

A TEORIA GERAL DOS SISTEMAS E O ENTENDIMENTO DOS PROCESSOS EROSIVOS EM UMA BACIA HIDROGRAFIA

Cleire Lima da Costa **FALCÃO**
Docente da Universidade Estadual do Ceará, UECE,
E-mail: cleirefalcao@gmail.com

Histórico do Artigo:
Recebido
Maio de 2020
Aceito
Setembro de 2020
Publicado
Dezembro 2020

RESUMO: Os estudos dos processos erosivos devem ser fundamentados pelo o entendimento teórico e a sua base conceitual. Neste ensaio se destaca a abordagem sistêmica para suprir o aspecto teórico e metodológico. Em referencia a delimitação de área, optou-se por uma bacia hidrográfica. Para tanto, foi subdividido em temas específicos: Bacias hidrográficas: uma visão sistêmica integradora, que nos remete aos conceitos de bacia hidrográfica e a relação sistêmica de seus elementos A microbacia como unidade de estudo, nos remete a uma visão pontual no contexto geral de uma bacia hidrográfica. O processo de erosão do solo em uma abordagem sistêmica; que visa colocar o leitor no objeto maior da pesquisa. Por fim, o experimento e a mensuração no processo erosivo, tópico que estabelece a relação do empírico ao experimental. Remete à reflexão sobre o observável e o possível a ser analisado mediante modelos; proporcionando a humanização do sistema natural.

Palavras chave: Teoria Geral dos Sistemas. Erosão. Mensuração.

ABSTRACT: Studies of erosive processes must be based on theoretical understanding and their conceptual basis. In this essay, we present a systemic approach to the above theoretical and methodological aspect. In reference to the delimitation of area, opt for a hydrographic basin. For that, it was subdivided into applicable themes: Hydrographic Basins: an integrative

systemic view, which refers to the concepts of the hydrographic basin and the systemic relationship of its hydrographic elements. The process of soil erosion in a systemic approach; that seen put the reader in the larger object of the research. Finally, the experiment and measurement in the erosive process, the topic that established an empirical relationship with the experimental one. Refer to the reflection on the observable and the possible to be analyzed using models; deduce humanization of the natural system.

Keywords: General Systems Theory. Erosion. Measurement.

RESUMEN: Los estudios de procesos erosivos deben basarse en la comprensión teórica y base conceptual. Em este ensayo, presentamos um enfoque sistémico del aspecto teórico y metodológico anterior. Em referencia a la delimitación em temas aplicables: Cuencas hidrográficas: uma visão sistémica integradora, que se reflere a los conceptos de la cuenca hidrográfica y la relación sistémica de sus elementos hidrográficos. El proceso de erosión del suelo em um enfoque sistémico; éso visto pone al lector em el objeto más grande de la investigación. Finalmente, el experimento y la medición em el processo erosivo, el tema que estableció una relación em el processo erosivo, el tema que estableció una relación empírica com la experimental. Refiérase a la reflexión sobre lo observable y lo posible para ser analizado usando modelos; deducir la humanización del sistema natural.

Palabras clave: Teoria general de sistemas. Erosión. Medición.

INTRODUÇÃO:

Busca-se, nesse ensaio, compreender os processos erosivos em uma bacia hidrográfica. Para tanto, a fundamentação teórica e metodológica prioriza o conhecimento baseado na perspectiva sistêmica, entendendo o ambiente como um conjunto de elementos interligados, efetuando troca de matéria e energia.

Thornes e Brunsten (1977) expressavam que o emprego do sistema é devidamente apropriado em estudos de processos e será cada vez mais importante ao estabelecer a resposta para esses processos. Com a aplicação da abordagem sistêmica, foi proporcionado um novo caminho para a Ciência Geográfica, por meio da Teoria Geral dos Sistemas, adotando os termos de soma, mecanização, centralização e finalidade; fugindo, com isso, apenas da abordagem empírica.

Em estudos de Geografia é necessário utilizar-se do conceito de sistema para compreender os temas complexos e como se apresentam interdependentes, conseqüentemente influenciados e sofrendo ações dos elementos (matéria ou energia) que constituem as relações de fluxos no grande sistema Terra.

As bacias hidrográficas integram uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas, pois podem gerar mudanças significativas em qualquer dessas unidades podem gerar alterações, efeitos ou impactos. A integração dos conhecimentos existentes sobre a bacia hidrográfica e a síntese desses conhecimentos é que nos permite, segundo os conceitos e a metodologia proposta, o conhecimento da Análise Geral dos Sistemas.

BACIAS HIDROGRÁFICAS: UMA VISÃO SISTÊMICA E INTEGRADORA

A bacia hidrográfica é definida por Christofolletti (1980:102) como “área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial”. Um rio ou um trecho de rio não é um sistema isolado, os rios constituem ecossistemas abertos e lineares, cujas características variam ao longo do tempo e espaço.

Faz-se necessário esclarecer que os sistemas apresentam-se em duas categorias, isolados e não isolados. Os isolados são considerados os que não realizam troca de massa ou energia, portanto só existem nos laboratórios; os não isolados, são agrupados em sistemas fechados (a entrada de massa e ar é impedida, mas não a saída) e abertos, quando ocorrem trocas de massa e energia com seus circunvizinhos.

