

## GEOMORFOLOGIA DO COTIDIANO – A DEGRADAÇÃO DOS SOLOS

Antonio Jose Teixeira Guerra

Maria do Carmo Oliveira Jorge

### 1. Introdução

Esse trabalho refere-se a conceitos e temas relacionados à degradação dos solos, onde a erosão é apenas um dos processos envolvidos. Para tal, será observada uma série de tópicos que dizem respeito à degradação, como: erosão pluvial, movimentos de massa, acidificação, salinização e desertificação. Quais são os fatores causadores, bem como as conseqüências desses processos danosos também serão aqui analisados, tanto em áreas rurais como urbanas.

A divisão que se segue, procura levantar uma série de questões relacionadas à degradação e erosão dos solos, com ênfase nesse processo geomorfológico, que é o de maior distribuição geográfica, pelo planeta Terra. Apesar de reconhecermos a existência de diversas formas de erosão, aquela provocada pelo escoamento superficial e sub-superficial, nas encostas é a única a ser abordada nesse capítulo, também pela sua maior distribuição territorial, no Brasil e no mundo, como um todo.

### 2. Degradação dos Solos

Segundo Fullen e Catt (2004), é imperativo que os solos sejam conservados, no presente, e para futuras gerações. No caso de construções, em áreas de depósitos de tálus, que caracterizam condições instáveis, quando não se altera significativamente essas encostas, plantando gramíneas e árvores, a tendência é de manter o seu equilíbrio ambiental. Os referidos autores destacam ainda que as Nações Unidas venham tendo grande preocupação em relação aos solos. Dessa forma, em 1987, a então Primeira Ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, dirigiu uma Comissão com o objetivo de investigar a degradação dos solos e produziu um relatório intitulado *Nosso Futuro Comum* (Brundtland, 1987). Nesse relatório está incluído também um mapa do estado atual dos solos do mundo, chamado *Global Assessment of Soil Degradation* (GLASOD), que em português significa Avaliação Global da Degradação dos Solos. Esse projeto foi desenvolvido principalmente na Universidade de Wageningen na Holanda, e resultou numa publicação intitulada *Mapa Mundial do Estágio de Degradação dos Solos, Induzida pelo Homem* (Oldeman *et al.*, 1990). O relatório GLASOD apresentou uma visão pessimista do futuro, concluindo que os

solos do planeta estão sendo erodidos, tornando-se estéreis, ou contaminados com tóxicos químicos, a uma taxa que não pode ser sustentada.

O GLASOD estimou ainda que a perda de solos agrícolas se dê a uma taxa de 6 a 7 milhões de hectares, por ano, com um adicional de 1,5 milhões de hectares perdidos, devido à exploração de madeira, salinização e acidificação. Dessa forma, a perda de solo não quer dizer necessariamente que a terra desapareça, embora localmente isso possa acontecer, devido a transgressão marinha, ou erosão de áreas costeiras. Normalmente, significa a deterioração das suas propriedades químicas e físicas, de maneira que o solo deixa de ser produtivo.

De acordo com Fullen e Catt (2004), como uma comunidade global, devemos aprender com as lições do passado. Ou seja, vivemos num momento de mudanças climáticas, rápido crescimento da população mundial e rápido decréscimo, em área e em qualidade dos solos, como um recurso natural básico. Conflitos militares regionais continuam, em especial no mundo das zonas áridas, e muitos desses conflitos estão relacionados a recursos hídricos.

### **2.1. Levantamento dos solos, classificação e avaliação de terras.**

Com o objetivo de compreender os solos e prever o seu comportamento, temos que conseguir avaliar suas propriedades, bem como categorizá-los, classificá-los e mapear sua distribuição espacial (Selby, 1993; Fullen e Catt, 2004; Morgan, 2005). Para tal, no campo, os pedólogos examinam um perfil de solo, que é estudado em horizontes, ou camadas. A natureza e as propriedades de cada horizonte e as relações entre os horizontes têm que ser considerados. Algumas propriedades podem ser avaliadas no campo, e amostras de solo são levadas para serem analisadas em laboratório.

Os cientistas do solo, que estudam sua origem e o desenvolvimento são denominados pedólogos. O termo *ped* se refere a solo, e vem do grego, onde *pedos* significa solo.

Cada país tende a criar um manual de levantamento de solo, que em essência são similares, embora com pequenas diferenças entre eles. Esses proporcionam procedimentos precisos para a caracterização das propriedades e formas de amostragem (Gerard, 1992; Selby, 1993; Morgan, 2005).

No que diz respeito às análises físicas, a granulometria é a técnica mais difundida e conhecida. Através dessa análise, podemos dividir os solos em várias classes, como: pedregosos, arenosos, siltosos e argilosos.

As análises químicas e a fertilidade são feitas com sedimentos menores de 2.0 mm de diâmetro. Esses métodos determinam o teor de nutrientes dos solos, que, em alguns casos, refere-se à quantidade total de um determinado elemento. No entanto, a maior parte dos elementos é insolúvel, ou então solúveis muito lentamente e não estão disponíveis rapidamente para as plantas.

Os nutrientes nos solos podem ser classificados em dois grupos: 1. macro-nutrientes, que são necessários em grandes quantidades para o crescimento das plantas, e incluem nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg); 2. micro-nutrientes, que são necessários em menores quantidades, para o bom desenvolvimento das plantas, e incluem manganês (Mn), cobre (Cu), níquel (Ni), zinco (Zi), molibdênio (Mo), ferro (Fe), cobalto (Co) e vanádio (Va) (Fitz Patrick, 1986).

