilidade em solos com baixo poder de coesão (Guerra, 1995). Para Ellison (1947) esse tipo de erosão raramente desenvolve capacidade suficiente para transportar quantidade significativa de solo em suspensão. Sua capacidade de transporte aumenta com a energia cinética fornecida pelas gotas de chuva, que dão origem a um fluxo turbulento e se constitui na interação do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial.

- **Erosão em sulcos** (*rill erosion*) - Ocorre em pequenas irregularidades do terreno, nas quais a enxurrada se concentra, levando à formação de filetes que se escoam seguindo aproximadamente a linha de maior declividade da encosta (Fournier, 1960). À medida que a lâmina torna-se mais espessa e aumenta a velocidade, cresce também o poder erosivo e, a uma certa distância do topo da vertente, a tensão de cisalhamento supera a resistência ao cisalhamento, iniciando-se a erosão (Horton, 1945).

- **Erosão em ravinas** - Este tipo de erosão, que dá origem a feições mais visíveis e permanentes no solo, ocorre a partir do momento em que a velocidade do fluxo concentrado excede os 30 m/s (Ellison, 1947), quando este adquire um regime turbulento e origina-se uma incisão ao longo da linha de fluxo (Evans, 1980). O aumento do gradiente hidráulico pode ser devido ao aumento da intensidade da chuva, ao aumento do gradiente de encosta e ainda porque a capacidade de armazenamento foi excedida. O canal formado não é funcional e seu talvegue é intermitentemente aprofundado, atingindo inicialmente os horizontes inferiores do solo e, em seguida, a rocha mãe (Fournier, 1960). Excepcionalmente uma ravina pode evoluir para um canal de água permanente, desembocando em um rio; quando isto ocorre, em geral a ravina já evoluiu para uma voçoroca (Guerra, 1995).

- **Erosão em voçorocas** - Segundo Guerra (1995) as voçorocas são características erosivas relativamente permanentes nas encostas, possuindo paredes laterais íngremes e, em geral, fundo chato, ocorrendo fluxo de água no seu interior durante os eventos chuvosos. Em alguns casos, podem atingir o lençol freático. Podem se originar da intensificação do processo de ravinamento, tanto no sentido vertical como horizontal, concentrando grandes volumes de fluxo das águas do escoamento superficial e do escoamento subsuperficial. A água é transportada em dutos que, com remoção de grandes quantidades de sedimentos, provocada pelo aumento do fluxo subsuperficial, aumenta o diâmetro desses dutos e provoca o colapso do material situado acima. Pode ainda ser a partir de antigos deslizamentos de terra, que deixam cicatrizes nas paredes laterais do mesmo e com a ação posterior do escoamento concentrado, se origina o voçorocamento. Embora a origem da formação da voçoroca possa variar, o processo, de forma geral, é uma conjugação da ação do escoamento superficial das águas pluviais e do escoamento subsuperficial.

Nos estudos de erosão dos solos, além da essencial análise que deve ser feita dos fatores condicionantes, no sentido de identificar aqueles que estão exercendo maior importância no processo, dois outros aspectos podem ser levados em consideração, ambos contemplando a abrangência espacial do fenômeno.

Um dos aspectos é cartografar as marcas deixadas pelos processos erosivos, sejam elas a presença de solos decaptados, ravinas ou voçorocas, a exemplo de que foi feito por Stein et al. (1987) para o caso da erosão laminar na bacia do Peixe-Paranapanema (SP), a partir do mapeamento das cicatrizes de erosão por unidade de área. Com isso, procurou-se avaliar o estado da erosão no momento do estudo e correlacionar este aspecto com o uso da terra e o potencial natural à erosão da área. Pinto (1991) também procedeu ao mapeamento das feições erosivas para avaliar a relação existente entre a ocorrência do processo erosivo e as áreas potencialmente críticas.

Outro aspecto importante e bastante explorado recentemente, é o uso de modelos preditivos para avaliação do potencial de erosão hídrica de áreas das mais diversas dimensões, desde estações experimentais até grandes bacias hidrográficas. O desenvolvimento e aperfeiçoamento desses modelos, alguns deles já direcionados para uma avaliação espacial do processo, assim como o desenvolvimento de sistemas de geoprocessamento e dos sistemas computacionais como um todo, permitiram o grande avanço nos estudos dessa natureza. A definição da potencialidade ao processo erosivo torna-se cada vez mais importante e necessária, considerando o fato de que há grande variabilidade espacial e temporal dos elementos naturais e antrópicos, e, portanto, a necessidade do constante monitoramento.

Fatores condicionantes:

Lal (1990), por intermédio da Figura 2, considera como forças passivas na erosão, o clima, o solo, a hidrologia e o relevo, e como força ativa o uso da terra. Entretanto, numa perspectiva diferente desse autor, Bertoni e Lombardi Neto (1993) consideram como forças ativas que atuam no processo erosivo, as características da chuva, a declividade e o comprimento da encosta e a capacidade de absorção de água do solo, enquanto que, como forças passivas, a resistência do solo à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal. Estes fatores condicionantes serão apresentados a seguir.

a) Chuva

A chuva é um elemento climático que exerce considerável influência na erosão hídrica do solo, especialmente através de sua intensidade, volume e freqüência. Essas características são fundamentais no que se refere ao impacto das gotas da chuva no solo e em relação ao volume e velocidade da enxurrada. Em ambos os casos, ocorre o destacamento das partículas/agregados do solo e seu transporte.

Considerando os efeitos da chuva sobre o solo, pode-se considerar que, dentre as características daquela, a mais importante, ou seja, a de maior influência no fenômeno erosivo é a intensidade, seguida da duração, que é o seu complemento e que determina a chuva total.

O impacto das gotas de chuva no solo constitui uma das contribuições da precipitação sobre a erosão do solo, visto que tem poder de desprender as partículas do solo e provocar seu deslocamento. Esta importância é enfatizada por Ellison (1947), que considera que a principal função das gotas de chuva é a de destacar partículas do solo, e a principal função do escoamento superficial é a de transportar materiais destacados do solo.

Esquemáticamente, a figura 4 mostra como ocorre o desprendimento de partículas em dois solos que apresentam diferentes resistências de cisalhamento, definidas como a resistência máxima que os agregados do solo podem oferecer, sob certas condições de tensão, antes de suas partículas iniciarem o deslocamento umas sobre as outras.

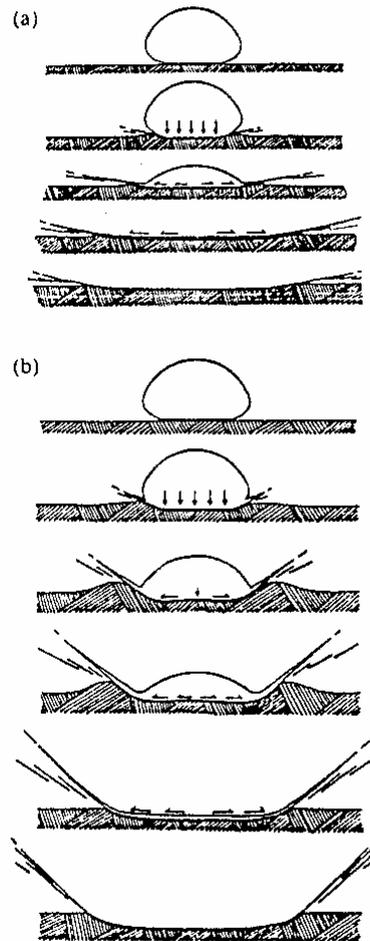


Figura 4 - Desprendimento de partículas em (a) solo com alta resistência ao cisalhamento e (b) solo com baixa resistência ao cisalhamento. (Al-Durrah & Bradford, 1982, apud Nishiyama, 1995).

Bertoni e Lombardi Neto (1993) mostram que a gota de chuva influencia a erosão do solo de três formas: a) desprendem partículas de solo no local que sofre o impacto; b) transportam, por salpicamento, as partículas desprendidas; c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água de escoamento superficial.

O poder erosivo da chuva pode ser avaliado pela determinação da energia cinética das gotas, que é função da sua massa e velocidade e pode ser calculada, no sistema métrico, com a equação (Bertoni e Lombardi Neto, 1993):

$$E_c = 12,14 + 8,88 \log I$$

onde E_c é a energia cinética em toneladas-metro/hectare-milímetro e I é a intensidade da chuva em mm/h.

Sendo a energia cinética dependente da massa e da velocidade das gotas, estas apresentam uma velocidade terminal, quando caem de uma altura de cerca de 8 m. Em função da altura de sua trajetória em geral possuem de 1 a 6 mm de diâmetro (faixa de tamanho médio que possuem as gotas). Com isso, conclui-se que, além das gotas que

caem diretamente das nuvens, aquelas que são interceptadas pela cobertura vegetal, com altura acima de 2 m, dependendo de seu tamanho, assumem o mesmo poder erosivo.

Na ação erosiva exercida pelas gotas de chuva sobre o terreno, vale destacar ainda o poder de compactação do solo exercido por essas e que provoca conseqüências na infiltração e no escoamento superficial da água. O impacto das gotas de chuva no solo, ao mesmo tempo que desloca algumas partículas, também exerce o poder de agregação de outras, pelo efeito da energia cinética que adquirem na queda e imprimem sobre as mesmas. Há uma alteração na estrutura superficial do solo e, por conseguinte, na capacidade de infiltração, aumentando assim a razão de escoamento superficial da água.

A Figura a seguir mostra a participação do efeito da compactação na interação da chuva com a superfície do solo.

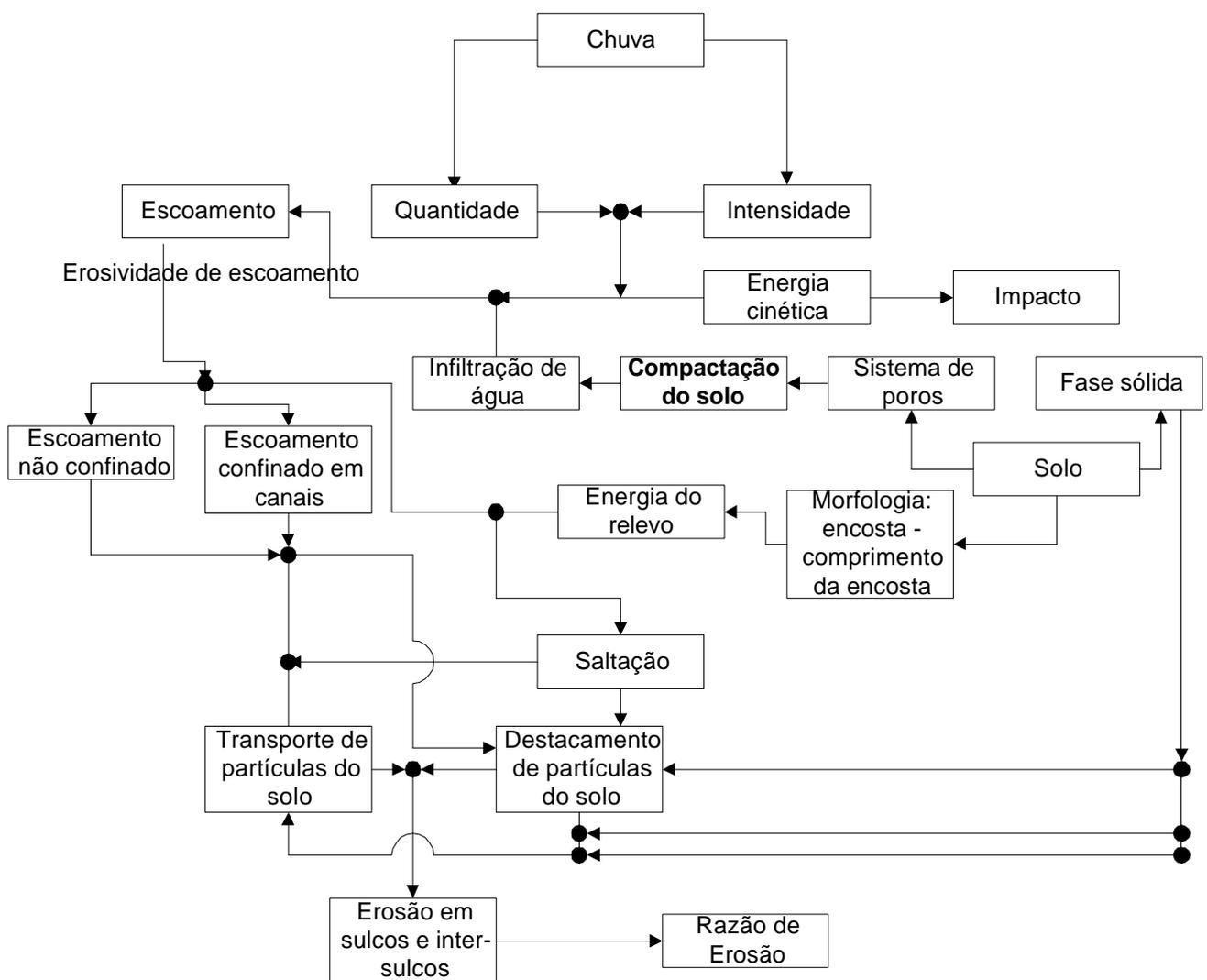


Figura 5 – Interação entre chuva, escoamento superficial, efeito *splash* sobre o solo e transporte de sedimento (Chisci, 1981, apud Lal, 1990) (modificado).

O escoamento superficial, como complemento da ação erosiva das chuvas, exerce as ações de destacamento, transporte e deposição das partículas do solo. O volume de escoamento, que determina o poder erosivo, depende da quantidade de chuva precipitada, da capacidade de infiltração do solo e da capacidade de retenção do fluxo d'água na superfície do solo (Dune & Leopold, 1978).

O escoamento sobre a superfície do solo pode ser laminar (ou de forma não confinada), que também é conhecida como inter-sulcos (*interill erosion*), em lençol (*sheet erosion*) ou pode ser concentrada em canais (*rill erosion*).