De acordo com Gregory (1992, p.222)

Os sistemas abertos, contudo, foram definidos como os que precisam de um suprimento de energia para sua manutenção e preservação, e são mantidos em condição de equilíbrio pelo constante suprimento e remoção de matéria e energia. Os sistemas abertos podem receber energia livre (ou entropia negativa) no sistema e se podem comportar apresentando equifinalidade, pois condições iniciais diferenciadas podem conduzir a resultados finais semelhantes.

Ross (1998) afirma que a bacia pode ser considerada uma unidade hidrogeomorfológica da paisagem com seus canais fluviais, saídas e divisores que acabam por constituir um importante ecossistema. Segundo Johnston (1986), o ecossistema é “um sistema do tipo processo-resposta voltado para os fluxos de energia dos ambientes biológicos, muitos

dos quais incluem, ou são afetados pelo homem”. Sendo, também, um sistema de controle, nos quais os componentes vivos agem como reguladores dos fluxos de energia.

Assim, podemos utilizar o emprego da teoria dos sistemas em estudo de bacias de drenagem. Sendo uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum em um determinado ponto de um canal fluvial. Nesse percurso, recebe suprimento contínuo de energia através do clima reinante e sistematicamente perde energia através da água e dos sedimentos que deixam. As transformações físicas que ocorrem na superfície são acompanhadas por quantidades de energia, em que a radiação solar funciona como a maior fonte de energia da matéria em movimento em seguida finalizando as saídas.

Os sistemas trocam energia e matéria com outros sistemas. Fuchs (2002, p.40), comenta que, dentro da Teoria Geral dos Sistemas, a composição da matéria e da energia é importante.

[...] A matéria, que corresponde aos elementos que compõem o sistema. Por exemplo, no sistema hidrográfico a matéria é representada pela água e pelos detritos; a energia corresponde às forças que fazem o sistema funcionar e divide-se em energia potencial e cinética. O potencial é representada pela força inicial que desencadeia o funcionamento do sistema, sendo que a gravidade funciona como energia potencial para o sistema hidrológico e para os sistema morfogênicos.

No sentido amplo, um sistema é uma série de elementos ligados entre si interagindo para formar um todo operacional (JOHNSTON, 1986, p.165). O resultado das inter-relações entre os fluxos de matéria e energia que entram e se movem dentro de seus limites, a resistência da superfície topográfica e suas respectivas distribuições no tempo e espaço, é considerada, por Zavoianu (1985), como a evolução de qualquer paisagem terrestre, e, por conseqüência, de qualquer bacia de drenagem. Portanto, as quantidades de matéria e energia recebidas na bacia agem sobre as variáveis: rocha, relevo, solo e a cobertura vegetal que no decorrer do tempo irão definir os elementos característicos de uma bacia.

Para Gregory (1992) um sistema tem sido geralmente definido como “Conjunto de elementos com características variáveis; - as relações entre as características dos elementos; as relações entre o meio ambiente e as características dos elementos”.

A bacia hidrográfica é um sistema geomorfológico aberto, que recebe matéria e energia através de agentes climáticos e perde através do deflúvio. A bacia hidrográfica como sistema aberto pode ser descrita em termos de variáveis com inter-relações bem definidas. Estas formam os elementos que contribuem para a definição das características da bacia são: o embasamento rochoso, o relevo, o solo e a cobertura vegetal.

Uma bacia hidrográfica coleta a precipitação que cai sobre sua superfície e conduz parte dessa água para o rio através do escoamento superficial e do fluxo de água subterrânea. Os solos e a vegetação influenciam na velocidade com que essa água alcança o rio. A litologia determina a textura do solo que, por sua vez, controla a capacidade de estocar água para comunidades vegetais. A estrutura geológica define a morfologia da bacia e, com isso, controla os processos de erosão e lixiviação, além do potencial de produtividade da área. Tempo é um fator decisivo no intemperismo das rochas e na erosão que determina escarpas e, conseqüentemente, o gradiente do rio. A natureza do substrato do rio é fortemente influenciada pela paisagem e pelo estágio dos processos erosivos. O rio é, portanto, produto integrado à bacia hidrográfica e cada bacia é formada por um conjunto de microbacias.

Considerando a bacia hidrográfica como um sistema temos, em primeiro momento, a precipitação como maior fonte de matéria - entrada, o *input*. Considerando a existência de uma cobertura vegetal sobre o solo, a água da chuva é primeiramente interceptada pelo dossel (a água poderá também atingir diretamente o solo ou corpos d'água). Essa água interceptada pode ser evaporada e da água que chega até a superfície do solo parte é infiltrada (entra no perfil de solo) e parte pode escoar superficialmente. A água infiltrada irá se redistribuir ao longo do perfil de solo. Simultaneamente a entrada de água no solo, ela pode estar sendo evaporada pela superfície ou pela retirada do solo pelas raízes e transpirada pelas folhas do dossel. A água pode ainda descer o perfil de solo e chegar ao lençol freático, ou, em algumas situações, pode haver um fluxo ascendente pelo solo.