Com base em dados de laboratório e de campo, os pedólogos podem classificar os solos. Esse é um importante passo, na medida em que as estratégias de manejo do solo necessitam ser baseadas na compreensão da natureza e das suas propriedades.

O sistema de classificação de solos dos Estados Unidos está dividido em 12 Ordens, que recebem os seguintes nomes: *Entisols* (Neossolos), *Inceptisols* (Cambissolos), *Alfisols* (Argissolo), *Spodosols* (Espodossolo), *Ultisols* (Planossolo), *Oxisols* (Latosolos), *Mollisols* (Chernossolo), *Aridisols* (Luvissolo), *Vertisols* (Vertissolos) e *Histosols* (Organossolo). Cada uma dessas Ordens é dividida em Sub-ordens, Grandes Grupos, Sub-grupos, Famílias e Séries (Brady e Weil, 1999).

## **2.2. A economia da degradação dos solos: das políticas nacionais às propriedades rurais**

Os fatores sócio-econômicos que operam em nível nacional, nas propriedades rurais e nas bacias hidrográficas, possuem um papel importante nos incentivos dados aos fazendeiros, no sentido de se praticar o manejo adequado dos solos, que leve à sua conservação (Kerr, 1998). O conhecimento sobre erosão e conservação dos solos tem crescido rapidamente, nas últimas décadas. As causas e efeitos biológicos e físicos da erosão são cada vez mais bem conhecidos e os métodos de proteção dos recursos dos solos são mais bem conhecidos também.

No entanto, a erosão continua espalhada por todo o mundo e a adoção de práticas conservacionistas ainda continua limitada. Isto se deve, em parte, a restrições sócio-econômicas, em várias partes do mundo. Dessa forma, o conhecimento dos fatores sócio-econômicos e das políticas públicas associadas, possui um papel importante na conservação dos solos. Ou seja, há

que se considerar esses fatores, porque, na grande maioria dos casos, eles podem atuar em conjunto com as causas ambientais, resultantes na erosão.

Os proprietários rurais possuem muitos objetivos no manejo dos seus solos e, ao mesmo tempo, diversas limitações na escolha de medidas a serem tomadas. Esses objetivos e limitações determinam até que ponto há interesse na adoção de práticas conservacionistas, os quais operam em diversos níveis, incluindo a economia nacional, as propriedades rurais, os campos cultivados, as comunidades e as bacias hidrográficas (Oldeman, 1990; Kerr, 1998; Fullen e Catt, 2004; Morgan, 2005). Segundo Kerr (1998), as políticas econômicas podem influenciar os objetivos dos fazendeiros, até certo ponto, mas em certos casos é mais importante planejar políticas e programas que atendam aos objetivos dos proprietários rurais, em vez de tentar mudá-los.

Evidências em vários países sugerem que os fazendeiros estão conscientes das causas e conseqüências da degradação dos recursos naturais. Pesquisas feitas com os proprietários rurais apontam para a preocupação constante que os mesmos têm com a erosão, perda de nutrientes, desmatamento, e declínio na produção agro-pecuária. A literatura nacional e internacional tem mostrado, através de vários exemplos, que muitos países têm conseguido resolver problemas relacionados à degradação das terras, com práticas de conservação dos solos e recuperação de áreas degradadas (Gill, 1991; Cleaver e Schreiber, 1994; Reij *et al.*, 1996; Kerr, 1998; Fullen e Catt, 2004; Morgan, 2005; Guerra *et al.*, 2009).

Dessa forma, a saúde da economia rural tem várias implicações na erosão dos solos, dependendo, em grande parte, do estágio de intensificação da agricultura. Quando a terra é abundante, e a agricultura é pouco intensiva, a subida de preços para os produtos agrícolas pode levar a uma expansão da área cultivada, promovendo o corte da vegetação primitiva, levando ao aumento da erosão. Como resultado, os investimentos e políticas públicas que apóiam o crescimento econômico, deverão levar à adoção de práticas conservacionistas. Os investimentos na infra-estrutura do meio rural, tais como: construção e melhoria de estradas rurais, que auxiliarão a levar os produtos para os mercados, provocarão aumento dos lucros da agricultura e, conseqüentemente, irão encorajar a melhoria do manejo das propriedades rurais.

Concluindo, as condições de mercado e as políticas econômicas interagem, tanto em nível nacional, como no nível das propriedades rurais, no sentido de determinar os investimentos que os fazendeiros farão em práticas conservacionistas. Segundo Kerr (1998), os fazendeiros, no mundo inteiro, têm uma variedade de interesses e objetivos, sendo a conservação dos solos, apenas mais uma alternativa, e não é, na maioria das vezes, o principal objetivo da maioria dos proprietários rurais.

### 2.3. Solos e paisagens como sistemas abertos

A formação dos solos é o resultado da interação de muitos processos, tanto geomorfológicos, como pedológicos. Esses processos retratam uma variabilidade temporal e espacial significativa, sendo dessa forma, importante abordar os solos como sistemas dinâmicos. Sendo assim, os solos e as paisagens devem ser considerados sistemas abertos, utilizando-se os conceitos que evoluíram com a análise sistêmica (Gerrard, 1992; Fullen e Catt, 2004; Morgan, 2005; Guerra e Mendonça, 2007).

Os solos e as paisagens comportam-se como sistemas abertos, na medida em que ganham e perdem matéria e energia, além das suas fronteiras. De acordo com Gerrard (1992), os solos estão continuamente se ajustando de diversas formas, à variação dos fluxos de massa e de energia, gradientes termodinâmicos e outras condições ambientais externas.

O fato de os solos, como as paisagens atuarem como sistemas abertos têm implicações tanto teóricas como práticas, na escolha dos parâmetros que serão mensurados no campo, com o objetivo de determinar o estágio de um sistema, direcionando a atenção aos conceitos básicos envolvidos nessa estrutura (Guerra e Mendonça, 2007).