Hogg (1982) sistematiza e hierarquiza os tipos de escoamento, indicando o processo de escoamento da água das chuvas, como segue:

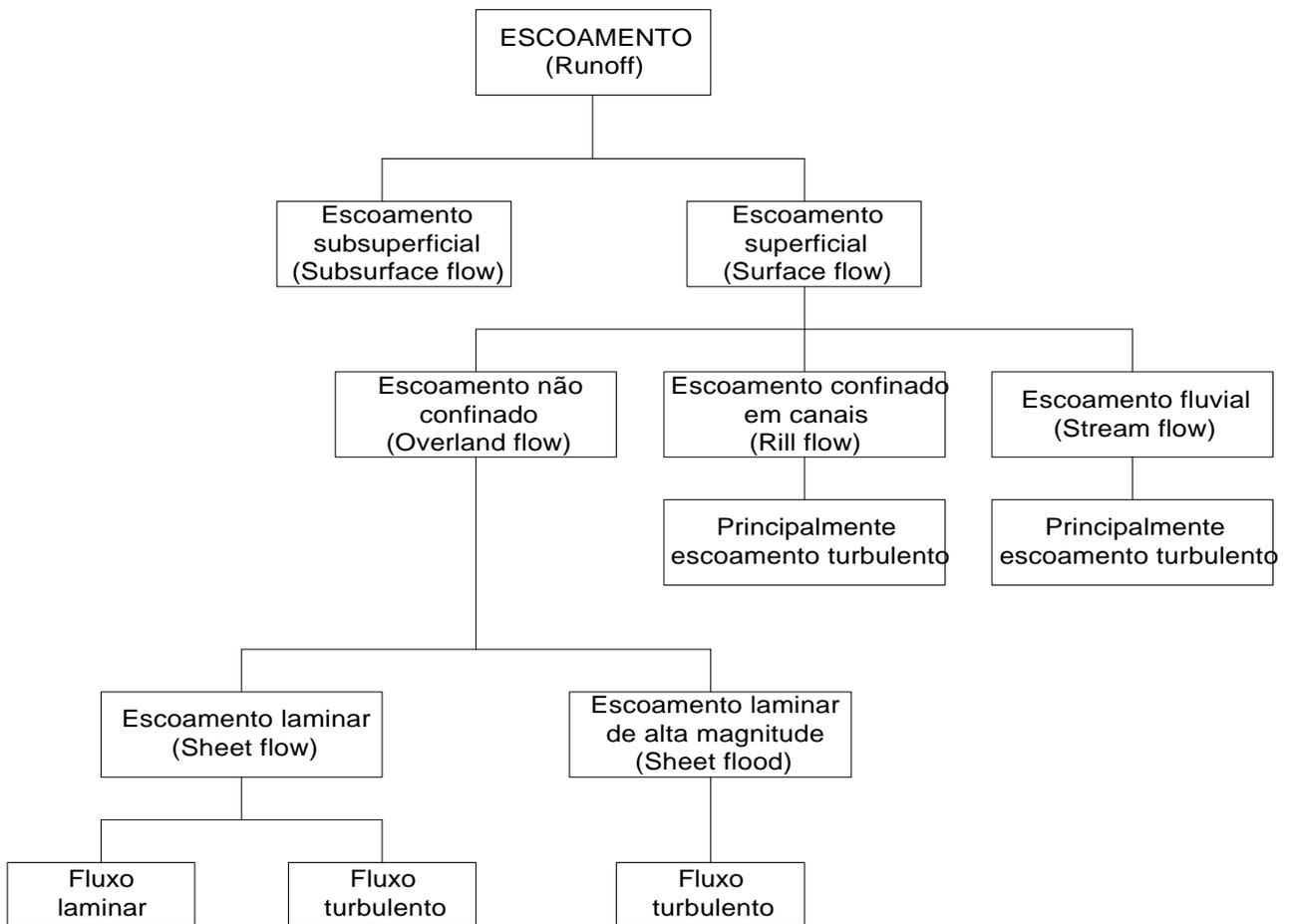


Figura 6 - Tipos de escoamento superficial. (Hogg, 1982).

Segundo Nishiyama (1995), podem-se distinguir quatro tipos de escoamento superficial laminar:

- 1 - Escoamento superficial hortoniano** - Ocorre quando a intensidade de precipitação excede a taxa de infiltração;
- 2 - Escoamento superficial hortoniano retardado** - Quando a intensidade de precipitação excede a capacidade de infiltração do solo após a influência de um fator de retardo, como umedecimento ou impacto de gotas de chuva;

3 - escoamento superficial por saturação da camada de topo - Ocorre em solos onde uma camada relativamente permeável no topo do perfil encontra-se sobrejacente a uma camada menos permeável; e

4 - escoamento superficial por saturação - É produzido quando a capacidade de armazenamento do solo está completamente esgotada, de tal forma que toda adição de água, independente da sua taxa de aplicação, é forçada a escoar pela superfície.

O escoamento na forma de fluxo laminar, em geral, não possui capacidade suficiente para transportar uma quantidade significativa de solo em suspensão (Ellison & Ellison, 1947).

Entretanto, considerando que a erosão laminar é resultante da ação do impacto das gotas de chuva e do escoamento superficial, a capacidade de transporte do fluxo torna-se aumentada, na medida em que a energia cinética das gotas de chuva provoca turbulência na lâmina delgada de água, por intermédio do impacto.

Vale destacar que a capacidade e competência de transporte do fluxo laminar aumenta com o volume da água escoada e de sua velocidade, que por sua vez, é função sobretudo, da declividade e extensão da vertente percorrida pelo fluxo. Assim sendo, o fluxo laminar, de uma forma geral, independe da rugosidade do terreno.

O escoamento concentrado, por sua vez, tem origem no fato de que as superfícies do terreno são, em geral, irregulares para produzir escoamento uniforme. Assim sendo, há a formação de filetes ou pequenos sulcos, a partir do confinamento entre torrões do solo ou mesmo devido a um obstáculo que divide a corrente de água e provoca um turbilhão que escava uma cavidade, resultando numa incisão à montante e à jusante da direção do fluxo.

Da mesma forma que ocorre com o processo da erosão laminar, a erosão concentrada ganha poder erosivo com o aumento da velocidade do fluxo e impacto das gotas de chuva provocando turbilhonamento. Esse escoamento pode ser em sulcos, no estágio inicial, e em ravinas e voçorocas, em estágios mais avançados, nos quais a água escava no solo um canal de escoamento e chega a se encaixar nas rochas subjacentes. Nesses últimos casos, ocorre erosão tanto no sentido vertical como lateral.

O escoamento concentrado possui mais elevada capacidade de transporte do que a laminar, conduzindo mais carga sólida (capacidade) e de grande variação textural (competência de transporte).

Em ambos os casos os riscos são grandes, considerando que a erosão laminar é uma ação especial na decaptação dos solos por meio da retirada de finas camadas superficiais desses, processo quase que imperceptível mas que atinge grandes áreas; por conseguinte, grandes perdas de solo, e no caso da erosão concentrada, o fenômeno pode se agravar a tal ponto que se torne irreversível e provoque danos incalculáveis, tanto ambientais, como humanos e materiais.

b) Relevô:

O relevo se constitui em elemento de significativa importância quando se analisa a erosão hídrica, uma vez que é potencializador do processo.

As características do terreno que exercem importância sobre a erosão são a declividade (grau do declive), o comprimento da vertente (lançante), e a sua geometria (concauidade, convexidade, retilinearidade) (Strahler, 1956; Stocking, 1972).

O grau do declive é reconhecidamente um importante fator na erosão dos solos, exercendo influência sobre o volume e a velocidade da enxurrada. A perda de terra é uma função exponencial da declividade, e, em função disso, nos cálculos de perda de solo por erosão, são definidos diferentes valores exponenciais para representar esse fator em formulações empíricas. Bertoni (1959), em pesquisas no Estado de São Paulo, chegou ao valor de expoente de 1,18.

O comprimento da encosta é outro importante aspecto do terreno que exerce influência sobre o fenômeno erosivo. O aumento do comprimento leva a um aumento no volume e na velocidade da enxurrada, e, conseqüentemente em maior poder erosivo.

O efeito do comprimento da encosta nas perdas de terra também tem um efeito exponencial; portanto, são definidos valores para compor formulações empíricas de perdas de solo por erosão, da mesma forma que ocorre com o grau do declive. A exemplo disso, Bertoni (1959) determinou o valor exponencial de 0,63 para representar esse fator.

Com base na Tabela 1, com resultados de pesquisas conduzidas em condições específicas de vertentes (canteiros experimentais), pode-se verificar que, duplicando-se o comprimento da encosta, as perdas de terra são mais do que o dobro, enquanto a perda por hectare não é duplicada.

Tabela 1 – Efeito do comprimento da encosta nas perdas de solo

Comprimento da encosta (m)	1º trecho de 25 m t/ha	2º trecho de 25 m t/há	3º trecho de 25 m t/há	4º trecho de 25 m t/ha	Média t/há
25	13,9	-	-	-	13,9
50	13,9	25,9	-	-	19,9
75	13,9	25,9	38,8	-	26,2
100	13,9	25,9	38,8	51,4	32,5

Fonte: Bertoni & Lombardi Neto (1993) (modificado).

Embora pouco avaliada, a geometria da encosta também exerce grande influência na erosão dos solos. Nas vertentes côncavas o escoamento superficial é, em geral, maior a montante do que a jusante, e, no caso das vertentes convexas, o processo se inverte, ou seja, o escoamento é maior a jusante (Castro & Zobeck, 1986; Pennock & Jong, 1987).

Bertoni e Lombardi Neto (1993) salientam que nas estimativas de perda de solo o uso do gradiente médio do comprimento da encosta pode subestimar as perdas de solo de encostas convexas e superestimar as perdas nas encostas côncavas. Segundo Lal (1990), a forma da encosta afeta a erosão do solo influenciando na quantidade e velocidade do fluxo de escoamento. Enquanto nas encostas convexas aumenta a velocidade do fluxo de

escoamento, destacamento e capacidade de transporte, nas vertentes côncavas a velocidade diminui e ocorre deposição.

Lict et al. (1976), apud Lal (1990) observaram que a erosão em encostas convexas foi cinco vezes maior do que em vertentes uniformes.

Young e Mutchler (1969), apud Lal (1990) desenvolveram pesquisas em em encostas côncavas, convexas, uniformes e complexas para estimar a erosão e o escoamento sob três tipos de cultivo e observaram que as perdas de solo e água foram maiores em encostas uniformes e convexas e menores em vertentes côncavas.

Lal (1976), apud Lal (1990), com base nos dados da Tabela 2, mostra que a forma da encosta pode ser até mais importante do que o seu comprimento e conclui que a ordem decrescente de perdas de solo e água é a seguinte: encosta convexa > encosta regular (uniforme) > encosta complexa > encosta côncava. Apoiado nessa pesquisa e em muitas outras desenvolvidas em todo o mundo, afirma que os efeitos do comprimento e do gradiente da encosta na erosão são grandemente influenciados pela forma da vertente.

Tabela 2 - Efeito do comprimento das encostas nas perdas de solo e água de um Alfissolo na Nigéria

Variável	12.5 m long		37.5 m long	
	10.0% regular	19.2 % côncava	9.3 % convexa	13.4 % complexa
Primeira estação 1972				
Runoff, mm	230.2	214.3	133.6	125.8
Erosão do solo, t/ha	21.2	7.9	11.4	5.9
Segunda estação 1972				
Runoff, mm	18.8	21.7	9.1	7.7
Erosão do solo, t/ha	2.7	3.2	1.4	1.1
Primeira estação 1973				
Runoff, mm	193.1	203.0	88.5	80.5
Erosão do solo, t/ha	31.3	22.8	21.5	15.8
Segunda estação 1973				
Runoff, mm	88.1	55.1	25.7	28.0
Erosão do solo, t/ha	5.2	0.9	1.5	1.4
Primeira estação 1974				
Runoff, mm	302.7	260.4	175.6	157.3
Erosão do solo, t/há	77.3	34.6	114.3	68.6
Segunda estação 1974				
Runoff, mm	162.4	140.7	52.3	52.7
Erosão do solo, t/há	32.3	14.0	40.2	26.8

Fonte: Lal (1976) apud Lal (1990) (modificado).

c) Natureza do solo

As características físicas, químicas, mineralógicas e biológicas dos solos lhes proporcionam comportamentos diferentes diante dos agentes erosivos. Esse comportamento é traduzido pela suscetibilidade do solo à erosão, que indica a sua maior ou menor resistência a esse fenômeno. Lal (1990) considera que a suscetibilidade do solo à erosão é influenciada pelas propriedades físicas/hidrológicas, químicas/mineralógicas e biológicas/bioquímicas, como também pelas características do perfil (Tabela 3).