Em terrenos declivosos, pode ocorrer também fluxos lateral sub-superficial, ou ainda formar canais por onde a água escoar preferencialmente, esse processo é ilustrado na figura 1. Esses canais podem escoar água somente durante um evento de chuva ou durante algum tempo depois, cessando o escoamento tão logo a água infiltre no solo (curso afluente). Outros canais, por sua vez, permanecem constantemente escoando água (curso efluente) a menos que, por algum motivo, o nível do lençol freático venha a baixar fazendo que o canal fique acima da zona de saturação. A variação de umidade dentro do perfil de solo pode ser contabilizada através de um balanço de massa, onde são computadas as entradas e saídas de água no sistema.

Figura 1 - Formação de canais após evento de chuva em vertente desnuda as margens do canal fluvial.



Fonte: autoria própria (2020).

Este balanço de água no solo pode ser resumido utilizando a fórmula: $P - E_{int} - E_s - E_p - Q_{saída} + Q_{entrada} - \Delta\theta = 0$, (1.1)

Onde P é a precipitação (chuva, neve ou neblina), E_{int} é a água interceptada pelo dossel que posteriormente é evaporada, E_s é a evaporação do solo, E_p é a transpiração pelas plantas, $Q_{saída}$ é o escoamento de água para fora do sistema, $Q_{entrada}$ é o escoamento de água para dentro do sistema (fluxo ascendente, escoamento superficial e subsuperficial de elementos à montante) e $\Delta\theta$ é variação do estoque de água no solo. O termo P - é geralmente chamado de precipitação líquida, ou seja, refere-se a parte da precipitação que realmente chega à superfície do solo. Os termos $E_{int} + E_s + E_p$ são denominados evapotranspiração. A equação de balanço pode ser utilizada para eventos simples de precipitação ou para uma série temporal, embora as escalas temporais de cada um dos processos possam ser consideravelmente diferentes.

As inter-relações entre estes fatores, e suas respectivas distribuições no tempo e espaço, comandam em grande parte a evolução e o estado atual da topografia e morfologia da bacia de drenagem, que apresentam potencial de utilização baseado segundo as características

de seus componentes; substrato geológico, formas e processos geomorfológicos, mecanismos hidro-meteorológicos e hidrogeológicos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Essa concepção de bacia de drenagem e sistema integra uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas, em que as mudanças significativas podem gerar impacto, onde os tipos de leitos podem ser alterados pelo seu caráter integrador das dinâmicas ocorridas. Conforme Lima (1986), a microbacia hidrográfica é uma unidade natural da paisagem, as quais apresentam condições apropriadas, para avaliar de forma detalhada as interações entre o uso da terra, portanto, revelam excelentes áreas de estudo.

Para Petraglia (1995, p. 102) “o ser humano desenvolve-se e organiza-se, transformando a natureza. Como sujeito, procede a auto-eco-organização, considerando, para isso, os princípios de ordem, desordem e organização”.

No contexto da compreensão de intervenções que afetam os fenômenos Christofoletti (2004, p. 92) comenta:

Levando em consideração que a maior parte dos fenômenos da natureza e os socioeconômicos, quando analisados, não são lineares, pode-se afirmar que eles se comportam como sistemas dinâmicos e caóticos, pois se deve levar em consideração que, além da grande diversidade dos elementos, há vários graus de liberdade quanto ao comportamento destes. A primeira característica importante destes sistemas é o processo de realimentação (feedback). Pequenas mudanças podem ocasionar efeitos dramáticos, pois podem ser amplificadas repetidamente por meio de realimentação, constituindo a base das instabilidades e da subida emergencial de novas formas de ordem, tão típicas da auto-organização. A segunda característica é a existência de níveis críticos. Estes níveis são patamares a partir dos quais um sistema se desequilibra. Esta mudança de estado geralmente é causada por um pequeno aumento do fluxo de matéria e energia. O terceiro aspecto dos sistemas não-lineares é o surgimento do cálculo da dimensão fractal.

A ação de feedback retratada por Christofoletti (2004) é entendida como a interdependência entre os elementos integrantes no sistema e entre sistemas regulando a energia. De acordo com Johnston (1986, p. 162)

O ecossistema é um sistema do tipo processo-resposta voltado para os fluxos de energia dos ambientes biológicos, muitos dos quais incluem, ou são afetados pelo homem. Ele é também um sistema de controle nos quais os componentes vivos agem como reguladores dos fluxos de energia.

Segundo Zakia (1998), a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento tem um aspecto positivo, pois a maioria das relações de causa-efeito geradas está ligada ao uso dos recursos hídricos, cuja rede de drenagem se conforma a

esses fatores de intervenção humana. Por outro lado, Freitas (2000) considera efeito negativo da adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento, o fato de que grande parte destas relações de causa e efeito tem caráter econômico e político, o qual extrapola os limites da bacia hidrográfica, o que dificulta a negociação social.