A análise dos solos e das paisagens como sistemas abertos, direciona a atenção aos conceitos básicos envolvidos nessa estrutura. Esses conceitos foram destacados por Strahler e Strahler (1973):

1. Os sistemas possuem limites, quer sejam reais, ou arbitrários;
2. Os sistemas possuem entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) de energia e matéria, que atravessam esses limites;
3. Os sistemas possuem caminhos de transporte de energia e de transformação, associados com a matéria existente dentro desses sistemas;
4. Dentro dos sistemas a matéria pode ser transportada de um local para outro, ou ter suas propriedades físicas transformadas por reação química ou mudança de estado;
5. Os sistemas abertos tendem a possuir um equilíbrio dinâmico, no qual a taxa de entrada de energia e de matéria iguala a taxa de saída de energia e matéria, enquanto o armazenamento de energia e matéria permanece constante;
6. Quando as taxas de entrada, ou de saída de um sistema aberto, mudam, o sistema tende a buscar um novo equilíbrio. O período de mudança que leva ao estabelecimento de um novo equilíbrio é um estado transiente, e o período de tempo envolvido dependerá da sensibilidade do sistema;

7. A quantidade de armazenamento de energia e de matéria aumenta, ou diminui, quando a taxa de energia e fluxo de matéria, pelo sistema, aumenta, ou diminui;
8. Quanto maior for a capacidade de armazenamento, dentro do sistema, para uma determinada entrada (*input*), menor é a sensibilidade desse sistema.

Baseado nos oito pontos destacados acima, a profundidade dos solos vai depender das taxas de sua remoção e formação, ou seja, naquelas áreas, onde a remoção é mínima, solos profundos vão se desenvolver, enquanto onde a ação erosiva for mais ativa, os solos serão menos espessos. Na Geomorfologia isso pode ser compreendido como um balanço resultante da denudação. Por outro lado, os solos também podem ser pouco profundos, onde a água não é retida, e, conseqüentemente, pouco intemperismo ocorre.

Nesse sentido, Palmieri e Larach (2010) resumem bem as relações entre os solos e as paisagens, quando destacam o papel que o relevo exerce no desenvolvimento dos solos, com grande influência nas suas condições hídricas e térmicas. Isso afeta também os microclimas e a cobertura vegetal, bem como as propriedades físicas e químicas dos solos.

#### **2.4. Diferentes tipos de degradação – fatores causadores**

Diversos são os fatores causadores da degradação dos solos, atuando de forma direta, ou indireta. Mas quase sempre, a grande maioria das terras degradadas inicia esse processo com o desmatamento, que pode ser seguido por diversas formas de ocupação desordenada, como: corte de taludes para construção de casas, rodovias e ferrovias, agricultura, com uso da queimada, vários tipos de mineração, irrigação excessiva, crescimento desordenado das cidades, superpastoreio, uso do solo para diversos tipos de despejos industriais e domésticos, sem tratamento da área que recebe esses despejos, enfim, de uma forma ou de outra, os solos tornam-se degradados, sendo muitas vezes, difícil, ou quase impossível a sua recuperação (Fullen e Catt, 2004; Araujo *et al.*, 2009).

Segundo Fullen e Catt (2004), a degradação dos solos cobre uma série de processos complexos, que incluem a erosão (tanto pela água como pelo vento), a expansão das condições ligadas aos desertos (chamada de desertificação), os movimentos de massa, a contaminação dos solos, como por exemplo, a acidificação e a salinização. Os referidos autores chamam atenção, ainda, para a comunidade global que vivemos, hoje em dia, e deveríamos aprender com as lições do passado. Vivemos numa época de mudanças climáticas, rápido aumento da população mundial e acelerado decréscimo da qualidade dos recursos básicos, relacionados aos solos e às águas.

Nesse sentido, esse item aborda alguns exemplos de degradação dos solos, levando em conta os fatores causadores e as principais características de cada forma de degradação.

#### 2.4.1. Erosão dos solos

Existem centenas de trabalhos, espalhados pelo mundo inteiro, sobre erosão dos solos, não só através dos capítulos específicos, sobre esses processos, publicados em livros textos, como em teses de doutorado e artigos em periódicos (Small e Clark, 1982; Abrahams, 1986; Parsons, 1988; Hasset e Banwart, 1992; Selby, 1993; Goudie, 1989, 1990 e 1995; Goudie e Viles, 1997; Fullen e Catt, 2004; Morgan, 2005; Guerra, 2009a, 2009b e 2010; Oliveira, 2010). A propósito disso, Parsons (1988) coloca de forma muito clara que a maioria das encostas evolui sob diversos processos. O autor destaca a importância dos efeitos produzidos pelo escoamento superficial (*wash*), com caráter mais contínuo, ou seja, na erosão dos solos o processo é mais contínuo e gradativo, e partículas, e/ou agregados vão sendo destacados e transportados encosta abaixo.

Selby (1993) conceitua muito bem a erosão dos solos, no seu livro *Hillslope Materials and Processes*, considerado um clássico no estudo das vertentes. Erosão dos solos é abordada no capítulo da 1ª edição, referente à Água nas vertentes (*Water on hillslopes*) e Erosão das encostas pelas gotas de chuva e pela água que se escoia (*Erosion of hillslopes by raindrops and flowing water*, na 2ª edição). Nos capítulos referentes à Água nas vertentes (*Water on hillslopes* - 1ª edição) e Erosão das encostas pelas gotas de chuva e pela água que se escoia (*Erosion of hillslopes by raindrops and flowing water* - 2ª edição), o referido autor destaca o papel da água que remove o solo das encostas, através de uma variedade de processos erosivos, tais como: erosão laminar (*wash*), *ravina* (*rill*) e voçoroca (*gully*).