Tabela 3 - Fatores que influem na suscetibilidade à erosão dos solos

FATORES QUE INFLUEM NA SUSCETIBILIDADE À EROSAO DOS SOLOS		
PROPRIEDADES	FATORES	CARACTERÍSTICAS
Mecânicas	textura	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Influi no destacamento e carreamento de partículas do solo. ◆ Determina a facilidade com que o solo é dispersado. ◆ Determina a força-limite necessária para o destacamento.
	estrutura	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Formação de agregados que resistem à dispersão, aos efeitos abrasivos da água de escoamento e ao destacamento. ◆ Grau de agregação e distribuição de agregados estáveis. ◆ Tamanho dos agregados.
	Tamanho dos torrões e cultivos do solo	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Resistência à desagregação pela chuva e erosão pelo vento.
	Formação de crosta	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Responsável pela alta taxa de escoamento superficial. ◆ Desenvolve-se em solos com baixa porcentagem de matéria orgânica.
Resistência	resistência ao cisalhamento	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Importante no destacamento de partículas de solo (impacto e escoamento superficial). ◆ Rolamento e deslizamento de grãos.
Hidrológicas	retenção de água	<ul style="list-style-type: none"> ◆ o estado de energia da água do solo ou pressão neutra influencia a resistência ao cisalhamento do solo. ◆ Resistência do solo ao arrastamento pela água é influenciada pela umidade inicial ou antecedente. ◆ Solos secos são mais susceptíveis à erosão pelo vento e pela água do que solos úmidos. ◆ a umidade fornece coesão entre as partículas.
	transmissão de água no solo-infiltração	<ul style="list-style-type: none"> ◆ taxa de infiltração determina o maior ou menor volume de escoamento superficial.
	permeabilidade	<ul style="list-style-type: none"> ◆ solos com permeabilidade extremamente baixa a moderada geram mais escoamento superficial.
Reológicas	sistema solo/água	<ul style="list-style-type: none"> ◆ a umidade do solo influi na suscetibilidade à erosão por afetar a coesão, a resistência ao cisalhamento, consistência e plasticidade.
Químicas e mineralógicas	matéria orgânica	<ul style="list-style-type: none"> ◆ influencia a distribuição granulométrica, propriedades de retenção e transmissão de água. ◆ Fortalece as ligações que estabilizam as unidades estruturais e mantém um balanço favorável entre retenção e transmissão nos poros. ◆ Diminui o efeito de compactação. ◆ Concentração de matéria orgânica nos micro-agregados aumenta a sua resistência à desagregação ("Slacking") e à dispersão. ◆ Elevadas concentrações de M.O. em alguns solos são responsáveis pelas características hidrofóbicas.
	Argilo-minerais	<ul style="list-style-type: none"> ◆ a estrutura do solo e a sua resistência são influenciadas pela quantidade e natureza dos argilo-minerais. ◆ a fração fina do solo interage com a matéria orgânica para formar agregados estáveis que resistem ao impacto das gotas da chuva.
Características do perfil	diretos e indiretos	<ul style="list-style-type: none"> ◆ influencia a erosão direta e indiretamente. ◆ Influência sobre o escoamento subsuperficial de água em decorrência de mudanças nas propriedades hidrológicas de diferentes horizontes. ◆ Influência sobre o crescimento vegetal.

Fonte: Lal (1990) (adaptado)

Dentre os fatores relacionados na Tabela 3, os que exercem maior influência na resistência do solo à erosão são a textura, a estrutura (estabilidade dos agregados), a infiltração, a permeabilidade e a capacidade de armazenamento de água, e o conteúdo de matéria orgânica.

A textura, caracterizada pelo tamanho das partículas do solo, exerce influência sobre o arraste de material em função da quantidade de água absorvida, bem como pela resistência exercida devido à agregação de partículas de menor tamanho e de maior ação coloidal.

Em solos arenosos, grande quantidade de água precipitada pode ser absorvida sem maiores problemas, uma vez que o espaço entre os poros é grande e existe boa capacidade de armazenamento, não havendo risco de destacamento de material. Entretanto, caso haja saturação desse solo e passe a ocorrer escoamento superficial, as partículas com baixo poder de agregação, pela pequena quantidade de argila, tendem a ser carreadas, dando origem ao processo erosivo.

De outro lado, solos argilosos apresentam baixa capacidade de infiltração de água, proporcionando o escoamento superficial com uma maior quantidade de água precipitada; entretanto, possuem maior resistência de agregação quando da ocorrência de enxurradas.

De forma geral, solos argilosos tendem a ser mais resistentes à erosão, do que solos arenosos e com maior capacidade de agregação das partículas.

A estrutura do solo, que representa a condição de estabilidade dos agregados, é um fator que exerce influência sobre as forças de dispersão, desagregação e destacamento das partículas pela água.

Dentre os mecanismos de formação de agregados, pode-se destacar a ação das argilas na cimentação e estabilidade das partículas, a estabilização e formação em presença de matéria orgânica, a variação no conteúdo de água, e a ação de expansão e contração. Bertoni e Lombardi Neto (1993) consideram a estabilidade dos agregados em presença de água, provocada pelas argilas, e a propriedade biológica causada pela presença de matéria orgânica, como aspectos da estrutura dos solos a serem considerados na erosão.

Angulo et al. (1984) avaliaram que a agregação do solo, determinada como estabilidade dos agregados em água e resistência ao impacto da gota de chuva, foi a característica que melhor correlacionou com a erodibilidade do solo.

Os agregados do solo possuem maior estabilidade com a presença de argila caulínica, e menor estabilidade com argila montmorilonítica. A estabilidade assumida pelos agregados do solo condiciona o grau de suscetibilidade à erosão.

A infiltração constitui a entrada e o movimento de água no solo. Portanto, quanto maior a infiltração no solo, menor o escoamento na superfície e, conseqüentemente, menor a erosão em superfície.

Algumas características do solo são importantes para a infiltração, tais como o tamanho e a disposição dos espaços porosos, a umidade do solo no começo da chuva e o grau de agregação do solo (Bertoni e Lombardi neto, 1993).

Dentre essas características, a de maior influência é a relacionada aos espaços porosos. Grandes espaços porosos, característicos de solos arenosos, permitem uma rápida infiltração e uma maior capacidade de absorção da água, minimizando os efeitos da enxurrada. De outro lado, pequenos espaços porosos de solos argilosos dificultam a infiltração e possibilitam maiores taxas de escoamento superficial. Se o solo já estiver molhado quando se iniciar uma chuva, a infiltração será dificultada, haja vista a dilatação do material coloidal e a diminuição dos espaços porosos. Além da característica do solo que está relacionada com a quantidade de material coloidal, a frequência de chuvas é um aspecto, que avaliado conjuntamente, pode ajudar na avaliação dos processos erosivos. Portanto, considerando a presença de solos com grande quantidade de material coloidal e com a grande ocorrência de chuvas, os riscos de erosão pelas enxurradas aumentam consideravelmente. Por outro lado, em solos com baixa quantidade de material coloidal e menor frequência de chuvas, os riscos tendem a ser menores.

A agregação do solo também é um fator que exerce influência nas taxas de infiltração, considerando que uma maior agregação dá origem a maiores espaços porosos e possibilitam maior e mais rápida infiltração.

A coesão das partículas resultante da ação da matéria orgânica também proporciona menor suscetibilidade à erosão do solo. Assim sendo, a maior presença de matéria orgânica no solo é um fator que tende a provocar maior coesão dos agregados e, por conseguinte, maior resistência à erosão.

A presença de matéria orgânica também exerce influência sobre o solo, no sentido de melhorar as condições de arejamento, na aglutinação de partículas, firmando a estrutura e retendo a água, devido a sua capacidade de reter de duas a três vezes seu peso em água.

d) Cobertura vegetal e uso do solo

A cobertura vegetal natural ou alterada pelo homem, constitui-se em agente protetor do solo contra a erosão e varia conforme o tipo de cobertura e, principalmente, sua densidade.

Bertoni e Lombardi Neto (1993) afirmam que o efeito que a vegetação exerce na proteção do solo, pode ser das seguintes formas: a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva; b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo; c) decomposição das raízes das plantas que, formando pequenos canais no solo, aumentam a infiltração da água; d) melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água; e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

Esquemáticamente, Greenway (1990) compara a ação da precipitação em duas encostas, uma sem cobertura vegetal e outra vegetada (Figura 7).

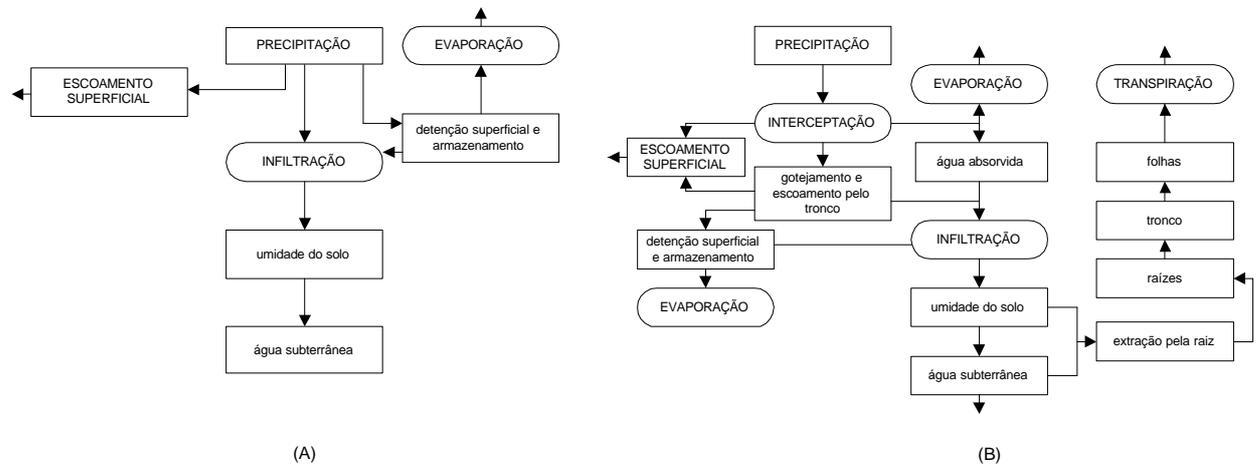


Figura 7 - Comparação da precipitação sobre duas encostas (A) sem vegetação e (B) vegetada (Greenway, 1990).

Na encosta vegetada fica evidente que para ocorrer o escoamento superficial a água entra inicialmente em contato com a cobertura vegetal, dissipando-se a energia cinética e minimizando os efeitos erosivos de superfície do solo. Por outro lado, na encosta sem cobertura vegetal, a ação das chuvas é direta sobre o solo, ocasionando a desagregação e o transporte das partículas do solo, assim como o selamento superficial pelas partículas finas, provocando a redução da capacidade de infiltração.

Nas pesquisas sobre perdas de solo e água, foi possível quantificar e comparar o grau de proteção da vegetação natural e de diversos tipos de culturas, com diferentes percentuais de densidade de cobertura do solo.

Considerando quatro tipos de uso do solo bastante representativos, como mata, pastagem, cafezal e algodão, a Tabela 4 mostra a média ponderada de perda de solo e água, para três tipos de solo do Estado de São Paulo.

Tabela 4 - Efeito do tipo de uso do solo nas perdas por erosão

TIPO DE USO	PERDAS DE	
	SOLO t/ha	ÁGUA % da chuva
Mata	0,004	0,7
Pastagem	0,4	0,7
Cafezal	0,9	1,1
Algodão	26,6	2,6

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1993).

Silva et al. (1986) estudando os efeitos de coberturas vegetais na proteção do solo na região Nordeste, observaram maior proteção da pastagem e, em seguida, da cana-de-açúcar, do milho, do feijão e do algodão.

Considerando especialmente as áreas agricultadas (anuais e perenes), outro aspecto que não pode ser dissociado do tipo de uso são as práticas de manejo. O rotação de culturas, plantio direto, a incorporação de restos culturais, a adoção de preparo do solo e a subsolagem pode resultar em diferentes condições de perda de solo.

A rotação de culturas tem efeito positivo na proteção do solo contra a erosão, como resultado do aumento no conteúdo de matéria orgânica, da melhoria nas condições de permeabilidade do solo e da manutenção de cobertura vegetal e de restos culturais durante grande parte do tempo.

Dependendo do tipo de preparo do solo, pode haver maior proteção contra a erosão. A Tabela 5 mostra o efeito de sistemas de preparo do solo sobre as perdas por erosão, e deixa claro que a aração de subsuperfície é que provoca menores perdas, tanto de solo como de água, uma vez que provocou maior desagregação de partículas na camada superficial do solo.

Tabela 5 - Efeito de sistemas de preparo do solo sobre as perdas por erosão

Sistema de Preparo do solo	Perdas por erosão			
	Solo		Água	
	t/ha	%	% da chuva	%
Duas arações	14,6	122	5,7	104
Uma aração	12,0	100	5,5	100
Subsuperfície	8,6	72	5,0	94

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto (1993).

A subsolagem como forma de manejo do solo teria como efeito a melhoria nas condições de aração e permeabilidade do solo, eliminando camadas endurecidas desse, resultantes do tráfego de máquinas agrícolas, e, em conseqüência, reduzindo a enxurrada.

Em comparação com as práticas de preparo do solo, o plantio direto permite menores perdas de solo e água porque mantém o solo protegido pelas culturas e os resíduos dessas, possibilitando que haja maior infiltração de água e menos enxurrada. O preparo do solo provoca uma quebra na sua estrutura tornando-o mais susceptível ao arraste das partículas desagregadas.

Em conjunto com os sistemas de manejo, podem ser adotadas práticas conservacionistas para minimizar o desgaste do solo por erosão. As práticas mais comuns no caso de culturas anuais, por exemplo, são o plantio em contorno, o plantio em faixas de contorno, o terraceamento e alternância de capinas.

MODELAGEM MATEMÁTICA

A predição de perdas de solo inicialmente concebida em condições de campo, como meio de auxiliar na determinação das práticas conservacionistas e manejos mais indicados para os diferentes cenários de aplicação, é uma tarefa cara e que consome tempo. Medidas realizadas no campo são altamente variáveis no tempo e no espaço. O mínimo de tempo requerido para obter dados confiáveis de campo é de 2 a 3 anos. Adequadamente equipadas, parcelas de campo mantidas para a pesquisa de erosão demandam muitos recursos e os experimentos precisam ser refeitos para se obter dados sobre áreas específicas. Entretanto, resultados de experimentos de campo podem ser extrapolados e espacializados para outras regiões via modelos empíricos e físicos (baseados em processos), embora estes não substituam medidas feitas em campo (Lal, 1990).

Os modelos nos ajudam a entender as relações de causa e efeito, envolvendo agentes e fatores que estão relacionados aos processos de erosão dos solos. São também usados para identificar lacunas do conhecimento que devem ser supridas através de pesquisas. Segundo Foster (1988) citado por Chaves (1995), os objetivos da modelagem da erosão do solo tem sido a identificação e posterior representação de sub-processos importantes, e a desconsideração ou agregação daqueles menos importantes, que pouco influenciam os resultados, sendo esta separação definida muitas vezes em função do tipo de aplicação do modelo.

A construção dos primeiros modelos, de caráter empírico, foi iniciada na década de 30. Duas décadas mais tarde surgia o modelo atualmente mais difundido e de aplicação universal, denominado Equação Universal de Perda de Solo - EUPS (USLE - Universal Soil Loss Equation) (Wishmeier e Smith, 1978) .

Posteriormente, segundo Chaves (1995), na tentativa de aperfeiçoar ou adaptar a estrutura da USLE para outras finalidades, surgiram modificações em alguns dos seus fatores que resultaram em outros modelos, todos de concepção ainda empírica, mantendo, entretanto, uma estrutura semelhante à EUPS.