O uso racional dos recursos naturais acarreta sua preservação e, para isso, é necessário que haja um manejo contínuo. O fator bastante relevante na qual devemos considerar de fundamental importância é a preservação da mata ciliar, pois irá refletir na redução no assoreamento, na fauna e no desenvolvimento dos animais. É necessário salientar ainda as práticas de manejo do uso do solo como *input*, a entrada. Pois, em função da aplicação das práticas de uso tenderá a uma estabilidade, indo proporcionar um desenvolvimento do seu biótico e conseqüentemente uma melhora na estrutura do solo, em conseqüência direta ocorrerá o equilíbrio. Aumentando a estabilidade irá reduzir o assoreamento, indiretamente, aumentará a capacidade do reservatório, um dos problemas mais sérios dos nossos reservatórios.

A MICROBACIA COMO UNIDADE DE ESTUDO

A microbacia hidrográfica é uma unidade natural da paisagem, as quais apresentam condições apropriadas para avaliar de forma detalhada as interações entre o uso da terra (COSTA FALCÃO, 2009; COSTA FALCAO, FALCAO SOBRINHO, 2019).

No começo do século XX, em vários países, teve início utilização de microbacias hidrográficas como unidades experimentais. Os resultados obtidos demonstraram que o uso da terra e as atividades nelas desenvolvidas afetam a quantidade, o regime de vazão e a qualidade de sua água. Estudos realizados por Aubertin e Patric (1974) evidenciaram que é possível realizar determinado grupo de operações de exploração econômica do solo como um mínimo impacto à qualidade da água.

Lima (1999) cita que o manejo de microbacias hidrográficas como estratégia holística de uso dos recursos naturais renováveis de maneira a salvaguardar o solo e a água é tido como um dos recursos mais importantes, tanto para a sustentabilidade das microbacias como das bacias de maior escala e dos rios, mas, principalmente, para a busca do desenvolvimento sustentável. Likens *et al* (1977), defende que a utilização de microbacias como ecossistemas para estudar ciclagem de nutrientes, comportamento hidrológico, intemperismo das rochas e outros processos naturais.

O pensamento de Odum (1971) já assinalava a microbacia hidrográfica como um todo, não apenas como um determinado curso d'água, fornecendo uma maneira sistêmica de entender os processos da paisagem.

Por definição, microbacias são áreas críticas para dinâmica de nutrientes e habitats para macroinvertebrados, peixes e anfíbios na bacia hidrográfica. O papel das microbacias na conservação, restauração e manejo dos recursos hídricos vem sendo reconhecido mais intensamente nos últimos anos.

Segundo Lima (1994) o conceito de microbacia é um tanto vago; primeiro, porque não há limite de tamanho para a sua caracterização; segundo, porque há que se fazer distinção entre dois critérios:

a) Do ponto de vista hidrológico, as bacias hidrográficas são classificadas em grandes e pequenas não com base em sua superfície total, mas nos efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio. Define-se “microbacia” como sendo aquela cuja área é tão pequena que a sensibilidade a chuvas de alta intensidade e às diferenças de uso do solo não seja suprimida pelas características da rede de drenagem.

b) Do ponto de vista de programas e políticas de uso do solo de recente estabelecimento no país – os programas de manejo de microbacias: o critério de caracterização da microbacia, neste caso, é eminentemente político e administrativo.

É importante destacar que, por intermédio de monitoramentos de indicadores hidrológicos na escala de microbacia, é possível identificar várias práticas de manejo que não são compatíveis com a sustentabilidade, por exemplo, o desmatamento da mata ciliar em uma propriedade rural contribui para a degradação dos recursos hídricos, pois prejudica o processo de infiltração de água no solo.

Diversos autores, entre eles Likens (1985), Gregory e Walling (1973) e Naiman (1992), abordaram a microbacia como um sistema natural aberto, principalmente, em termos da integração dos ciclos naturais de energia, nutrientes e, destacadamente, da água. A microbacia apresenta uma definição espacial do ecossistema muito singular e conveniente, dentro qual é possível o estudo detalhado das interações entre a utilização da terra e a quantidade e qualidade da água produzida.

O ramo do conhecimento que se preocupa com o manejo da microbacia hidrográfica é a Hidrologia Florestal, a qual tem a água como enfoque central, adotando uma visão integrada ou sistêmica, do manejo dos recursos naturais (MONTGOMERY *et al.*, 1995).

Para Lima e Zakia (2006), as principais características para entender, desenvolver e implementar práticas de manejo sustentável estão vinculadas, a resposta como a microbacia

reage durante a ocorrência de chuva, em termos da quantidade, da distribuição temporal e da qualidade da água do escoamento direto.

O conhecimento ainda incompleto dos mecanismos pelos quais a microbacia reage à ocorrência de chuva por meio do escoamento é umas das grandes contribuições das pesquisas em microbacias experimentais. Pois a precipitação que cai em uma microbacia é composta de vários processos hidrológicos de superfície e de sub-superfície, com diferentes tempos de residência, dependendo das condições intrínsecas da microbacia (geologia, solos, declividade, etc.) bem como do uso da terra, ou seja, de suas condições hidrológicas e ecológicas (HEWLETR,1982).

O comportamento da microbacia e sua resposta às práticas de manejo estão fortemente relacionados às condições hidrológicas regionais, conforme sugerido em outros trabalhos (ANDREASSIAN, 2004).