No processo relativo ao voçorocamento, Selby (1993) explica que uma ravina principal (*master rill*) pode aprofundar e alargar o seu canal, ou seja, evoluir para uma voçoroca, definida como uma expansão de um canal de drenagem, o qual caracteriza um fluxo efêmero de água, possuindo paredes laterais íngrimes, cabeceira vertical, largura maior do que 30 cm e profundidade maior do que 60 cm. As voçorocas, ainda segundo Selby (1993), podem se formar numa ruptura da encosta, ou em áreas onde a cobertura vegetal foi removida, em especial quando o material subjacente for mecanicamente fraco, ou inconsolidado. Dessa forma, o referido autor enfatiza que as voçorocas são mais comuns em materiais, tais como: solos profundos formados sobre *loess*; solos de origem vulcânica; aluviões; colúvio; cascalho; areias inconsolidadas e detritos resultantes de movimentos de massa. Selby (1993) aponta também que o aumento do

*runoff*, em conjunto com a retirada da vegetação, o aumento das terras cultivadas, as queimadas excessivas e o superpastoreio pode dar origem à erosão por voçoroca.

Goudie (1995) enfatiza que a erosão que ocorre numa encosta é resultante de processos como salpicamento (*rainsplash*), escoamento superficial (*surface wash*) e ravinamento (*rill erosion*), que por sua vez dependem da erosividade da chuva, da erodibilidade dos solos, das características das encostas e da natureza da cobertura vegetal.

A erosão causada pela ação da água é a mais comum forma de erosão e de maior distribuição espacial na superfície terrestre (Hasset e Banwart, 1992) e, por isso mesmo, é abordada nesse capítulo. Ela possui duas fases básicas: a primeira é a remoção (*detachment*) de partículas, que pode também formar crostas no topo do solo, e a segunda é o transporte dessas partículas na superfície. Entretanto, o transporte de material pode também ser feito em sub-superfície, através da formação de dutos (*pipes*), com diâmetros que podem variar de poucos centímetros até vários metros. O material que está acima desses dutos pode sofrer o colapso do teto, dando origem a voçorocas.

O escoamento difuso, sob a forma de um lençol (*sheetflow*), pode evoluir para uma ravina. Para chegar a esse estágio, o fluxo de água passa a ser linear (*flowline*) e depois evolui para microrravinas (*micro-rills*), e depois para microrravinas com cabeceiras (*headcuts*). Ao mesmo tempo em que essa evolução vai ocorrendo, podem também se estabelecer bifurcações, através dos pontos de ruptura (*knickpoints*) das ravinas e ser então criada uma verdadeira rede de ravinas (*rill network*) na encosta (Merritt, 1984; Morgan, 2005; Guerra, 2009a e 2009b).

A combinação dos processos de erosão em lençol, ravina e voçoroca, além de rebaixarem a superfície do terreno, provocam a redução do teor de matéria orgânica e de elementos minerais, que podem dificultar, ou mesmo impedir, a agricultura nessas áreas. Os solos, além de passarem pelos processos de erosão, tornam-se degradados, podendo contribuir para a desertificação, que será vista mais adiante, nesse capítulo.

#### **2.4.2. Movimentos de massa**

Os processos de movimentos de massa têm um impacto direto no uso da terra e podem, em casos extremos, constituir riscos à vida humana e às construções (Small e Clark, 1982). Ao mesmo tempo, o impacto antropogênico sobre as encostas naturais representa o principal fator de influência sobre os processos, as formas e a evolução das encostas, de maneira deliberada, ou não (Guerra, 2008). Sendo assim, a produção de encostas artificiais, feita por cortes para a construção

de estradas, ruas, casas e prédios, mineração, represas, terraços, etc., torna-se muito importante, em escala local (Small e Clark, 1982).

Com relação aos movimentos de massa, muito esforço tem sido feito na mensuração das taxas às quais as diversas formas desses processos ocorrem na superfície terrestre (Goudie, 1995). A propósito disso, Petley (1984) descreve os principais objetivos do estudo dos movimentos de massa:

1. compreender o desenvolvimento das encostas naturais e os processos que têm contribuído para a formação de diferentes feições;
2. tornar possível a estabilidade das encostas, sob diferentes condições;
3. estabelecer o risco de deslizamento, ou outras formas de movimentos de massa, envolvendo encostas naturais ou artificiais;
4. facilitar a recuperação de encostas que sofreram movimento de massa, bem como o planejamento, através de medidas preventivas, para que tais processos não venham a ocorrer;
5. analisar os vários tipos de movimentos de massa que tenham ocorrido numa encosta e definir as causas desses processos;
6. saber lidar com o risco dos fatores externos na estabilidade das encostas, como por exemplo, os terremotos.

A terminologia é vasta e cada autor usa termos semelhantes, para caracterizar determinados processos. Desses, talvez o mais empregado seja *landslide*, traduzido para o português por deslizamento e/ou escorregamento. A propósito disso, Coates (1977, *in* Hansen, 1984) lista os principais pontos em comum, dentre vários pesquisadores, para caracterizar os *landslides*, que representam um tipo de fenômeno incluído dentro dos movimentos de massa;

1. a gravidade é a principal força envolvida;
2. o movimento deve ser moderadamente rápido, porque o *creep* (rastejamento) é muito lento para ser incluído como *landslide*;
3. o movimento pode incluir deslizamento e fluxo;
4. o plano de cisalhamento do movimento não coincide com uma falha;
5. o movimento deve incluir uma face livre da encosta, excluindo portanto subsidência;
6. o material deslocado possui limites bem precisos e, certamente, envolve apenas porções bem definidas das encostas;
7. o material transportado pode incluir partes do regolito e/ou do substrato rochoso.