Dentre esses modelos, Chaves (1995) cita a MUSLE (Modified Universal Soil Loss Equation) (Lombardi Neto, s.d. e Williams, 1975) desenvolvido para predição do aporte de sedimentos em bacias hidrográficas, o modelo ONSTAD-FOSTER (1975) que separa o termo de erosividade em um fator chuva e outro enxurrada, o modelo EPIC (Williams et alii 1984) que é utilizado para predição da erosão e a relação desta com a perda de produtividade e a RUSLE (Renard et alii, 1991) que corresponde a uma atualização da EUPS, com modificações dos fatores erodibilidade, uso e manejo e topográfico.

Nos últimos 20 anos o avanço da informática possibilitou o desenvolvimento de modelos que segundo Foster e Lane (1987) citados por Chaves (1995), buscam a descrição física do fenômeno da erosão, através de equações e 'modelos baseados em processos,

permitindo obter resultados com mais detalhe e a descrição quantitativa a nível espacial e temporal. "

O modelo CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems) consiste de três componentes principais: hidrologia, erosão/sedimentação e química. O componente de hidrologia calcula o volume de enxurrada e a vazão de pico, infiltração, evapotranspiração e percolação em termos diários para vertentes simples e complexas. O componente de erosão/sedimentação utiliza um modelo semi-empírico de erosão em sulcos e entre-sulcos, derivado da EUPS. No componente de química, se incluem elementos de fertilizantes e pesticidas, proporcionando a estimativa de concentração de poluentes dissolvidos e adsorvidos no sedimento (USDA, 1980) citado por Chaves (1995).

Existem ainda outros modelos que foram desenvolvidos para serem utilizados basicamente em bacias hidrográficas de dimensões as mais variadas.

O modelo ILWIS (Integrated Land and Watershed Management) foi desenvolvido no ITC (Valenzuela, 1988) visando a análise de bacias hidrográficas, integrando dados do meio físico e de ocupação antrópica.

O modelo ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation) é aplicado em pequenas bacias de drenagem e pode ser utilizado com Sistemas de Informação Geográfica. É designado para simular o comportamento de bacias de drenagem que tem a agricultura como principal atividade, durante e imediatamente após o evento de uma chuva. Sua aplicação primordial é no planejamento e avaliação de várias estratégias para controlar a poluição de áreas intensamente cultivadas. Uma bacia de drenagem para ser modelada é subdividida em várias células de tamanho regular e para cada célula são obtidos os valores de variáveis referentes ao relevo, precipitação, solo e cobertura do solo (Loo et alii, 1989).

Também concebido para bacias hidrográficas, entretanto de dimensões superiores àquelas consideradas para o modelo ANSWERS, o modelo AGNPS (Nonpoint Source Pollution Model for Evaluating Agricultural Watersheds - Young et alii, 1989) é de uso computacional para analisar fontes de poluição não-pontual e priorizar potenciais problemas de qualidade de água em áreas rurais simulando runoff, transporte de nutrientes e sedimentos. O modelo usa sistema de células para representar informações espaciais, pode ser utilizado em PC's e é aplicado em áreas com dimensões de até 20.000 ha.

O modelo WEPP (Water Erosion Prediction Project - Lane e Nearing, 1994) recentemente desenvolvido nos Estados Unidos, representa a última geração de modelos baseados em processos e visa substituir a EUPS, fornecendo melhores resultados relativos a predição de erosão. É baseado em processos e computacionalmente intensivo. Possibilita a avaliação dos processos hidrológicos de precipitação, infiltração e escoamento superficial

e os processos erosivos de destacamento, transporte e deposição a nível espacial e temporal. É dividido em seis componentes: I - gerador de clima; II - hidrologia; III - crescimento de plantas; IV - solos; V - erosão/deposição; e VI - irrigação (opcional). O modelo possibilita a avaliação do impacto dos locais-fonte de sedimento como dos locais onde há o aporte de material, podendo ser aplicado em vertentes e em bacias de drenagem.

A exemplo do que ocorreu com Pinto (1991), neste trabalho foi adotado o modelo EUPS, apesar de suas limitações em termos de simplificação, mas porque abrange parâmetros utilizados em alguns dos modelos baseados em processos citados anteriormente, podendo então ser considerado como uma variação dos mesmos.

Além disso e ainda conforme Pinto (1991), objetivou-se no trabalho a avaliação meramente relativa às estimativas de perdas de solo por erosão, haja vista que pretendia-se proceder a comparação em termos de análise espacial dos processos erosivos com método estatístico multivariado.

Chaves (1995) salienta que apesar dos modelos físicos apresentarem grande potencial de predição e aplicação, problemas precisam ser resolvidos para que os mesmos venham a substituir o uso de modelos empíricos como a EUPS, tais como o volume de recursos e tempo necessários para a obtenção de dados e parâmetros para a aplicação adequada dos mesmos.

Nesse sentido, encontram-se disponíveis resultados de longas pesquisas sobre alguns dos fatores da EUPS para a realidade brasileira, que não foram totalmente explorados, principalmente considerando a avaliação espacial do fenômeno que tomou grande impulso com o avanço dos sistemas de geoprocessamento.

Segundo Renard et alii (1991) citados por Chaves (1995), a filosofia da EUPS era de que cada fator: I - fosse representado por um número apenas; II - pudesse ser calculado de dados meteorológicos, pedológicos e de parcelas de erosão à nível regional e local; e III - fosse livre de qualquer base geográfica, daí sua denominação de universal, desde que levasse em consideração características locais do meio físico.

A equação paramétrica EUPS tem a seguinte formulação:

$$A=RKLSCP$$

onde:

A = perda de solo por unidade de área e de tempo;

R = fator erosividade da chuva - potencial erosivo médio anual das chuvas;

K = fator erodibilidade do solo - perda de solo por unidade do fator erosividade da chuva, para um solo específico, quando mantido permanentemente descoberto e com preparo do solo no sentido da vertente, em uma parcela com 25 m de comprimento e 9% de declividade;

L = fator definido pelo comprimento da vertente - razão entre as perdas de solo de uma área com um comprimento de vertente qualquer e aquela com 25 m de comprimento, para o mesmo tipo de solo e a mesma declividade;

- S** = fator associado ao grau de declive - razão entre as perdas de solo de uma área com uma declividade qualquer e aquela com 9% de declive, para o mesmo tipo de solo e mesmo comprimento de vertente;
- C** = fator que se refere ao uso da terra, à cobertura vegetal e manejo de cultura (englobados no tema uso da terra) - razão entre as perdas de um solo de uma área com cultura e manejo específicos e aquela mantida permanentemente descoberta;
- P** = fator prática de conservação do solo - razão entre as perdas de solo de uma área com práticas conservacionistas (plantio em contorno, plantio em faixas, etc) e aquela mantida permanentemente descoberta e com preparo do solo no sentido da vertente.

Vale destacar que os limites ecológicos da base de dados que deu origem à EUPS são limitados, haja vista que os experimentos iniciais foram circunscritos ao meio-oeste dos Estados Unidos.

Entretanto, considerando que o objetivo da USLE era de coletar dados de campo dos mais variados contextos, os quais afetavam a erosão do solo pela água, para usar técnica estatística de regressão múltipla, dados de outras bases geográficas passaram a ser utilizados, ampliando a aplicação da mesma.

Os fatores que compõem os termos da EUPS serão comentados a seguir:

Fator R (Erosividade da chuva)

O fator R representa um índice numérico que expressa a capacidade da chuva em erodir área com solo desprotegido. Pesquisas realizadas demonstraram que as características das chuvas que exercem maior influência sobre a erosão são sua energia cinética total e sua intensidade máxima em trinta minutos. Assim sendo, o produto dessas características, expresso como EI_{30} , constitui a melhor relação encontrada para medir a erosividade da chuva (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

O cálculo do fator EI_{30} , segundo Wischmeier e Smith (1978), pode ser efetuado utilizando-se a seguinte formulação:

$$EI_{30} = 916 + 331 \log I$$

Conforme salientam Bertoni e Lombardi Neto (1993) e Pinto (1991), para a obtenção do índice de erosão por essa formulação são necessários registros de pluviógrafos, os quais são escassos ou inexistentes, notadamente na região Nordeste, além do que os diagramas fornecidos pelos mesmos para energia cinética são de trabalhosa análise.

Para possibilitar a obtenção do índice de erosão em áreas desprovidas dos recursos necessários, trabalhos foram desenvolvidos no sentido de correlacionar esse índice com fatores climáticos de fácil medida e de ampla disponibilidade.

Nesse sentido, Lombardi Neto e Moldenhauer (1980), com base em coeficiente proposto por Fournier (1960), utilizaram dados de precipitação da Campinas (SP) e

obtiveram alto coeficiente de correlação para a regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente chuva, chegando à seguinte relação;

$$EI = 67,355 (r^2/P)^{0,85}$$

onde:

EI= média mensal do índice de erosão;MJ,mm/ha.L

r = precipitação média mensal (em mm); '

P = precipitação média anual (em mm).

Estudos realizados desenvolvidos na região Nordeste sob os auspícios da SUDENE, com apoio de missão francesa da ORSTOM, procuraram determinar uma equação que tentasse correlacionar os fatores R anuais de Wischmeier a um fator mais facilmente disponível, o qual parece ser a pluviometria total anual, visto que os dados de vários anos de grande número de pluviógrafos existentes estão incompletos, não permitindo o cálculo do fator R de Wischmeier (Leprun, 1981).

Dessa forma foram estudados postos pluviométricos de zonas climáticas da região, segundo o método de regressão múltipla, chegando-se a conclusão de que o fator R de Wischmeier é uma função da pluviometria. Foram, então, obtidas as seguintes relações (Leprun, 1981) :

Zona do sertão

forma exponencial - $R = 106,76 e^{0,002P}$

forma de potência - $R = 0,13 P^{1,24}$

Zona do litoral cearense e transição à zona amazônica

$R = 0,05 P^{1,29}$

Zona do Agreste e Mata Interior

$R = 0,02 P^{1,25}$

As equações obtidas tem suas bases que decrescem ao mesmo tempo que os expoentes crescem na ordem que resulta na sequência crescente de erosividade das chuvas em função de um mesmo valor de pluviosidade, da seguinte forma:

Sertão > Litoral cearense e transição à Amazônia > Mata costeira > Agreste > Brejo (mata interior)

Com base nessa informação e em mapa existente da pluviometria do Nordeste, elaborou-se mapa de erosividade das chuvas, no qual seis regiões foram assim delimitadas:

$R < 230$ Sertão mais seco

$230 < R < 340$ Sertão seco

$340 < R < 500$ Sertão úmido, Agreste e Brejo

$500 < R < 730$ Agreste úmido, Zona pré-amazônica e Mata interior

$730 < R < 1.000$ Mata do litoral úmida

$R > 1.000$ Mata do litoral muito úmida

Especificamente com relação ao Estado da Paraíba, Chaves e Diniz (1981) estudaram 10 postos meteorológicos e utilizando o índice EI30, definiram três grupos destes, os quais correspondem aos tipos climáticos da classificação de

Koppen:

As' - Quente e úmido com chuvas de outono-inverno, com altas precipitações e baixa erosividade;

Bsh - Semi-árido quente, com baixas precipitações e baixa erosividade;

Aw' - Quente e úmido com chuvas de verão-outono, com altos valores de precipitação e erosividade.

Fator K (Erodibilidade do solo)

Erodibilidade do solo é a propriedade que exprime a suscetibilidade do solo à erosão. constitui-se em característica inerente do solo e por conseguinte está associada a propriedades do solo que, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1993): a) afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água; b) resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

O valor quantitativo do fator erodibilidade foi concebido experimentalmente em parcelas de dimensões e declives uniformes, sendo expresso como a perda de solo por unidade de erosividade.

O método direto de obtenção da erodibilidade pode ser efetuado com chuvas naturais ou simuladas, das quais as primeiras fornecem resultados mais precisos, embora demandem muito tempo.

Leprun (1981) cita que em solos testados no Estado da Paraíba com. o método do simulador de chuva e o terreno submetido apenas ao efeito de uma enxada e de um ancinho (tratamento insuficiente que subestima - a erodibilidade), obteve-se os seguintes resultados:

Podzólico Vermelho-Amarelo - 0,018

Terra Roxa Estruturada - 0,37

Vertissolo - 0,03

Ainda com relação aos solos do Estado da Paraíba, Silva et alii(1986) obtiveram valores de erodibilidade de solos Podzólicos Vermelho-Amarelos eutróficos, Litólicos e Bruno não-cálcico Vértico do semi-árido com chuva simulada e método nomográfico. Encontraram valores de K determinados pelo nomograma para os solos Litólicos e Bruno Não cálcico superiores aos obtidos com chuva simulada, e quanto aos solos Podzólicos os valores obtidos pelo método nomográfico foram ligeiramente superiores aos obtidos pelo método direto. Os autores concluíram que o método nomográfico é ineficiente para a determinação do fator K dos solos Litólicos e Bruno não-cálcico Vértico, em virtude da existência de pavimento desértico.

Távora et alii (1985) avaliaram o fator K de um solo de Areia Quartzosa distrófica e um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico da região de Ibiapaba no Ceará, através do método direto de chuva simulada. Concluíram que a Areia Quartzosa apresenta erodibilidade considerada como baixa e o Latossolo moderada. Os autores ao examinarem a escassa literatura disponível, observaram que o valor de K da Areia Quartzosa difere totalmente dos dados confrontados, enquanto o Latossolo apresentou maior confiabilidade. Os autores conseguiram ainda avaliar que as diferenças entre as propriedades dos solos que influenciaram as taxas de infiltração de água, determinaram as diferenças de erodibilidade de ambos.