O decreto nº 94.076 (BRASIL,1987) instituiu o Programa Nacional de Microbacias Hidrográficas (PNMH), sob a supervisão do Ministério da Agricultura, visando um adequado aproveitamento agropecuário dessas unidades ecológicas, mediante a adoção de práticas de utilização racional dos recursos naturais renováveis. O PNMH deu seqüência ao Programa Nacional de Conservação dos Solos (PNCS), tendo como objetivo central executar ações voltadas para a prática de manejo e conservação de recursos naturais renováveis, evitando sua degradação e visando um aumento sustentado da produção e produtividade agropecuárias, bem como de renda dos produtores rurais.

Segundo Andréassian (2004), a estreita relação entre água e floresta foi reconhecida inicialmente na França, depois da revolução de 1789, onde muitos estudos foram desenvolvidos para comprovar a interdependência entre a proteção das florestas e a regulação da vazão, além das relações entre florestas e mudanças climáticas. No entanto, deve-se considerar que em diferentes condições climáticas e pedológicas, as florestas respondem de formas também diversas aos impactos sofridos.

O PROCESSO DE EROSÃO DO SOLO EM UMA ABORDAGEM SISTÊMICA

Gregory (1982) considera a abordagem sistêmica como uma metodologia unificadora para a Geografia e eficaz para o emprego em trabalhos de solos. Comenta o autor que, em certos ramos da Geografia Física, a abordagem sistêmica foi utilizada como parte de uma base fundamental para o estudo de bacias de drenagem

ou de canais fluviais e tem sido utilizada como instrumento básico para outros ramos da Geomorfologia.

Zavoianu (1985), refletindo sobre uma bacia de drenagem, com suporte em uma concepção sistêmica, considera o solo como dependente de outras variáveis. Depende do tipo de embasamento, da vegetação, da posição geográfica da bacia e dos fatores climáticos. Para o autor, as características do solo podem oferecer informações sobre as condições ambientais entre os fatores de formação e qualquer mudança nesse equilíbrio se refletirá em descontinuidades verticais nos perfis.

Para o autor, ainda, uma abordagem sistêmica e um horizonte orgânico bem desenvolvido e estruturado é importante para a atuação dos processos que resultam da circulação de matéria e energia numa bacia. As propriedades físicas e hídricas comandam a circulação da água, a mais importante entrada de matéria. Essas propriedades são relevantes na definição das formas de circulação da água nas vertentes (escoamento, infiltração do solo, lavado e erosão do solo). Solos com grande permeabilidade apresentam pouco escoamento superficial e favorecem o armazenamento de água subterrânea, modificando a distribuição temporal e as relações entre fluxo superficial e subterrâneo, principais vias de circulação de matéria.

Argumenta, ainda, que, das principais propriedades físicas e hídricas do solo, a textura é a mais importante, por determinar em grande parte a permeabilidade e a capacidade de reter ou perder água, assim como a coesão e resistência ante os agentes externos. A textura é estimada com base nas porcentagens de areia, silte e argila, encontradas da fração mineral do solo; as relações entre esses componentes determinam toda uma série de grupos intermediários com propriedades bem definidas.

Os solos com até 80% de areia são muito permeáveis para a água e o ar, mas a sua retenção é baixa. O conteúdo baixo ou moderado de argila equilibra essas propriedades; quando o teor de argila aumenta a permeabilidade diminui e aumenta a retenção. Quando a argila excede os 50% da massa mineral os poros maiores diminuem e aumenta a capilaridade, daí resultando baixa permeabilidade. A água infiltra com grande dificuldade e com frequência se acumula na superfície em pequenas poças nas vertentes mais suaves. Quando a declividade é alta aparece o escoamento superficial e o solo está sujeito à circulação enérgica e erosão, podendo ocorrer decaptação nas chuvas torrenciais, já que a maior parte delas escoam e pode levar a violentas enxurradas. O conteúdo de umidade é

também relevante nos processos de erosão do solo. Por exemplo, se a chuva torrencial cair sobre solos úmidos saturados por chuvas torrenciais anteriores, o escoamento aparece de imediato. A competência é grande, podendo aprofundar antigos sulcos e ravinas, além de formar outros.

Várias são as interlocuções dos atributos do solo em relação à erosão. Destaca-se, por exemplo, maior estabilidade de agregados, como é convencionalmente referida e não é importante no controle da erosão somente por atribuir maior resistência intrínseca ao agregado, mas principalmente pelo que ela representa na manutenção do solo com porosidade adequada.

Outras situações podem ser analisadas. A erosão tende a ser menos intensa em solo bem estruturado, poroso, físico-quimicamente mais resistente e pouco permeável. Enfim, o significado de porosidade do solo, mais do que o de um vazio, é a interface de sólidos e fluidos, em que a energia mecânica gravitacional da água pode se dissipar em manifestações de viscosidade. A declividade S e o comprimento L podem assumir diferentes importâncias relativas nas relações causais da erosão, quando outras condições físicas do meio variam; a erosão não é função ou não tem suas causas afetadas apenas pela declividade S e pelo comprimento da rampa. A variação dos valores de a e b refere-se, assim, aos ajustes que corrigem o grau de manifestação de outros fatores; a vazão em um sulco é, assim, também uma função do comprimento de rampa.