Apesar das inúmeras classificações e terminologias relacionadas aos movimentos de massa, que podem chegar a confundir o leitor, Fernandes e Amaral (2010) abordam de forma muito objetiva e clara o assunto, propondo a seguinte classificação:

- a) **corridas** (*flows*): são movimentos rápidos, onde os materiais se comportam como fluidos altamente viscosos. Elas estão associadas com a grande concentração de água superficial;
- b) **escorregamentos** (*slides*): se caracterizam como movimentos rápidos de curta duração, com plano de ruptura bem definidos. São feições longas, podendo apresentar uma relação de 10:1, comprimento-largura. Podem ser divididos em dois tipos:
  - b.1. **rotacionais** (*slumps*): possuem uma superfície de ruptura curva, côncava para cima, ao longo da qual se dá o movimento rotacional da massa do solo;
  - b.2. **translacionais**: representam a forma mais freqüente entre todos os tipos de movimentos de massa, possuindo superfície de ruptura com forma planar, a qual acompanha, de modo geral, descontinuidades mecânicas e/ou hidrológicas, existentes no interior do material.
- c) **queda de blocos** (*rock falls*): são movimentos rápidos de blocos e/ou lascas de rocha, que caem pela ação da gravidade, sem a presença de uma superfície de deslizamento, na forma de queda livre.

Existe ainda uma categoria denominada de *creep* (rastejamento), que Hansen (1984) descreve como sendo definida basicamente pela sua velocidade, devido à natureza lenta do movimento. Segundo Hansen (1984), existem três tipos de *creep*:

- a. *creep* sazonal, onde o solo é afetado pelas mudanças sazonais de umidade e temperatura;
- b. *creep* contínuo, onde a força de cisalhamento (*shear stress*) excede a resistência ao cisalhamento (*shear strength*);
- c. *creep* progressivo, que está associado às encostas que atingem o ponto de ruptura por outros tipos de movimento de massa.

### 2.4.3. Salinização dos solos

Segundo Fullen e Catt (2004), a grande maioria dos problemas ligados à salinização dos solos está relacionada à desertificação, sendo mais típica em regiões semi-áridas, com lençol freático muito próximo à superfície, ou sujeitas à irrigação. Araújo *et al.* (2009) também chamam atenção para o fato de que a concentração de sais na camada superior do solo pode ocorrer por causa do manejo inadequado da irrigação, pela invasão das águas do mar em áreas próximas do litoral, ou ainda pelas atividades humanas que elevam a evaporação em solos com material salino, ou com lençol freático salino.

Já está comprovado que a salinização é um problema que atinge 28 países, espalhados pela América do Sul, América do Norte, África, Europa, Ásia e Oceania (Rhoades, 1990). Ainda, segundo o mesmo autor, 15% das fazendas do mundo todo são irrigadas, e destas, 10% são

afetadas por problemas relacionados à salinização, de maneira que chega a afetar a produção agrícola.

Os lençóis freáticos rasos podem ser também uma outra fonte de sais. Com elevada evaporação em terras áridas e semi-áridas, o lençol d'água pode subir pela ação da capilaridade, através dos poros, em especial nos solos com textura fina. A água se evapora na superfície e, dessa forma, deixa para trás resíduos de sais. A água da irrigação também pode ser altamente salina. O enriquecimento com sal, dos solos áridos e semi-áridos pode causar outros problemas, à medida que os diferentes tipos de sais podem cimentar os horizontes do solo (Gerrard, 1992; Ellis e Mellor, 1995).

De acordo com Fullen e Catt (2004), uma outra forma que a salinização pode tomar conta dos solos, refere-se à intrusão da chamada cunha salina, que em áreas localizadas próximo do litoral, pode entrar pelo continente, tornando os solos e os lençóis freáticos mais salgados. De acordo com esses autores, atualmente o nível do mar tem subido a uma média de 1 mm ao ano, o que pode comprometer a qualidade das águas e dos solos, situados próximos aos oceanos. Um outro motivo desse fenômeno é a expansão térmica das águas oceânicas, devido ao aquecimento global. Tudo isso contribui para o aumento da salinização dos solos localizados em áreas costeiras.

#### **2.4.4. Acidificação dos solos**

A acidificação dos solos é outro problema sério que atinge várias partes do mundo. Araújo *et al.* (2009) chamam a atenção para esse tipo de degradação, enfatizando que ela tanto pode ocorrer devido à aplicação excessiva de fertilizantes ácidos, como por causa da drenagem em determinados tipos de solo.

Os solos que passam por processos de acidificação têm a sua produtividade diminuída, ou então podem até ficar impossibilitados de se cultivar a maioria dos vegetais, em função do seu pH muito baixo. Lopes (1989) e Lopes *et al.* (1991) chamam a atenção para o fato de que a acidez diminui a população de micro-organismos, que decompõem a matéria orgânica e auxiliam na liberação do nitrogênio, fósforo e enxofre.

Alem disso, a acidificação reduz a agregação, nos solos argilosos, causando baixa permeabilidade e aeração, o que pode aumentar o escoamento superficial e, conseqüentemente, a sua erosão (Goudie e Viles, 1997; Fullen e Catt, 2004; Morgan, 2005; Guerra, 2009a).