A obtenção do fator K pode ser também efetuada através de métodos indiretos com base nas propriedades físicas e químicas dos solos. Nesse sentido, foi Middleton (1930) citado por Bertoni e Lombardi Neto (1993), um dos precursores no uso de um índice baseado nessas propriedades, através das relações de dispersão, colóide/umidade equivalente e de erosão.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1993) o advento da equação universal de perdas de solo intensificou estudos do fator erodibilidade do solo com auxílio de simuladores de chuva, Wischmeier e Mannering (1969) obtiveram boa correlação entre o fator erodibilidade e vinte e quatro variáveis independentes correspondendo a parâmetros do solo, com algumas modificações, Lombardi Neto e Bertoni (1975) usaram o método de Middleton (1930) para estudar dois grupos de solos com horizonte B textural e B latossólico, no Estado de São Paulo, chegando à conclusão de que os solos podzolizados são mais susceptíveis à erosão.

Dentre os métodos indiretos, o mais difundido é o nomograma de Wischmeier et alii (1971) que requer, em primeira aproximação, dados de porcentagem de silte + areia muito fina, porcentagem de areia (0,10-2,0 mm) e porcentagem de matéria orgânica; e em segunda aproximação considera a estrutura do solo e sua permeabilidade.

A utilização do nomograma de Wischmeier et alii (1971) em solos tropicais é vista com reservas, visto que, como o método foi concebido para ser utilizado em solos dos Estados Unidos, geralmente superestima os valores de K para solos tropicais (Freire et alii, 1992; Leprun, 1981; Denardin e Wunshe, 1981; Freire e Pessotti, 1978; Denardin, 1990; Chaves, 1995).

Entretanto, alguns trabalhos foram desenvolvidos com esse método, entre eles no caso específico do Estado da Paraíba (Silva et alii, 1981), setenta e quatro solos foram experimentados e cinco classes de valores de K estabelecidos, conforme Silva et alii (1981) (Quadro 1).

QUADRO 1
 VALORES DO FATOR ERODIBILIDADE DO HORIZONTE
 SUPERFICIAL DE DIFERENTES SOLOS DO ESTADO DA PABAÍBA

SOLO	LOCALIZAÇÃO	ERODIBILIDADE	CLASSE
LVA	Areia	0,03	A
LVA	Mamanguape	0,04	A
LV	Araruna	0,09	B
LVE	Itaporanga	0,10	B
LVE	Itaporanga	0,14	C
PVA	B. de Sta. Rosa	0,02	A
PVA	Serra da Raiz	0,03	A
PVA	Mamanguape	0,04	A
PVA	Mamanguape	0,04	A
PVA	Santa Rita	0,04	A
PVA	Pedras de Fogo	0,06	B
PVA	Umbuzeiro	0,06	B
PVA	Mamanguape	0,06	B
PVA	Sapé	0,07	B
PVA	Souza	0,07	B
PVA	Patos	0,07	B
PVA	Pedras de Fogo	0,08	B
PVA	Cacimba de Dentro	0,08	B
PVA	Dona Inês	0,10	B
PVA	Bananeiras	0,11	C
PVA	Bonsucesso	0,11	C
PVA	Patos	0,11	C
PVA	Tacima	0,12	C
PVA	Uiraúna	0,13	C
PVA	Brejo dos Santos	0,13	C
PVA	Boqueirão	0,13	C
PVA	Água Branca	0,14	C
PVA	Catolé do Rocha	0,15	C
PVA	Jurú	0,15	C
PVA	Antenor Navarro	0,16	C
PVA	Catolé do Rocha	0,18	C
TER	Itaporanga	0,11	C
TER	Alagoa Grande	0,12	C
TER	Bananeiras	0,14	C
NC	Marizópolis	0,14	C
NC	São Bento	0,16	C
NC	Catolé do Rocha	0,22	D
NC Vértico	Belém do B. do Cruz	0,23	D
NC Vértico	São José de Piranhas	0,24	D
NC Vértico	B. de Sta. Rosa	0,24	D
NC Vértico	Galante	0,28	D
NC Vértico	Jardim Piranhas	0,28	D
NC Vértico	Juazeirinho	0,28	D
NC Vértico	Sumé	0,30	D
NC Vértico	Catolé do Rocha	0,31	E
NC Vértico	Sapé	0,33	E
NC Vértico	B. de Sta. Rosa	0,34	E
NC	Catolé do Rocha	0,35	E
NC Vértico	Montadas	0,36	E
OS	Caiçara	0,17	C
OS	BR-104	0,20	C
PS	Arara	0,22	D
OS	Araçagi	0,22	D
CEL	Teixeira	0,06	B
CEL	Tavares	0,11	C
Vertisol	Umbuzeiro	0,17	C
Vertisol	BR-104	0,17	C
Vertisol	São Domingos	0,24	D
Vertisol	Queimadas	0,26	D

SS	Logradouro	0,40	E
Litólico	Pilões	0,10	B
Litólico	Santana dos Garrotes	0,18	C
Litólico	Galante	0,18	C
Litólico	Pocinhos	0,18	C
Litólico	Salgadinho	0,19	C
Litólico	Brejo do Cruz	0,20	C
Litólico	B. de Sta. Rosa	0,20	C
Litólico	Catolé do Rocha	0,25	D
Regosol	Puxinanã	0,03	A
Regosol	B. de Sta. Rosa	0,03	A
Regosol	Livramento	0,10	B
Regosol	Solânea	0,11	B
Regosol	Teixeira	0,13	B
LVA	Areia	0,03	A
LVA	Mamanguape	0,04	A
LV	Araruna	0,09	B
LVE	Itaporanga	0,10	B
LVE	Itaporanga	0,14	C
PVA	B. de Sta. Rosa	0,02	A
PVA	Serra da Raiz	0,03	A
PVA	Mamanguape	0,04	A
PVA	Mamanguape	0,04	A
PVA	Santa Rita	0,04	A
PVA	Pedras de Fogo	0,06	B
PVA	Umbuzeiro	0,06	B
PVA	Mamanguape	0,06	B
PVA	Sapé	0,07	B
PVA	Souza	0,07	B
PVA	Patos	0,07	B
PVA	Pedras de Fogo	0,08	B
PVA	Cacimba de Dentro	0,08	B

OBS: Modificado de Silva et alii (1981).

Leprun (1981) chama a atenção para o valor da erodibilidade obtida por Silva et alii (1981) em algumas unidades de solos, nas quais diferem significativamente dos valores obtidos por meio do método de chuva simulada:

Podzólico Vermelho-Amarelo - Patos
 Nomograma - 0,14
 Chuva simulada - 0,018

Terra Roxa Estruturada - Alagoa Grande
 Nomograma - 0,15
 Chuva simulada - 0,37

Vertissolo - Queimadas
 Nomograma - 0,31
 Chuva simulada - 0,03

Buscando obter parâmetros de fácil mensuração em solos tropicais e que apresentem boa correlação com o fator erodibilidade, estudos recentes tem sido desenvolvidos por Lima (1987), Denardin (1990), Cavalieri (1994) e Chaves (1995) . Estes estudos tem fornecido contribuições para avaliação indireta da erodibilidade, a partir de

trabalhos desenvolvidos por Lombardi Neto e Bertoni (1975), Freire e Pessotti(1976), Henklain e Freire (1983) e Angulo et alii (1984) .

Lima (1987), estudando a dispersão do solo em água em dois latossolos na região de Lavras (MG), propôs, baseado em Lombardi Neto e Bertoni (1975), nova relação de erosão para avaliação indireta da erodibilidade, conforme exposta em seguida:

$$\frac{(\% \text{ silte} + \text{argila dispersos em água}) / (\% \text{ silte} + \text{argila totais})}{(\% \text{ argila total}) / (\% \text{ umidade equivalente})}$$

Denardin (1990) estudando 31 solos brasileiros que dispunham de valores de erodibilidade obtidos por métodos diretos (chuva natural e chuva artificial), entre os quais solos do Estado da Paraíba, e 46 solos dos Estados Unidos, a partir de informações da literatura, avaliou os resultados em relação aos modelos propostos por Wischmeier et alii (1971), Roth et alii (1974) e Wischmeier et alii (1971) modificado por Romkens et alii (1977).

O autor conclui que os modelos avaliados não apresentaram consistência para os solos do Brasil, obtendo para os mesmos, através de regressão linear múltipla, a equação abaixo, que apresenta coeficiente de determinação de 0,9005 e erro padrão de estimativa de 0,007 t.ha.h./ha.MJ,mm:

$$K = 0,00608397(\mathbf{P27})+0,00834286(\mathbf{P39})-0,00116162(\mathbf{P52})- 0,00037756(\mathbf{P19})$$

onde:

K é o valor a ser estimado para o fator erodibilidade do solo, expresso em t,ha,h./ha.MJ,mm;

P27 é a permeabilidade do perfil do solo, codificada conforme Wischmeier et alii (1971);

P39 é o teor de matéria orgânica (teor de carbono orgânico total multiplicado por 1,72), expresso em porcentagem;

P52 é o teor de óxido de alumínio extraível por ataque sulfúrico, expresso em porcentagem;

P19 é o teor de partículas com diâmetro entre 2,0 e 0,5 mm, expresso em porcentagem.

Denardin (1990) utilizando o conjunto de solos do Brasil e dos EUA, obteve a equação abaixo, através da análise de regressão linear múltipla, que apresentou coeficiente de determinação de 0,9767 e erro-padrão de estimativa de 0,006 t,ha,h./ha.Mj,mm:

$$K = 0,00000748(\mathbf{X25})+ 0,00448059(\mathbf{X29})-0,06311750(\mathbf{X27})+ 0,01039567(\mathbf{X32})$$

onde:

K é o valor a ser estimado para o fator erodibilidade do solo, expresso em t,ha,h./ha.MJ,mm;

X25 é a variável "M" , produto das porcentagens de silte (0,05 - 0,002 mm) mais areia muito fina (0,1 - 0,005 mm) e a soma de porcentagem de areia > 0,1mm e as porcentagens de silte mais areia muito fina;

X29 é a permeabilidade do perfil do solo, codificada conforme Wischmeier et alii(1971) ;

X27 é o diâmetro médio ponderado das partículas menores do que 2 mm, expresso em mm;
X32 é a relação entre o teor de matéria orgânica e o teor de areia de 2,0 a 0,1 mm, em porcentagem;

Em suas conclusões, Denardin (1990) salienta que o modelo matemático estimativo do fator erodibilidade, ajustado com dados exclusivos dos solos do Brasil tem sua aplicabilidade limitada a solos que apresentem as variáveis independentes com grandezas compreendidas dentro da amplitude dos valores considerados no estudo.

No caso do modelo matemático estimativo do fator erodibilidade, ajustado para o conjunto de solos do Brasil e dos EUA, Denardin (1990) comenta que tem sua aplicabilidade para prever a erodibilidade de solos de ampla variabilidade de características físicas e químicas.

Cavaliere (1994) estimou a erodibilidade de 21 unidades de solo identificadas nos levantamentos pedológicos semidetalhados do Estado de São Paulo, através de: (a) modelos propostos por Denardin (1990), ajustados para os solos do Brasil e ajustados para o conjunto de solos do Brasil e EUA; (b) relação de erosão proposta por Lombardi Neto e Bertoni (1975); (c) relação de erosão proposta por Lombardi Neto e Bertoni (1975) modificada por Lima (1987); (d) modelo proposto por Wishmeier et alii (1971); (e) modelo proposto por Wishmeier et alii (1971) modificado por Lima et alii (1990); (f) modelo proposto ajustado para solos da região centro-sul do Brasil que possuem a erodibilidade determinada por métodos diretos.

Cavaliere (1994) a partir do uso de regressão linear múltipla, que apresentou coeficiente de determinação de 0,85, propôs modelo o modelo abaixo:

$$K = 0,004029 + 0,002828(P38) + 0,000296(P7) + 0,002336(P57) + 0,000430(P11)$$

onde:

K é o valor a ser estimado para o fator erodibilidade do solo, expresso em t.ha.h./ha.MJ.mm;

P38 é a saturação de cátions dispersantes, expressa em porcentagem;

P7 é o teor de areia grossa (partículas de diâmetro entre 1,0 e 0,5 mm), expresso em porcentagem;

P57 é o kf, relação molecular entre óxido de alumínio e óxido de ferro;

P11 é a variável "novo silte" (partículas de diâmetro entre 1,0 e 0,002 mm), expressa em porcentagem.

Cavaliere (1994) salienta que a adoção de qualquer um dos modelos para a obtenção da erodibilidade do solo carece de maiores estudos.

Buscando minimizar o problema da regionalização na estimativa indireta do fator erodibilidade, Chaves (1995) a partir dos dados compilados por Denardin (1990) obteve relação distinta usando apenas 19 solos relativos à região Nordeste. Utilizando apenas variáveis contínuas obteve, através de análise de regressão stepwise múltipla, a seguinte

relação para classes de solos do Vale do Rio São Francisco, que apresentou coeficiente de determinação de 0,92:

$$K=2,47 \times 10^{-3}(\text{SIL})^{-5},23 \times 10^{-3}(\text{OAL})^{+8},89 \times 10^{-3}(\text{CO})^{+2},15 \times 10^{-2}(\text{OFE})^{+1},42 \times 10^{-4}(\text{OSI}+\text{OSI}2)^{-1},89 \times 10^{-2}[\text{OSI}/(\text{OFE}+\text{OAL})]^2,$$

onde:

SIL = teor de silte do solo;

CO = teor de carbono orgânico;

OFE = teor de óxido de ferro extraído por ácido sulfúrico;

OSI = teor de óxido de silício extraído por ácido sulfúrico (todos dados em porcentagem).

O autor admite que a equação obtida apresenta bom potencial para a estimativa de K para as condições brasileiras, considerando o fato da regionalização dos dados. A vantagem da estimativa, ainda segundo Chaves (1995) reside na possibilidade de se obter valores de K indiretamente a partir de levantamentos de solo, devendo-se evitar extrapolações.

Fator LS (topográfico)

O fator topográfico, que também compreende a USLE, é constituído pela extensão (Length - L) e declividade (Slope - S) das vertentes e representa a influência da topografia no poder erosivo do escoamento superficial, representado principalmente pela sua velocidade e seu volume (Wischmeier e Smith, 1978).