É também evidente que as gotas de chuva podem incorporar energia de velocidade à água que se encontra sobre a superfície do solo (FALCAO SOBRINHO, 2006), mas a turbulência, neste caso, apenas será tanto mais intensa quanto maior for a proporção de energia de velocidade da chuva que não se converte em energia de velocidade da água que está sobre o solo.

Destaca-se, ainda, a capacidade de transporte, que é a capacidade do agente erosivo transportar sedimentos. A carga de sedimentos é a taxa de transporte efetiva ou vigente, sendo que ela pode tanto ser maior quanto menor do que a capacidade de transporte. Tais interpretações detêm um entendimento sistêmico, pois, quando a carga de sedimentos excede a capacidade de transporte, ocorre a deposição de sedimentos numa taxa proporcional à diferença entre a capacidade de transporte e aquela carga. A deposição reduz a carga de sedimentos, acumulando-se sobre a superfície do solo. Quando, porém, a carga de sedimentos é menor do que a capacidade de transporte, o fluxo de água pode promover desagregação do solo.

Guerra (1991) argumenta que qualquer que seja a extensão, o quadro sistêmico deve permitir vincular proposição teórica e metodológica, estando aberto a prestar-se ao teste empírico, como são feitos nos modelos mistos de mensuração e análise, como, por exemplo, quando se utiliza a simulação.

Ainda, segundo o autor, a erosão do solo pode ser entendida como um processo resultante dos agentes ecodinâmicos, sendo, desta maneira considerada pelos pedólogos como sendo sinônimo de erosão geológica ou natural.

Com amparo na abordagem sistêmica, estudiosos da Ciência Geográfica estabeleceram novas relações na percepção com a natureza, tendo no experimento e na mensuração dos dados elementos a mais de análise.

O EXPERIMENTO E A MENSURAÇÃO NO PROCESSO EROSIVO

Com a inserção da Teoria Geral dos Sistemas, o tratamento dado à natureza levou em consideração a interação dos elementos ou a sua associação. A aplicabilidade de tal conhecimento inseriu-se na Geografia Física, inicialmente, na Geomorfologia, pelos trabalhos de Arthur Strahler (1950). A abordagem sistêmica propiciou aos estudos de Geografia Física uma substituição da morfologia da paisagem por uma tipologia de padrões espaciais (MENDONÇA, 1991).

Tricart (1981), procurando relacionar a Geomorfologia com a análise sistêmica, ressalta que a paisagem reflete o funcionamento do ecossistema. Antes, porém, Tricart (1977) se referiu ao valor da abordagem sistêmica como instrumento lógico para estudar os problemas do meio, dando condições de uma visão de conjunto do aspecto dinâmico.

Com a aplicabilidade da análise sistêmica, a representação da paisagem natural passa a ser percebida como algo delimitado, com padrões e atributos para cada elemento. A natureza começa, então, a ser humanizada, seja por meio de amostragens ou pela quantificação ou até mesmo pela noção de causa e efeito de cada elemento componente no sistema.

Colângelo (1997), ao tratar de processos erosivos, faz uma relação direta com a aplicação de modelos e a abordagem da Teoria Geral dos Sistemas, para o autor, os processos erosivos decorrentes as atividades vinculadas à hidrologia das vertentes são estimuladas a partir da fixação de um ou vários dos seguintes parâmetros:

Embasamento rochoso, formações superficiais, incluídos os volumes pedológicos, morfologia e morfometria interfluvial e cobertura vegetal. Assim são estabelecidas as já referidas relações entre pares de variáveis, fundamentais para a valoração dos limiares vinculados à ocorrência de um determinado processo.. Além disso, o conhecimento de um conjunto de relações simples entre pares de variáveis constitui a base para a elaboração de modelos mais sofisticados, onde um maior número de variáveis pode ser correlacionado numa expressão matemática (COLANGELO, 1997, p. 53).

Ainda, segundo o autor,

A construção de modelos, apesar de representar ma etapa avançada em relação ao trabalho experimental, não corresponde, contudo, à obtenção de produtos acabados, definitivos. Continuamente testados, os modelos sofrem correções, adições, ou são simplesmente substituídos por outros, mais rigorosos e abrangentes, ou seja, mais poderosos quanto a velocidade estatística e amplitude de aplicação (p. 53).

Tais afirmações são vinculadas à Teoria Geral dos Sistemas, quando o autor coloca:

No caso da abordagem sistêmica aplicada à Geografia foi incorporado o modelo termodinâmico de representação do mundo físico através da Teoria Geral dos Sistemas, estabelecida por Von Bertalanffy (1950, p. 53).

Outros autores discorrem sobre o assunto. Segundo Boardman (1992), os modelos de erosão dos solos ofereceram respostas mediante as modelagens matemáticas, tendo nos sistemas de transferências de sedimentos diferentes efeitos de variação nos *inputs* a serem avaliados mais fáceis e mais rapidamente.

Boardman (1992) relata que pela modelagem matemática da erosão dos solos e sistema de transferência de sedimentos devem permitir os diferentes efeitos de variações nos *inputs* a serem avaliados.