Fullen e Catt (2004) apontam que a acidificação afeta, inicialmente, as camadas mais superficiais dos solos, mas pode se estender para camadas mais profundas, comprometendo,

inclusive o lençol freático. Os autores destacam também que, em escala geológica, a acidificação natural pode afetar o subsolo, até vários metros de profundidade, como é o caso dos solos ao longo do rio Tamisa, no sul da Inglaterra, que foram se tornando ácidos, nos últimos 500.000 anos, até profundidades de mais de 15 metros.

Segundo Fullen e Catt (2004), devido aos processos físicos e químicos complexos, que levam à acidificação dos solos, devido a diferentes tipos de manejo, tal como a drenagem, as conseqüências ambientais da acidificação podem ser mais bem previstas, usando-se modelos de simulação. A propósito disso, Bronswijk *et al.* (1995) desenvolveram um modelo chamado de (SMASS), *Simulation Model for Acid Sulphate Soils*, que, em português significa Modelo de Simulação para Solos Ácidos Sulfatados. Esse modelo foi originalmente usado para prever taxas de acidificação em solos de mangue e aumento da acidez por lixiviação, sob várias condições de drenagem artificial.

#### **2.4.5. Desertificação**

Existe uma grande gama de causas para a desertificação. Segundo Fullen e Catt (2004), algumas dessas causas são naturais, outras são antropogênicas, enquanto existe um grupo que resulta da interação de ambas. De acordo com o IPCC (Painel Inter-governamental de Mudanças Climáticas), infelizmente a importância relativa dos fatores climáticos e antropogênicos em causar a desertificação tem permanecido sem resolução (IPCC, 2001).

De acordo com Fullen e Catt (2004), existem processos ambientais naturais que mantêm aproximadamente 25% da superfície da Terra, em um estado árido bem acentuado. Os referidos autores afirmam também que os desertos se formam sem a participação humana, porque eles já haviam se desenvolvido muito antes do advento das sociedades humanas. Por exemplo, muitas das rochas na Grã-Bretanha, que datam do Devoniano e do Triássico se formaram sob condições climáticas muito áridas. O clima existente em grande parte do Egito hoje seria uma situação análoga à da Grã-Bretanha, que existiu durante esses dois períodos geológicos. Nesse caso, as dunas arenosas se acumularam, as quais algumas delas acabaram se transformando em rochas areníticas. Os sais foram transportados para os lagos do deserto e as águas desses lagos se evaporaram, deixando depósitos de sais, como resíduos.

Ainda abordando condições naturais que causam desertos, como explicam Fullen e Catt (2004), existe uma combinação de fatores que produzem essas condições, tais como os cinturões de alta pressão subtropicais, que são separados por zonas úmidas equatoriais. Dessa forma, no extremo norte e sul dos trópicos existem desertos ou climas áridos, como destacam os referidos

autores. Em algumas dessas áreas, não existe nenhuma forma de precipitação, e, dessa maneira, são reportadas na literatura, como zonas hiper-áridas.

As atividades humanas também têm um papel significativo na expansão dos desertos, processo conhecido como desertificação. O Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) estima taxas atuais de desertificação em torno de 21 milhões de hectares por ano. Segundo Pearce (1992), cerca de seis milhões de hectares por ano passam por processos de desertificação, que podem ser considerados sem possibilidade de recuperação.

A cobertura vegetal em áreas secas é, quase sempre, uma fonte importante de lenha e de madeira, e o desmatamento ocorre de maneira generalizada, para essas finalidades. A super exploração de água é também outro fator contribuinte, não apenas para diminuir a qualidade, mas a quantidade dos recursos hídricos, podendo levar à maior salinidade desses ambientes. Segundo Fullen e Catt (2004), muitos dos problemas políticos que ocorrem nas terras secas, são conflitos que envolvem recursos hídricos. Além disso, muitos países que se situam em terras áridas, são politicamente instáveis e, freqüentemente, se encontram em conflitos militares.

Alguns estudos de detalhe dos padrões de desertificação tendem a apoiar o argumento de que o super-pastoreio é uma das principais causas da desertificação. Esse argumento é apontado por Goudie (1994 e 1995), que enfatiza que as condições desérticas se desenvolvem em pequenas faixas, às vezes não muito próximas dos desertos e acabam se juntando e aumentando com isso a área dos desertos, ou seja, aumentando os processos de desertificação.

Apesar de não haver 100% de concordância, entre os vários pesquisadores, espalhados pelo mundo, que abordam essa temática, a grande maioria desses pesquisadores tem concordado que a influência humana tem feito com que os processos de desertificação tenham aumentado, à medida que a exploração dos recursos naturais, de maneira não sustentável, aliados às pressões provocadas pela ocupação humana, tenham sido os grandes responsáveis pelo aumento da desertificação pelo mundo.

#### **2.4.6. Efeitos *onsite* e *offsite* da degradação dos solos**

A ação antrópica sobre as encostas tem causado toda uma gama de impactos ambientais negativos *onsite* (no próprio local) e *offsite* (fora do local), ou seja, a erosão tem suas conseqüências danosas, não apenas onde ela ocorre, mas seus efeitos podem ser notados vários quilômetros afastados, de onde o processo erosivo esteja acontecendo (Goudie, 1995; Fullen e Catt, 2004; Morgan, 2005; Guerra e Mendonça, 2007).

Os processos erosivos acelerados causam prejuízos ao meio ambiente e à sociedade, tanto no local (*onsite*) onde os processos ocorrem como em áreas próximas, ou afastadas (*offsite*). Os efeitos *onsite* (terminologia amplamente utilizada na literatura nacional e internacional) incluem uma diminuição da fertilidade dos solos, afetando o crescimento das plantas, bem como uma diminuição da capacidade de retenção de água nos solos (Lal, 1998). Eles incluem também a perda de solo, onde se forma a erosão em lençol, em ravinas e em voçorocas, bem como nas cicatrizes de movimentos de massa; nesse caso, predominantemente em áreas urbanas. Os efeitos *offsite* devem-se ao escoamento de água e sedimentos, causando danos em áreas agrícolas afastadas, ou contíguas de onde a erosão e os movimentos de massa estejam ocorrendo, mudanças negativas no meio\_ambiente, bem como danos relacionados a enchentes, assoreamento de rios, lagos e reservatórios, contaminação de corpos líquidos, etc.