Nesse sentido, ambos os termos do fator topográfico exercem isoladamente significativa importância no fenômeno erosivo, uma vez que à medida que aumentam o grau do declive e o comprimento de rampa, o volume e a velocidade vão aumentando progressivamente (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

Embora possam ser avaliados separadamente, como comprimento da vertente e declividade, para aplicação prática da equação são considerados em conjunto, representando a relação de perdas por unidade de área em relação a perdas de uma parcela de 25m de comprimento com 9% de declive (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

A avaliação conjunta do L e do S é feita considerando as vertentes como uniformes, não levando em consideração se são côncavas, convexas ou complexas, isto porque o efeito dessas características nas perdas por erosão não está bem avaliado. Entretanto, alguns dados indicam que ao considerar o gradiente médio da vertente subestima-se as perdas de vertentes convexas e superestima-se de vertentes côncavas (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

Wischmeier e Smith (1978) propõem para obtenção do fator LS em vertentes uniformes, o uso de tabela e gráfico que foram derivados da equação obtida a partir de dados experimentais, em que L varia de 9 a 19 metros e S de 3 a 18%:

$$LS = \lambda/72,6)^m (65,41 \text{ sen}^2 \theta + 4,56 \text{ sen} \theta + 0,065)$$

onde:

λ = comprimento da vertente;

θ = ângulo de declive;

$m = 0,5$ se a declividade é de 5% ou mais, $0,4$ se a declividade é de 3,5 a 4,5%, $0,3$ se a declividade é de 1 a 3%, e $0,2$ em vertente de menos de 1% de declividade.

Para Wischmeier e Smith (1978) essa formulação também pode ser aplicada a vertentes irregulares, desde que as mesmas sejam divididas em um número pequeno de segmentos de igual comprimento, de tal maneira que cada segmento possa ser considerado uniforme para fins práticos.

Uma outra formulação, desenvolvida para combinações definidas de comprimento de rampa e grau do declive, para vertentes uniformes e para ser utilizada com unidades do sistema métrico internacional, foi desenvolvida por Foster et alii (1981) :

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{100} (1,36 + 0,975 S + 0,1385 S^2)$$

onde:

L = comprimento de rampa em metros;

S = grau do declive em porcentagem.

Formulação do fator LS foi desenvolvida também no Brasil por Bertoni e Lombardi Neto (1993), com base em equações obtidas por Bertoni (1959) a partir de determinações de perdas de solo por erosão em solos do Estado de São Paulo, quais sejam:

$$T = 0,145 \times D^{1,18}$$

onde:

T = perdas de solo;

D = declividade.

$$T = 0,166 \times C^{1,63}$$

onde:

T = perdas de solo;

C = comprimento de rampa.

As duas relações conjugadas podem ser expressas através de uma única expressão:

$$T = 0,018 D^{1,18} C^{1,63}$$

Com base nessa formulação, o fator LS pode ser obtido para as condições-padrão e considerando qualquer valor de declividade e comprimento de rampa, através da seguinte equação:

$$LS = 0,00984 C^{0,63} D^{1,18}$$

onde:

LS = fator topográfico;

C = comprimento de rampa;

D = declividade.

Os dados que compõem o fator topográfico são, em geral, obtidos a partir de cartas topográficas em escala média e grande. Nesse sentido busca-se o nível de informação necessário para detectar o comportamento das vertentes, através de um espaçamento entre as curvas de nível que torne isso possível, haja vista o detalhamento que se deseja para o trabalho.

O procedimento de trabalho adotado pode ser manual ou automático, de pendendo do controle que se deseja dos resultados, do tempo necessário para a realização do mesmo, bem como das dimensões da área em que será feito o trabalho.

Pinto (1983) utilizou cartas topográficas na escala 1:50.000, para obter os valores de declividade e extensão de vertentes. O autor utilizou quadrículas amostrais de 2cm x 2cm e estimou a declividade como valores médios ponderados para cada quadrícula.

Em trabalho envolvendo bacia de grande porte (Peixe-Paranapanema, cerca de 52.000 km²), IPT(1986) obteve as medidas de declividade e comprimento de vertentes através de cartas topográficas 1:50.000, utilizando grade de pontos sistemáticos com base na rede de quadrículas UTM. Os parâmetros L e S foram obtidos para definição do fator topográfico, conforme formulação de Bertoni e Lombardi

Neto (1993) .

Donzeli et alii (1992) em trabalho desenvolvido em bacia hidrográfica no município de Pirassununga (SP), obtiveram os dados de declividade e comprimento de vertente em cartas topográficas na escala 1:20.000. A informação da declividade foi obtida de forma automática no ambiente SGI - INPE e também manualmente, definindo-se classes. No que se refere aos valores de extensão de vertentes foram obtidos sobre as cartas topográficas, com apoio de grade de pontos sistemática, e em seguida foram inseridos no SGI, gerando-se mapa de comprimentos de rampa. Os valores do fator topográfico foram gerados com base na formulação de Bertoni e Lombardi Neto (1993).

Valério Filho (1994) em estudo realizado na bacia hidrográfica do Ribeirão Bonito, na área de influência do Reservatório de Barra Bonita (SP), obteve a informação de extensão de vertente em cartas topográficas na escala 1:50.000 e a declividade através dos recursos disponíveis no SGI. O fator topográfico foi gerado associando-se as medidas de declividade e extensão de vertente também segundo a formulação de Bertoni e Lombardi Neto (1993).

Rocha et alii (1995) obtiveram para a microbacia do ribeirão Cachoeirinha, município de Iracemópolis (SP) os valores de extensão de vertente e declividade utilizando ambiente SIG. De mapa da microbacia na escala 1:10.000 foram obtidas apenas as curvas de nível através de processo de escanerização e posterior vetorização semi-automática. Plano de informação no formato vetorial foi inserido em ambiente IDRISI, no qual foi gerado modelo digital de elevação e em seguida mapa de declividade. O mapa de extensão de vertente foi gerado através de combinações lógicas, aritméticas e de superposição de temas, considerando os mapas de aspecto do terreno, modelo digital de elevação e mapa de declividade.

Fator C (Uso-manejo do solo)

De forma diferente dos fatores erodibilidade, erosividade e topográfico, analisados anteriormente, os fatores uso e manejo do solo (C), e práticas conservacionistas (P), são diretamente relacionados com as atividades exercidas pelo homem, e portanto, dependentes de sua intervenção. Conforme comenta Pinto (1991), ambos os fatores incluem o tema uso da terra no modelo EUPS.

O uso da terra e cobertura vegetal são parâmetros de significativa importância nos estudos de erosão, uma vez que são dentre os fatores envolvidos, os de maior variabilidade temporal e, portanto, de maior complexidade de avaliação. Constituem fatores relacionados à proteção direta do solo contra o impacto das gotas de chuva, assim como de impedimento à ação erosiva das águas de escoamento superficial.

São diversas as contribuições que enfatizam a contribuição da cobertura do solo na atenuação dos efeitos erosivos, e a sua influência diferenciada, considerando as diferentes formas de proteção do solo exercidas pelas formações vegetais naturais e pelas culturas.

No que diz respeito especificamente à vegetação, autores como Keech (1968) e Butzer (1974) comentam sobre a sua influência na atenuação dos processos erosivos.

No modelo EUPS, o fator uso e manejo (C) é o que inclui a influência tanto da cobertura vegetal como das culturas agrícolas e seu manejo. Nesse sentido Resende e Almeida (1985) consideram-no o de maior complexidade da EUPS notadamente no que diz respeito ao uso agrícola da terra, uma vez que é o mais susceptível de alterações pelo agricultor.

Esta complexidade é avaliada por Bertoni e Lombardi Neto (1993), que esclarecem ser esse fator dependente das combinações de sequência de culturas, práticas de manejo, como também do estágio de crescimento e desenvolvimento da cultura durante o período das chuvas. Portanto os efeitos das variáveis uso e manejo não podem ser avaliados independentemente, uma vez que existem interações entre elas.

Embora não sejam computados diretamente, os citados fatores são considerados como sub-fatores de C (Wischmeier e Smith, 1978). Nesse sentido, os procedimentos de estimação do fator C levam em consideração estágios diferentes da cultura, desde o preparo do solo, crescimento da cultura, maturação, colheita e ocorrência de resíduos sobre o solo. Para todas as situações é considerada a porcentagem de distribuição do índice de erosão (EI) anual (Wischmeier e Smith, 1978; Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

Pesquisas desenvolvidas na região Nordeste para determinação do fator C, são ainda pouco numerosas, e forneceram os seguintes valores (Leprun e Silva, 1994) :

- Algodão herbáceo = 0,25 a 0,66;
- Mandioca = 0,18;
- Milho = 0,05;
- Mucuna = 0, 05;
- Cana-de-açúcar = 0,11 no plantio e 0,004 depois;
- Capim colônião, pangola e capim Bufel = 0,01;
- Capoeira = 0,2 a 0,02, dependendo do estado de desenvolvimento;
- Vegetação natural (caatinga) = 0,007 a 0,001.

Pinto (1991) em trabalho desenvolvido na região de Casa Branca (SP) e com base em dados extraídos de Bertoni (1972) e Bertoni e Lombardi Neto (1985), frutos de pesquisas na região sudeste do Brasil, adotou os seguintes valores para o fator C:

- Culturas temporárias - 0,21
- Pasto - 0,01
- Citrus - 0,02
- Reflorestamento - 0,0001
- Cerrado - 0,0007
- Vegetação de várzea - 0,00
- Mata - 0,00004

Para efeito de comparação, Leprun (1981) apresenta dados do fator C referentes ao Nordeste do Brasil, Sul do Brasil e África:

TABELA 6
 VALORES COMPARATIVOS DO FATOR C DA USLE

	NE DO BRASIL	Sul do Brasil	África
Milho	0,2 - 0,3	0,02 - 0,3	0,4 - 0,9
Mandioca	0,2	-	0,2 - 0,8
Algodão	0,1 - 0,2	0,7	0,6 - 0,9
Soja	0,1	0,2	-
Solo descoberto	1	1	1

Fonte: Leprun, 1981.

Os dados mostram a maior eficiência da cobertura do solo no Nordeste, que segundo Leprun (1981), pode estar relacionada a uma menor agressividade climática.

Os dados referentes ao Nordeste também evidenciam que a vegetação natural de caatinga exerce significativa proteção ao solo, não apresentando maiores problemas de conservação, a despeito do que pode-se imaginar acerca da eficiência da caatinga na proteção ao solo. A esse respeito Reis (1994) comenta que a cobertura vegetal constitui-se

um dos mais importantes fatores de controle da erosão no espaço semi-árido, mesmo sendo decídua exerce sua proteção sobre o solo. Desse fato conclui-se que uma das causas da erosão nessa área é a devastação desenfreada da vegetação.

Em trabalhos realizados no Estado de São Paulo, Pinto (1991), conforme mencionado anteriormente, e Valério Filho (1994), utilizaram dados do fator C extraídos dos resultados publicados por Bertoni et alii (1972) e Bertoni e Lombardi Neto (1985). As classes temáticas, tanto no que se refere à cobertura vegetal natural quanto de diferentes tipos de uso agrícola das terras, foram obtidas de produtos de sensoriamento remoto aéreo e orbital.

Fator P (Práticas conservacionistas)

Conforme comentado anteriormente, as práticas de manejo conservacionista do solo, também consideradas como um dos fatores do modelo EUPS, estão relacionadas com as atividades desenvolvidas pelo homem. Nesse caso, constitui ação interventora, diante da própria constatação do fato de que há necessidade de serem tomadas medidas para atenuar o efeito destrutivo dos processos erosivos (Wischmeier e Smith, 1978).

Existem diversos tipos de práticas conservacionistas, entre as quais as mais comuns para as culturas anuais são plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, terraceamento e alternância de capinas, cujos valores de P considerados de forma genérica encontram-se na tabela 2 (Bertoni e Lombardi Neto, 1993). A tabela mostra a quantificação efetuada em pesquisas desenvolvidas no Instituto Agrônomo de Campinas (Bertoni et alii, 1972) para perdas de terra e água sob diferentes práticas conservacionistas. Os valores obtidos são médios para os solos arenosos e argilosos e declives variando de 6,3% a 10,8% e precipitação de 1.300 mm. Para Wischmeier e Smith (1972), a prática de cultivo em contorno é a mais importante, variando sua eficiência com a declividade (Tabela 7).

TABELA 7
VALORES DE P (USLE) PARA ALGUMAS PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO

PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO	VALOR DE P
Plantio morro abaixo	1,0
Plantio em contorno	0,5
Alternância de capinas + plantio em contorno	0,4
Cordões de vegetação permanente	0,2

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 1993.

TABELA 8
VALORES MÉDIOS DE PERDAS DE TERRA E ÁGUA POR EROSÃO
PARA DIFERENTES TIPOS DE PRÁTICAS DE CONSERVAÇÃO

PRÁTICAS	PERDAS DE	
	TERRA t/ha	ÁGUA % da chuva
Morro abaixo	26,1	6,9
Contorno	13,2	4,7
Contorno + alternância	9,8	4,8
Cordões de cana-de-açúcar	2,5	1,8

Fonte: Bertoni et alii, 1972.

TABELA 9
 VARIAÇÃO DOS VALORES DO FATOR P EM RELAÇÃO À DECLIVIDADE

DECLIVIDADE (%)	VALOR P
1 a 2	0,60
3 a 5	0,50
6 a 8	0,50
9 a 12	0,60
13 a 16	0,70
17 a 20	0,80
21 a 25	0,90

Fonte: Wischmeier e Smith, 1978.

Para o Nordeste brasileiro as determinações do fator P são pouco numerosas, a exemplo do que ocorre com o fator C. Leprun e Silva (1994) citam dados comprovados através de pesquisas em diferentes instituições nos Estados da região Nordeste:

Rotação trienal milho-algodão-mucuna = 0,42

Capinas alternadas = 0,29

Plantio em contorno = 0,1 a 0,29 dependendo das plantas cultivadas

Camalhão e plantio em contorno = 0,002

Faixas de vegetação permanentes = 0,15 a 0,26

Consórcio algodão herbáceo+milho+feijão em contorno = 0,75, o mesmo consórcio com faixa de vegetação permanente = 0,48

Milho em contorno com faixa de vegetação permanente = 0,08

Considerando a quantificação de perdas de terra e água sob diferentes condições de tratamento do solo, Leprun e Silva (1994) também apresentam na tabela 10, uma síntese dos dados obtidos especificamente para a zona semi-árida nordestina.