Gregory (1992) lembra que a mudança temporal era estudada com referência a modelos há muito estabelecidas e, muitas vezes, qualitativas que apresentam base insuficiente nas mensurações quantitativas ou nos processos ambientais atuais. Com a aquisição de mais dados e com a compreensão dos processos contemporâneos, houve um avanço rumo ao desenvolvimento dos modelos mais sofisticados de mudança temporal, o que tem sido de grande significado para o progresso da Geografia Física.

Haines Young e Petech (1986) apresentam modelos como sendo os recursos ou instrumentos utilizados para fazer predições. Eles são meios pelas quais as teorias podem ser testadas. As situações de teste são projetadas para permitir um conflito entre teoria e observação. Afirma, ainda, que os conflitos podem ser provocados pelos elementos do modelo.

Algumas discussões, entretanto, são inerentes a aplicabilidade dos modelos, como, no caso, a mensuração e os experimentos. De acordo com Morgan (1986), considerando a mensuração da erosão dos solos, diz que esta e seus efeitos controladores podem ser obtidos em campo e em laboratório, ambos, em experimentos. De Ploy *et. al.* (1978), entretanto, distingue conceitualmente mensuração de experimento, a primeira tida para obter informação sobre as taxas de erosão, e o experimento para fornecer explicações; contudo, o experimento sempre envolve mensuração e análise.

Cabível em nosso estudo é a posição de Baccaro (1999), quando acentua que, buscando o entendimento dos processos erosivos, há necessidade de se realizar o monitoramento por meio de medidas e experimentos de campo e/ou laboratório, buscando índices quantitativos dos processos erosivos, levando-se em conta a periodicidade das mensurações, a regularidade das amostragens, a fim de se ter uma idéia real da frequência e taxa dos processos erosivos.

Com relação aos modelos desenvolvidos em laboratório, Mattos (2000) assinala que:

Os antigos pesquisadores e percursores a ciência moderna utilizavam-se destes modelos para reproduzir as ambientes e fenômenos em escalas reduzidas. Com o desenvolvimento da indústria e artificialização das sociedades modernas, houve certa inversão neste processo. Rejeitam-se os modelos naturais em prol dos artificiais. Isto se reflete em diversos aspectos da vida cotidiana, na ciência, agricultura, indústria, relações humanas e etc. (p. 60).

Cruz (1982) afirma que a quantificação propicia uma grande importância aos cálculos matemáticos e estatísticos, podendo levar a resultados fundamentados em médias, e que em sempre é real a natureza. Os dados obtidos podem levar a uma reflexão do observador a uma determinada situação, oferecendo uma fotografia dos resultados mensurados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o entendimento dos processos erosivos em uma bacia hidrográfica, priorizamos o conhecimento baseado na perspectiva sistêmica, que permite entender o ambiente como um conjunto de elementos interligados, efetuando troca de matéria e de energia que constituem as relações de fluxos no grande sistema Terra.

A bacia hidrográfica integra uma visão conjunta do comportamento das condições naturais e das atividades humanas nelas desenvolvidas e, pela complexidade que envolve o

processo erosivo para se determinar a causa de sua ocorrência, se faz necessário que se considere não apenas um, mas a interação de todos os fatores envolvidos na sua dinâmica.

A erosão, por sua vez, é reconhecida universalmente como uma das importantes ameaças ao crescimento da produção agrícola necessária ao suprimento da crescente demanda da população, porque afeta progressivamente a produtividade do solo no sentido de reduzi-la, muitas vezes, irreversivelmente e em vastas áreas cultivadas.

Neste contexto, é fundamental a continuidade em várias linhas de pesquisa a serem desenvolvidas para identificar e quantificar os processos erosivos, a fim de possibilitar o conhecimento da faixa de vegetação do solo, suas contribuições para a qualidade da água são essenciais para a sustentabilidade de um ecossistema ou agroecossistema.

Os estudos comparativos entre ecossistemas naturais e manejados (agrossistema) são importantes porque, entendendo os processos que regulam a atividade biológica no solo em ecossistemas naturais, pode-se trabalhar opções para manter, em níveis aceitáveis, a fertilidade do solo em agroecossistemas.

Portanto, devemos levar em consideração que a cobertura vegetal, em conjunto com outras práticas conservacionistas e não somente práticas de proteção dispensada aos cursos d'água por meio da mata ciliar, compõe o manejo adequado da bacia, garantindo a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ANDRÉASSIAN, V. Waters and forest: from historical controversy to scientific debate. **Journal of Hidrology**, vol. 291, n.1-2, 2004.

AUBERTIN, G.M.; PATRIC, J.H. Water quality after clearcutting a small watershed in West Virginia. **Journal of Environmental Quality**, v.3, p. 243-249, 1974.

BRASIL, **Levantamento Exploratório** – Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará. Recife, Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisa Pedológica. Convênios MA/DNPEA – SUDENE/DRN, MA/CONTAP/ USAID/ETA, 1973. Volume 1 e 2, 502p. (Boletim Técnico, 28).

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Anuário Estatístico do Brasil**. Rio de Janeiro, 1990. v.50, 784p.

BRASIL, **Lei n. 4.771**, 15 set. 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em <http://www.planalto.gov.br>. Acesso: 25 set. 2005.