Dessa forma, os impactos ambientais, resultantes da ação antrópica sobre os solos, acontecem de uma maneira bastante complexa, podendo ser de ordem benéfica ou adversa, tanto em áreas rurais, como urbanas, afetando essas áreas onde a degradação das terras esteja ocorrendo, bem como seus efeitos danosos podem ter repercussão a vários quilômetros de distância da área atingida diretamente por esses processos geomorfológicos, muitas vezes de caráter catastróficos.

#### 4. Conclusões

A degradação dos solos, aqui vista, sob a perspectiva da Geomorfologia do Cotidiano, foi abordada nesse trabalho, com o objetivo de chamar atenção para as relações existentes entre os processos erosivos acelerados, os movimentos de massa, a acidificação, a salinização e a desertificação dos solos, bem como as conseqüências ambientais que tais processos acarretam.

Vários aspectos relacionados à erosão, como os solos vistos como sistemas abertos, o processo erosivo em si, a erosão no âmbito das bacias hidrográficas, os impactos ambientais resultantes da ação antrópica sobre os solos, tanto em áreas rurais como urbanas, a importância do controle da erosão dos solos e os benefícios potenciais da sua conservação foram aqui abordados.

Com esse trabalho reafirma-se a necessidade de entender-se o processo erosivo, bem como os movimentos de massa e os outros processos de degradação dos solos, não apenas do ponto de vista dos fatores controladores, bem como das suas principais características, mas também das diversas formas que tais processos possuem de relacionamento com a questão ambiental, social e econômica.

Uma vez que o processo tenha ocorrido, medidas mitigadoras devem ser tomadas, a partir da melhor compreensão dos relacionamentos abordados nesse capítulo. Novos trabalhos devem seguir esse, no sentido de podermos contribuir para, um dia, conseguirmos controlar os processos de degradação dos solos, que tanto têm afligido as zonas rurais e urbanas brasileiras.

## 5. Bibliografia

ABRAHAMMS, A.D. (1986). *Hillslope processes*. Londres, Allen and Unwin.

ALBUQUERQUE, A.R.C. e VIEIRA, A.F.G. (2011). **Erosão dos solos na Amazônia**. In: GUERRA, A.J.T. (organizador). *Degradação dos solos no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, p.....-.....

ARAUJO, G.H.S., ALMEIDA, J.R. e GUERRA, A.J.T. (2009). *Gestão Ambiental de Áreas Degradadas*. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 4ª edição.

BIBBY, J.S. (1991). *Land Use Capability Classification for Agriculture*. Aberdeen, Macaulay Land Use Research Institute.

BRADY, N.C. e WEIL, R.R. (1999). *The Nature and Properties of Soils, Upper Saddle River – NJ*. New Jersey, Prentice Hall.

BRONSWIJK, J.J.B., GROENENBERG, J.E., RITSEMA, C.J., VAN WIJK, A.L.M. e NUGROBO, K. (1995). **Evaluation of water management strategies for acid sulphate soils using a simulation model: a case study in Indonesia**. *Agricultural Water Management*, 27, p. 125-142.

BRUNDTLAND, G.H. (1987). *Our common future, report of world commission on environment and development*. PNUMA, Oxford, Oxford University Press.

CLEAVER, K. e SCHREIBER, G. (1994). *Reversing the Spiral: The Population, Agriculture and Environment Nexus in Sub-Saharan Africa*. Washington, Banco Mundial.

CORREA, A.C.B., SOUZA, J.O.P. E CAVALCANTI, L.C.S. (2011). **Solos do ambiente semi-árido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica.** In: GUERRA, A.J.T. (organizador). *Degradação dos solos no Brasil*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, p.....-.....

DREW, D. (2002). *Processos interativos homem-meio ambiente*. Rio de Janeiro, Ed. Bertrand Brasil, 5ª edição.

ELLIS, S. E MELLOR, A. (1995). *Soil and environment*. Londres, Editora Routledge.

FERNANDES, N.F. E AMARAL, C.P. (2010). **Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica.** In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 8ª edição, p. 123-194.

FITZ PATRICK, E.A. (1986). *An introduction to soil science*. Londres, Longman, 2ª edição.

FULLEN, M.A. E CATT, J.A. (2004). *Soil management – problems and solutions*. Oxford, Oxford University Press.

GERRARD, J. (1992). *Soil geomorphology – an integration of pedology and geomorphology*. Londres, Chapman and Hall.

GILL, G. (1991). *Indigeneous erosion control system in the mid-hills of Nepal*. In: Farmers' Practices and Soil and Water Conservation Programs, ICRISAT, Patancheru, India.

GOUDIE, A. (1989). *The nature of the environment*. Oxford, Blackwell.

GOUDIE, A. (1990). *The human impact on the natural environment*. Oxford, Blackwell.

GOUDIE, A. (1994). **Deserts in a warmer world.** In: MILLINGTON, A.C. e PYE, K. (orgs.) *Effects of environmental change in drylands*. Oxford, Blackwell, p. 1-24.

GOUDIE, A. (1995). *The changing Earth – rates of geomorphological processes*. Oxford, Blackwell.