TABELA 10
 TAXAS DE ESCOAMENTO E EROSIÃO NA REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE

ESTAÇÃO	PLUVIOMETRIA	TRATAMENTO	EROSÃO (t/ha)	ESCOAMENT O
		Nu (Wischmeier)	1,35	13,5

Sumé (PB)	540	Capoeira	0,50	5,6
		Caatinga	0,05	2,0
Sobral (CE)	540	Nu (Wischmeier)	21,83	52,1
		Pastagem nativa	0,01	18,2
		Caatinga	0,08	26,1
Patú (RN)	750	Nu (Wischmeier)	21,83	47,3
		Milho-feijão-algodão	6,02	33,6
		Pousio	2,18	18,4
Petrolina (PE)	650	Nu (Wischmeier)	0,23	24,5
		Capim Bufel	0,11	10,3
		Caatinga	0	0
Serra Talhada (PE)	850	Nu (Wischmeier)	2,45	-
		Milho em contorno	1,84	9,1
		Milho-feijão em contorno	4,24	11,03
Pesqueira (PE)	660	Tomate contínua	8,70	6,0
		Tomate + leguminosa	2,53	2,5
		Tomate + capoeira	0,24	0,4
Alagoinha (PB)	900	Nu (Wischmeier)	93,79	26,4
		Milho em contorno	10,89	10,2
		Capim pangola	0,63	2,6

Fonte: Leprun e Silva, 1994.

Para efeito comparativo do fator P obtido na região Nordeste, com o sul do Brasil e os Estados Unidos, a tabela é utilizada (Leprun,1981), denotando o efeito de proteção à erosão em alguns casos específicos de práticas conservacionistas. Entretanto, conforme salienta Leprun (1981), a prática quase exclusiva do preparo do solo morro abaixo no Nordeste aumenta a estimativa do fator P nessa região.

TABELA 11
 VALORES COMPARATIVOS DO FATOR P

PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS	FATOR P DA USLE		
	NE do Brasil	Sul do Brasil	E.U.A.
Plantio morro abaixo	1,0	1,0	1,0
Plantio em contorno	0,3	0,5	0,5
Alternância de capinas	0,3	0,4	0,25

Fonte: Leprun, 1981.

Tem-se verificado a dificuldade em espacializar a informação do fator P para estudos em áreas de dimensões que ultrapassam em muito as de parcelas experimentais, à exemplo do que ocorre em bacias hidrográficas. Isto porque os registros de sensoriamento remoto não possibilitam a correta identificação das práticas conservacionistas em todas as áreas. A tendência tem sido adotar um único valor para toda a área, procurando não minimizar os efeitos das práticas adotadas. Nesse sentido, trabalhos desenvolvidos com a aplicação do modelo EUPs (Pinto, 1991; Valério Filho, 1994) em áreas do Estado de São Paulo, adotaram uniformemente o valor de 0,5 para o fator P, considerando que inseriam-se em um contexto de exploração agrícola de nível tecnificado. Nesse sentido, o valor adotado representaria um mínimo de prática agrícola de conservação.

Um quadro resumido dos fatores da USLE apresentado na tabela 12, relativos ao Nordeste e em comparação com outras regiões do mundo, mostra a situação quanto ao risco erosivo (Leprun, 1981) .

TABELA 12
 VALORES COMPARATIVOS DOS DIFERENTES FATORES DA EROSÃO

	Zona tropical seca (Nordeste)	Zona tropical seca (África)	Zona tropical úmida (Nordeste)	Zona tropical úmida (África)	Planícies dos E.U.A .
R (clima)	90 a 450	100 a 700	400 a 1000	500 a 2000	50 a 650
K (solo)	0,02 a 0,3	0,1 a 0,3	0,01 a 0,2	0,02 a 0,2	0,05 a 0,6
LS (topografia)	0,1 a 8	0,1 a 1	0,1 a 8	0,1 a 2,5	0,1 a 6
C (cobertura vegetal)	1 a 0,001	1 a 0,01	1 a 0,001	1 a 0,001	1 a 0,01
P (práticas conservacionistas)	1 a 0,1	1 a 0,1	1 a 0,1	1 a 0,1	1 a 0,1

FONTE: Leprun, 1981.

Os dados apresentados mostram que , os riscos erosivos no Nordeste apresentam uma situação inteiramente favorável, se comparada com outras regiões. Desses, o fator topográfico e o fator práticas conservacionistas são os mais elevados, devido ao preparo do solo morro abaixo. Esses fatores são os responsáveis pelo aumento dos riscos de erosão (Leprun, 1981) .

Entretanto, afirma Reis (1994), a erosão do solo agrícola é a que apresenta melhores opções de controle, tanto pelo conhecimento de tecnologias e procedimentos conservativos como por ter sua atuação localizada, além do reconhecimento e valorização da sua ocorrência pelo menos por parte dos técnicos. Esse é o tipo de processo erosivo que tem merecido atenção dos técnicos.

Na avaliação quantitativa da erosão do solo, outro aspecto que é considerado, mas não incluso originalmente no modelo EUPS, é a tolerância de perdas de solo. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1993), corresponde às perdas aceitáveis de terra, que permitam ainda que os solos possam suportar elevado nível de produtividade, por longo tempo. A tolerância depende essencialmente das características dos solos, da profundidade e da topografia.

A tolerância constitui-se, dessa forma, em informação de significativa importância, visto que permite ao planejador ou proprietário da terra, saber que tipo de uso pode fazer para que não haja degradação dos solos e estes possam ser explorados com elevados níveis de produtividade. Permite, então, que ocorra o desenvolvimento sustentável da terra.

Valores de tolerância de perdas de solo não são facilmente disponíveis. Para o Estado de São Paulo, pesquisas desenvolvidas no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) determinaram valores de tolerância para alguns solos, conforme mostrado na tabela.

Embora não constituindo fator do modelo EUPS, a tolerância de perdas de solo (T) pode ser obtida a partir desse modelo. Conforme Wischmeier e Smith (1978), pré-

determinando a perda de solo segundo um valor que assume ser a tolerância (T), este pode substituir o termo A (valor de perda) da equação. Considerando que interessa saber o tipo de uso e as práticas conservacionistas que podem praticadas numa determinada área, a equação, então, assume a seguinte forma:

$$CP = T/RKLS$$

Dessa forma, o resultado seria igual ao valor máximo que o produto dos fatores C e P poderia assumir, ou seja, teria que haver uma conjugação de conhecimento acerca do tipo de uso existente e da prática conservacionista a ser adotada, cujo resultado numérico não ultrapassasse o valor encontrado pela equação.

TABELA 13
 VALORES DE TOLERÂNCIA DE PERDAS POR EROÇÃO
 PARA SOLOS DO ESTADO DE SÃO PAULO

SOLOS	TOLERÂNCIA DE PERDAS DE SOLO	
	AMPLITUDES OBSERVADAS (t/ha)	MÉDIA PONDERADA EM RELAÇÃO À PROFUNDIDADE (t/ha)
COM B TEXTURAL		
Podzólico Vermelho-amarelo, orto	5,2 a 7,6	6,6
Podzólico vermelho-amarelo, variação Piracicaba	3,4 a 11,2	7,9
Podzólico vermelho-amarelo, variação Laras	6,9 a 13,4	9,1
Podzólico com cascalho	2,1 a 6,6	5,7
Podzolizado Lins e Marília, variação Lins	3,8 a 5,5	4,5
Podzolizado Lins e Marília, variação Marília	3,0 a 8,0	6,0
Mediterrâneo vermelho-amarelo	9,8 a 12,9	12,1
Terra Roxa estruturada	11,6 a 13,6	13,4
COM B LATOSSÓLICO		
Latossolo Roxo	10,9 a 12,5	12,0
Latossolo vermelho-escuro, orto	11,5 a 13,3	12,3
Latossolo vermelho-escuro, fase arenosa	13,4 a 15,7	15,0
Latossolo vermelho-amarelo, orto	12,5 a 12,8	12,6
Latossolo vermelho-amarelo, fase rasa	4,3 a 12,1	9,8
Latossolo vermelho-amarelo, fase arenosa	13,6 a 15,3	14,2
Latossolo vermelho-amarelo, fase terraço	11,1 a 14,0	12,6
Latossolo vermelho-amarelo, húmico	4,6 a 11,3	9,6
Solos Campos do Jordão	4,6 a 11,3	9,6
SOLOS POUCO DESENVOLVIDOS		
Litossolo	1,9 a 7,3	4,2
Regossolo	9,7 a 16,5	14,0

Fonte: Bertoni e Lombardi Neto, 1993.

Caso haja conhecimento de quais são as práticas conservacionistas adotadas ou a dotar na área sob estudo, o interesse recai em saber que tipo de uso poderá ser feito nessas condições e que permitam perdas toleráveis de terra.

Nesse caso, a equação assume a seguinte forma (Wischmeier e Smith, 1978) :

$$C = T/RKLSP$$

Considerando a não existência de práticas conservacionistas (P = 1, plantio vertente abaixo), é uma forma de maximizar as perdas e valorizar os demais fatores da equação,

inclusive permitindo-se trabalhar com certa margem de segurança com os valores do fator C. Nesse caso, a equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$C = T/RKLS$$

A obtenção de valores apenas de C ou de CP como limites quanto à tolerância de perdas de solo(permissíveis), pode ser manipulada de forma que possam ser confrontados cenários reais com os permissíveis, gerando interessantes resultados quanto ao conflito de uso adequado.

Nessa perspectiva, em trabalho realizado por IPT (1986) na bacia do Peixe-Parapanema (SP), foram confrontados os valores de CP(tolerável) com os de CP(atual) para definir dados de expectativa de erosão laminar.

Pinto (1991) em trabalho desenvolvido na região de Casa Branca (SP), definiu o índice de criticidade de perdas relativas de solo (ICPR) a partir da relação:

$$ICPR = PR/T$$

onde:

PR = perdas relativas por erosão, que corresponde ao resultado obtido com o modelo EUPS;

T = tolerância de perdas de solo.

Ventura et alii (1988), também usando a concepção do modelo USLE, associaram os fatores RKLS com valores de tolerância de perdas de solo (T), utilizando a razão RKLS/T, para obtenção de um índice de erosão. Nessa situação, não levaram em consideração os fatores C e P, diferentemente de como procedeu Pinto (1991).

Donzeli et alii (1992) estudando a microbacia do rio São Joaquim (Pirassununga/SP), obtiveram valores de estimativa de perdas de solo(valores relativos), combinando os fatores C e P da EUPS (CP atual) com o potencial natural de erosão (PNE). Os dados do PNE foram associados a valores de tolerância de perdas de solo (valor T), gerando o parâmetro de CP tolerável ou permissível. De posse dos dados de CP permissível, estes foram combinados com os dados de CP atual para gerar valores de expectativa de erosão e sua distribuição espacial. Esta combinação é feita subtraindo-se o CP tolerável do CP atual. Os valores negativos obtidos indicam ausência de expectativa de erosão e, os positivos, ocorrência, ou seja, o uso das terras não está compatível com as perdas toleráveis do solo.

Valério Filho (1994) em trabalho realizado em pequena bacia hidrográfica localizada na área de influência do Reservatório de Barra Bonita (SP), adotou os mesmos procedimentos utilizados por Donzeli et alii (1992), para duas datas distintas (1972 e 1988). O autor observou que os valores de expectativa de erosão obtidos para o ano de 1988 foram maiores do que para o ano de 1972. Isto se explica pelo fato de que em 1972 a área sob estudo estar ainda coberta com vegetação natural, ao passo que em 1988 havia boa parte dessas áreas que estavam ocupadas com culturas, as quais geram maior expectativa de erosão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO, R.J.; ROLOFF, G. & SOUZA, M.L.P.(1984) Relações entre a erodibilidade e agregação, granulometria e características químicas de solos brasileiros. R, bras. ci. Solo, campinas, 8:133-138.
- BENNET, H.H. (1939) Soil conservation. MacGraw-Hill, New York apud NISHYAMA, L. (1995) Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia (833). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 95 p.
- BERGSMA, E. (1983) Rainfall erosion surveys for conservation planning. ITC Journal, 12) :166-174.
- BERTONI, J & LOMBARDI NETO, F. (1993) conservação do solo. São Paulo, Ícone. 3a. Edição.
- BERTONI, J. (1959) O espaçamento de terraços em culturas anuais, determinação em função das perdas por erosão. Bragantia, campinas, SP, 18:113-140.
- BERTONI, J.; PASTAVA, F.I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI Jr., R. (1972) conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agrônômico, campinas, Instituto Agrônômico, 56 p. (circular no. 20).
- BIGARELA, J.J. & MAZUCHOWSKI, J.Z. (1985) Visão integrada da problemática da erosão. ABGE/ADEA, Maringá, 332 pp apud NISHYAMA, L. (1995) Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia(833). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 95 p.
- BUTZER, K.W. (1974) Accelerated soil erosion: a problem of man land relationships. In: Association of American Geographers. Perspectives on environment. Manners and Mikesel, p. 57-59.
- CAVALIERI, A. (1994) Erodibilidade do solo: avaliação por meio de propriedades físicas e químicas. Dissertação de Mestrado, UNICAMP.
- CHAVES, H. M. L. (1994) Adaptação do modelo WEPP para as condições brasileiras, In: Pereira, V. de P., Ferreira, M. E, e Cruz, M. C. P. da Solos altamente susceptíveis à erosão. Jaboticabal, FCAV - UNESP/SBCS, pp. 213-221.
- CHAVES, H.M.L. (1995) Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. sd., mimeo.
- CHAVES, I.B. & DINIZ, E.J. (1981) Erosividade de chuvas no Estado da Paraíba. In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 3, Recife, 1980. Anais, Recife, p.136-147.
- DENARDIN, J.E.(1990) Erodibilidade do solo estimada por meio de Parâmetros físicos e Químicos. Tese de Doutorado, ESALQ-USP.
- DENARDIN, J.E. & WUNSHE, W.A. (1981) Erodibilidade de um Latossolo Vermelho Escuro. In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 3, Recife, 1980. Anais, Recife. p.219
- DONZELI, P.L.; VALÉRIO FILHO, M. PINTO, S.A.F.; NOGUEIRA, F.P.; ROTTA, C.L.; LOMBARDI NETO, F. (1992) Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas ao diagnóstico básico para planejamento e monitoramento de microbacias hidrográficas. Documentos IAC, no. 29, Setembro, Instituto Agrônômico, Campinas.
- DUNNE, T. & LEOPOLD, L.B. (1978) Water in environment planning. FREEMAN, W.H. & COMPANY, San Francisco, 818 pp.
- EL-SWAIFY, S.A.; DANGLER, E.W.; ARMSTRONG, C.L. (1982) Soil erosion by water in the tropics. Hitahr - College of Tropical Agriculture and Human Resources, University of Hawaii, 173 p. apud NISHYAMA, L. (1995) Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia(833). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 95 p.
- ELLISON, W.D. (1947) Soil erosion studies part Agricultural Engineering, v. 28, n.4, p.145-146.
- FOSTER, G.R.; MCCOOL, D.K.; RENARD, K.G.; MOLDENHAUER, W.C. (1981) Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. J.Soil and Water Cons., Ankeney, Iowa, 36(6) :355-359.
- FOURNIER, F. (1960) Climat et erosion. Paris, Press Universitaires de France apud NISHYAMA, L. (1995) Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu

desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia(833). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 95 p.