GOUDIE, A. E VILES, H. (1997). *The Earth transformed – an introduction to human impacts on the environment*. Oxford, Blackwell.

GUERRA, A.J.T. (2008). **Encostas e a questão ambiental**. In: CUNHA, S.B. e GUERRA, A.J.T. (orgs.). *A questão ambiental – diferentes abordagens*. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 4ª edição, p. 191-218.

GUERRA, A.J.T. (2009a). **Processos erosivos nas encostas**. In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.). *Geomorfologia - uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 8ª edição, p. 149-209.

GUERRA, A.J.T. (2009b). **Processos erosivos nas encostas**. In: CUNHA, S.B. e GUERRA, A.J.T. (orgs.). *Geomorfologia - exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3ª edição, p. 139-155.

GUERRA, A.J.T. (2010). **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A.J.T., SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. (orgs.). *Erosão e conservação dos solos - conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 5ª edição, p. 15-55.

GUERRA, A.J.T. E MENDONÇA, J.K.S. (2007). **Erosão dos solos e a questão ambiental**. In: VITTE, A.C. e GUERRA, A.J.T. (orgs.). *Reflexões sobre a geografia física no Brasil*. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 2ª edição, p. 225-256.

GUERRA, A.J.T., MENDES, S.P., LIMA, F.S., SAHTLER, R., GUERRA, T.T., MENDONÇA, J.K.S. E BEZERRA, J. F.R. (2009). **Erosão urbana e recuperação de áreas degradadas no município de São Luis – Maranhão**. *Revista de Geografia, da UFPE*, 26, p. 85-135.

HANSEN, M.J. (1984). **Strategies for classification of landslides**. In: BRUNSDEN, D. e PRIOR, D. (orgs.). *Slope instability*. Salisbury, John Wiley and Sons Ltd., p. 1-25.

HASSET, J.J. E BANWART, W.L. (1992). *Soils and their environment*. New Jersey: Prentice Hall.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001). *Climate change 2001: the scientific basis*. Cambridge: University Press.

JOHNSON, D.L. E LEWIS, L.A. (1995). *Land degradation: creation and destruction*. Cambridge, Blackwell.

KERR, J. (1998). **The economics of soil degradation: from national policy to farmers' fields**. In: PENNING DE FRIES, F.W.T., AUGS, F. e KERR, E.J. (orgs.) *Soil erosion at multiple scales – principles and methods for assessing causes and impacts*. Oxford: Cabi Publishing, p. 21-38.

LAL, R. (1998). **Agronomic consequences of soil erosion**. In: PENNING DE FRIES, F.W.T., AUGS, F. e KERR, E.J. (orgs.) *Soil erosion at multiple scales – principles and methods for assessing causes and impacts*. Oxford: Cabi Publishing, p. 149-160.

LOPES, A.S. (1989). *Manual de fertilidade do solo*. São Paulo: Editora Anda/Potafós.

LOPES, A.S., SILVA, M. E GUILHERME, G.R.L. (1991). *Acidez do solo e calagem*. São Paulo: Editora Anda/Potafós, 3ª edição.

MARÇAL, M.S. (2000). *Suscetibilidade à erosão dos solos no alto curso da bacia do rio Açailândia – Maranhão*. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro, PPGG/UFRJ, 208p.

MORGAN, R.P.C. (2005). *Soil erosion and conservation*. Oxford, Blackwell.

OLDEMAN, L.R., HAKKELING, R.T.A. E SOMBROEK, W.G. (1990). **World map of the status of human-induced soil degradation**. International Soil Reference and Information Centre (ISRIC)/UNEP in cooperation with Winand Staring Centre-International Soil Science Society (ISSS)-FAO-ITC (The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation).

OLIVEIRA, M.A.T. (2010). **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas**. In: GUERRA, A.J.T., SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. (orgs.). *Erosão e*

*conservação dos solos - conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, 5ª edição, p. 58-99..

PALMIERI, F. E LARACH, J.O.I. (2010). **Pedologia e geomorfologia**. In: In: GUERRA, A.J.T. e CUNHA, S.B. (orgs.). *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 8ª edição, p. 59-122.

PARSONS, A.J. (1988). *Hillslope form*. Nova York, Routledge.

PEARCE, F. (1992). **Mirage of the shifting sands**. *New Scientist*, 1851, p. 38-42.

PETLEY, D.J. (1984). **Ground investigation, sampling and testing for studies of slope instability**. In: BRUNSDEN, D. e PRIOR, D. (orgs.). *Slope instability*. Salisbury, John Wiley and Sons Ltd., p. 67-101.

RAMALHO, M.F.J.L. (1999). *Evolução dos processos erosivos em solos arenosos, entre os municípios de Natal e Parnamirim – RN*. Tese de Doutorado, Rio de Janeiro, Departamento de Geografia, PPGG/UFRJ, 347p.

REIJ, C., SCOONES, I. E TOULMIN, C. (1996). *Sustaining the soil: indigenous soil and water conservation in Africa*. Londres, Earthscan.

RHOADES, J.D. (1990). Soil **salinity – causes and controls**. In: GOUDIE, A.S. (Organizador). *Techniques for desert reclamation*. Chichester, J. Wiley.

SELBY, M.J. (1993). *Hillslope materials and processes*. Oxford, Oxford University Press.

SMALL, R.J. E CLARK, M.J. (1982). *Slopes and weathering*. Cambridge, Cambridge University Press.

STRAHLER, A. N. E STRAHLER, A.H. (1973). **Environmental geoscience**. Santa Bárbara, Hamilton.

TIFFEN, M., MORTIMORE, M. E GICHUKI, F. (1994). *More people, less erosion: environmental recovery in Kenya*. Chichester, John Wiley.