FREIRE, O & PESSOTI, J.E. (1976) Erodibilidade dos solos de Piracicaba. Revista da Agricultura, Piracicaba, S.P., v. 51, p, 195-202.

FREIRE, O.; GODOY, M.C.T.F.; CARVALHO, ki. A. (1992) Erodibilidade de alguns solos do oeste do Estado de São Paulo. Revista de Geografia, São Paulo, v. II, p.77-87.

HENKLAIN, J.C. & FREIRE, O. (1983) Avaliação do método nomográfico para determinação da erodibilidade de latossolos do Estado do Paraná. R, bras. Ci. Solo, Campinas, 7:191-195.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO(IPT) (1986) Orientações para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Parapanema. São Paulo, 6v.(IPT, Relatório no. 24.739).

KEECH, M.A. (1968) Soil erosion survey techniques. Separata de Proceeding & Transactions of the Rhodesia Scientific Association, 53:13-16.

LAL, R.(1990) Soil erosion in the tropics - principles and management. McGraw-Hill.

LEPRUN, J.C. (1981) A erosão, a conservação e o manejo do solo no nordeste do Brasil: balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisa. Recife, SUDENE, Departamento de Recursos Naturais, 105 p. (Brasil, SUDENE, Recursos de Solo, 15).

LEPRUN, J.C; SILVA, F.B.R. e (1994) Avaliação das perdas de solo e água por erosão no Nordeste semi-árido. In: Projeto Áridas, GT-I-Recursos Naturais e Meio Ambiente (Vol, 1.2 condições do uso e perspectivas de uso sustentável dos geoambientes do semi-árido), Seplan/PR.

LIMA, J.M, de (1987) Relação entre erosão, teor de ferro, parâmetros físicos e mineralógicos de solos da região de Lavras (MG). Dissertação de Mestrado, ESAL-UFLA.

LIMA, J.M. de; CURI, N.; RESENDE, M. & SANTANA, D.P. (1990) Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de latossolos. R, bras. ci. Solo, Campinas, 14:85-90.

LOMBARDI NETO, F. Equação Universal de Perda de Solo Modificada. IAC, sd, mimeo.

LOMBARDI NETO, F. & BERTONI, J.(1975) Erodibilidade de solos paulistas, Campinas, Instituto Agrônomo, set, 12 p. (B.Tec. 27) .

LOMBARDI NETO, F. & BURROWS,I.T.(1991) Mapeamento da chuva diária máxima provável para o Estado de São Paulo. Rev. bras. ci. Solo, Campinas, 15:93-98.

LOMBARDI NETO, F. & MOLDENHAUER, W.C. (1981) Erosividade da chuva - sua distribuição e relação com perdas de solo em campinas, SP. In: Encontro Nacional de Pesquisas sobre conservação do Solo, 3, Recife, 1980. Anais, campinas, Sociedade Brasileira de ciência do Solo, p. 158.

LOMBARDI NETO, F.; ROCHA, J.V.; BACELLAR, A.A.A. (1995) Planejamento agroambiental da microbacia hidrográfica do Ribeirão cachoeirinha - Município de Iracemápolis/SP, utilizando um sistema de informação geográfica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO, 5., 1995, Bauru, Anais..., São Paulo, ABGE-IPT,D. 257-259.

MIDDLETON, H.E.(1930) Properties of soils which influence soil erosion. Washington: USDA. 16 p. ITechnical Bulletin, 1761 .

NISHYAMA, L. (1995) Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia(833). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 95 p.

PINTO, S.A.F. (1983) Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização da erosão do solo no SW do Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos campos, INPE, abril (INPE-2694-TDL/128) .

PINTO, S. A. F. (1991) Sensoriamento remoto e integração de dados aplicados no estudo da erosão dos solos. Tese de Doutorado, USP.

REIS, J.G. (1994) Análise das políticas de conservação do solo para o semi-árido. In: Projeto Áridas, GT-I-Recursos Natijrai5 e Meio Ambiente(Vol, 1.2 condições do uso e perspectivas de uso sustentável dos geoambientes do semi-árido), Seplan/PR.

- RESENDE, M. & ALMEIDA, J. R. de (1985) Modelos de predição de perda de solo: uma ferramenta para manejo e conservação do solo. Informe Agropecuário - Belo Horizonte, 11(128): 38-54, 1985.
- ROCHA, J.V.; LOMBARDI NETO, J. BACELLAR, A.A.A. (1996) Cálculo do fator comprimento de rampa (L): uma metodologia para uso em sistema de informação geográfica. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 5., 1995, Bauru, Anais..., São Paulo, ABGE-IPT, p. 421-422.
- ROMKENS, M.J.M.; ROTH, C.B. & NELSON, D.W. Erodibility of selected clay subsoils in relation to physical and chemical properties. Soil Sci. Soc. Am. J., 41:954-960, 1977.
- ROO, A. P. J.; HAZELHOFF, L. & BURROUGH, P. A. Soil erosion modelling using 'ANSWERS' and geographical information systems. Earth Surface Processes and Landforms, 14, 517-532, 1989.
- ROTH, C.B.; NELSON, D.W. & ROMKENS, M.J.M.(1974) Prediction of subsoil erodibility using chemical, mineralogical and physical parameters. Washington: U.S. Environmental Protection Agency. Ill p. (EPA-660/2-74-043).
- SCSA (1976) Resource conservation glossary. Ankeny, IA.
- SILVA, I, de F.; CHAVES, I.B. & MONTENEGRO, J.O. (1981) Erodibilidade dos solos do Estado da Paraíba. In: Encontro Nacional de Pesquisa sobre Conservação do Solo, 3, Recife, 1980. Anais, Recife. p.192-199.
- SILVA, I. de F.; ANDRADE, A.P. de & CAMPOS FILHO, O.R. (1986) Erodibilidade de seis solos do semi-árido paraibano obtida com chuva simulada e método nomográfico. R.bras.Ci.Solo, 10:283-287.
- TÁVORA, M.R.P., SILVA, J.R.C. & MOREIRA, E.G.S. (1985) Erodibilidade de dois solos da região de Ibiapaba - Estado do Ceará. R.bras.Ci.Solo, 9:59-62.
- VALENZUELA, C.R. (1988) ILWIS Overview. ITC Journal, (1):3-14.
- VALÉRIO FILHO, M. (1994) Modelagem e técnicas de sensoriamento remoto aplicada a estudos de erosão. In: PEREIRA, V. de P.; FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. da - Solos altamente susceptíveis à erosão. Jaboticabal, FCAV-UNESP/SBCS, 223-242 p.
- VENTURA, S.J.; CHRISMAN, N.R.; CONNORS, K.; GURDA, R.F. & MARTIN, R.W. (1988) A land information system for soil erosion control planning. Journal of Soil and Water Conservation, 43:230-233.
- VILAR, O.M. (1987) Formulação de um modelo matemático para a erosão dos solos pela chuva. Tese(Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. p.196 apud NISHYAMA, L. (1995) Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia(833). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 95 p.
- VILAR, O.M. & PRANDI, E.C. (1993) Erosão dos solos. In: CINTRA, J.C.A.; ALBIERO, J.H. (Eds.). Solos do interior de São Paulo. São Carlos. Cap. 7, p.177-206 apud NISHYAMA, L. (1995) Erosão do solo: uma visão integrada dos fatores e processos que condicionam o, seu desenvolvimento. Seminários Gerais em Geotecnia (833). São Carlos. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 95 p.
- WISCHMEIER, W.H. (1959) A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. Soil Science Society of America Proceedings, 23:246-249.
- WISCHMEIER, W.H. & MANNING, J.V. (1969) Relation of soil properties to its erodibility. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 33(1) :131-137.
- WISCHMEIER, W.H.; JOHNSON, C.B. & CROSS, B.V.(1971) A soil erodibility nomogram for farmland and construction sites. Journal of Soil and Water Conservation, 26(5) :189-193.
- WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. (1978) Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. Agriculture Handbook, n. 537, U.S. Department of Agriculture, Washington, 58 p.
- YOUNG, R. A.; ONSTAD, C. A.; BOSH, D. D. & ANDERSON, W. P. (1989) AGNPS: A nonpoint-source pollution model for evaluating agricultural watersheds. Journal of Soil and Water Conservation, 44 (12): 168-173.

NORMAS PARA PUBLICAÇÃO NA SÉRIE PESQUISA

O periódico “Cadernos do LOGEPA – Série Pesquisa” faz parte do programa de editoração do Laboratório e Oficina de Geografia da Paraíba do Departamento de Geociências da UFPB. Seu objetivo é a publicação, de artigos técnico-científicos, elaborados pelos docentes do curso de Geografia do DGEOC/UFPB, discentes da Pós Graduação em Geografia e, por docentes e pesquisadores de outros departamentos ou cursos, que contribuam para o avanço do conhecimento geográfico e amplie o diálogo interdisciplinar com outros campos do saber, com ênfase particular para a pesquisa sobre o Nordeste e a Paraíba. Devem ser apresentados para apreciação, artigos que se enquadrem nas seguintes categorias: síntese de pesquisa original, resultado de elaboração teórica, revisão crítica de bibliografia.

O envio de trabalhos para publicação pressupõe o interesse em publicar nos “Cadernos do LOGEPA – Série Texto Pesquisa”, comprometendo-se seu(s) autor(es) a manter a exclusividade do oferecimento para publicação pelo prazo mínimo de seis meses, período em que o(s) mesmo(s) se compromete(m) a não oferecê-lo a outro periódico ou coletânea. Os autores poderão informar-se do estágio de avaliação e processamento de seus trabalhos a qualquer momento da preparação da edição.

Os textos devem ser redigidos em português, digitados em processador Word, utilizando a fonte *Times New Roman* corpo 12, com espaço 1,5 e recuo de parágrafo de 1,5 centímetros. O espaçamento das margens deve ser de 2,5 centímetros (superior e inferior) e 3 centímetros (direita e esquerda). Deve ser configurado em papel A4 e enviado por meio de correio eletrônico para logepa_ufpb@yahoo.com.br ou entregue uma cópia em disquete ou CD. Notas explicativas devem ser numeradas numa seqüência única, listada ao pé de página. Tabelas, quadros e gráficos devem ser apresentados com títulos, numerados na ordem de

entrada no texto e menção da fonte. Os documentos cartográficos devem ser precedidos de títulos que permitam perfeita identificação, com legendas claras e menção da fonte. Eles devem ser apresentados em preto e branco ou em cores, inseridos no texto.

Figuras e Fotografias também podem ser anexadas em preto e branco ou coloridas e inseridas na ordem de entrada no texto e tituladas. Todas as Figuras e Fotografias dispostas no artigo devem ser enviadas em anexo por meio eletrônico juntamente com o arquivo nos formato (gif, jpg, wmf, png ou tif).

As referências bibliográficas ou Bibliografia deverão vir em conjunto ao final do artigo, obedecendo aos seguintes critérios:

- a) **LIVRO:** Nome do autor. Título do livro (em negrito). Local de Publicação: Editora, ano de publicação, número de página;
- b) **ARTIGO:** Nome do autor. Título do Artigo (itálico). In Nome do periódico (em negrito), Volume, Número do periódico. Local, data da publicação, número de páginas;
- c) **ARTIGO EM COLETÂNEA:** Nome do autor. Título do Artigo (itálico). In Nome dos organizadores (Orgs). Nome da coletânea. Local: data da publicação, número de páginas.

Nas citações deve constar o nome do autor, o ano da publicação: o número da página citada. Cada trabalho deverá se fazer acompanhar: a) do respectivo resumo (em português), abstract (resumo em inglês) e *résumé* (resumo em francês) de, no máximo, dez linhas onde fiquem claros os propósitos, os métodos empregados e as principais conclusões do trabalho; b) de 6 (seis) palavras chave traduzidas para o inglês (6 *key words*) e para o francês (6 *mots clés*), indicativas do conteúdo do trabalho; c) dos dados do(s) autor(es) (última titulação, vínculo institucional com função/cargo, e-mail para divulgação) e telefone/fax e endereço para correspondência, para uso administrativo dos "Cadernos do Logepa – Série Pesquisa".

Os artigos deverão ser encaminhados à Equipe Editorial da Revista Cedernos do LOGEPA. Sua publicação está condicionada a pareceres de membros do Conselho Editorial e de consultores *ad hoc*. Sendo garantido o anonimato de autores e pareceristas no processo de avaliação. Cópia dos pareceres será encaminhada aos autores. Os trabalhos recusados não serão devolvidos.

Ao Conselho Editorial cabe o direito de fazer pequenas modificações no texto, tabelas ou figuras, para atender aos critérios editoriais da revista. Todos os trabalhos aparecerão assinados, refletindo as opiniões de seu(s) autor(es). Os manuscritos publicados são propriedade da revista "Cadernos do LOGEPA – Série Pesquisa" e do Laboratório e Oficina de Geografia da Paraíba do Departamento de Geociências da UFPB. Com a publicação do artigo, o autor receberá 5 exemplares da revista.