BOARDMAN, J. **Soil erosion and sediment loading of watercourses**. SEESOIL. Oxford, 1992.

CHRISTOFOLLETI, A. **Análise de sistemas em Geografia**. São Paulo, Edgard Blucher, 1979.

CHRISTOFOLLETI, A. **Introdução a geomorfologia**. 2^a ed. Edgar Blucher, São Paulo, 1980.

CHRISTOFOLLETI, A. **Modelagem dos sistemas ambientais**. São Paulo, Edgard Blucher. (BG). 1999.

CHRISTOFOLLETI, A. L. H. Sistemas Dinâmicos: as abordagens da Teoria do Caos e da Geometria Fractal em Geografia. In: VITTE, A.C; GUERRA, A.J.T. (org) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Bertrand. Rio de Janeiro, 2004.

COLANGELO, A. C. Metodologia em Geografia Física: ciência, tecnologia e geomorfologia experimental. **Revista do Departamento de Geografia-USP**. São Paulo, 1997.

COSTA FALCAO, C.L. **A dinâmica erosiva do escoamento pluvial em área de depressão sertaneja e de maciço residual no semi-árido cearense**. Tese de doutorado. USP, São Paulo, 2009.

COSTA FALCAO; FALCAO SOBRINHO, J. Precipitação e carreamento do solo em microbacias do Vale do Acaraú no estado do Ceará. **Acta Geográfica**, v. 13, n 32. Roraima, 2019

CRUZ, O. A Geografia Física. O Geossistema e os estudos dos processos Geomórficos. In: **Seminário sobre Geografia Física Aplicada**. Rio Claro, 1985.

DE PLOY, J.; GABRIELS, D. Measuring Soil Loss and Experimental Studies. In: **Soil Erosion**. Londres: John Wiley, Sons. 1978.

FALCÃO SOBRINHO, J. **O Relevo – elemento e âncora na paisagem do vale verde e cinza do rio Acaraú (Ce.)**. Tese de doutorado. USP. São Paulo, 2006.

FUCHS, R.B.H. **Zoneamento ambiental da bacia do Arroio Arenal, RS**. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual paulista, Campus Rio Claro. São Paulo, 2002.

GASSEN, D.N.; GASSEN, F.R. **Plantio direto - o caminho do futuro**. 2^o edição. Passo Fundo: Aldeia Sul Editora, 1996. 207p.

GREGORY, K.J. **A natureza da Geografia Física**. Bertand. São Paulo, 1992.

GREGORY, S.V.; SWANSON, F.J.; McKEE, W.A.; CUMINS, K.W. An ecosystem perspective of riparian zones. **BioScience**, 41 (8):540-551. 1992.

GREGORY, K.J.; WALLOING, D.E. **Drainage basin form and process: a geomorphological approach**. John Wiley, 1973.

GUERRA, A.J.T. **Soil characteristics and erosion, with particular reference to organic matter content**. Tese de doutorado. Department of Geography King's College. London, 1991.

HAINES YOUNG, R.H.; PETECH, J.R. **Physical Geography: its nature and methods**. Butter & Tanner Ltd. London, 1986.

HEWLETT, J.D. **Principles of forest hydrology**. The University of Georgia Press, 1982.

LIKENS, G.E. Na experimental approach for the study of ecosystems. **Journal of Ecology**. V. 73, p. 381-396, 1985.

LIMA, W. P. Forestry Education for a Changing Society. In: **FAO Advisory Committee on Forestry Education** - Eighteenth Session, 1996.

LIMA, W.P. Função hidrológica da mata ciliar. In: **Simpósio sobre mata ciliar**. Fundação Cargill, 1989.

LIMA, W.P.A. Microbacia e o desenvolvimento sustentável. **Ação Ambiental**, ano 1, n.3. p. 20-22, 1999.

LIMA, W. P. ; WALDHOFF, P. ; VIANA, V. M. . Impactos da colheita de madeira de caixeta (*Tabebuia cassinoides*) na qualidade da água. **Scientia Florestalis**, Piracicaba-SP, v. 59, p. 41-50, 2001.

LIMA, W.P.A.; M.J.B. ZAKIA. Hidrologia de Matas Ciliares. In: RODRIGUES R.R.; LEITÃO FILHO, H.E. (Eds). **Matas Ciliares: conservação e recuperação**. Edusp. São Paulo, 2000.

LIMA, W. P.; M.J.B.ZÁKIA. Saúde ambiental da microbacia. In: W.P.Lima; M.J.B.Zakia. (Org.). **As Florestas Plantadas e a Água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica com o unidade de planejamento**. 1ª ed. São Carlos - SP: Rima Editora, 2006.

JOHNSTON, R.J. **Geografia e Geógrafos**. A geografia humana angloamericana desde 1945. DIFEL. São Paulo, 1986.

MATTOS, L. C. Formulação de hipóteses na busca da sustentabilidade dos sistemas agrícolas. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. eds. **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: UFC, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. p.58 - 69.

MENDONÇA, F. **Geografia Física**. Ciência Humana. São Paulo: Contexto. 1991.

MONTGOMERY, D.R.; GRANT,G.E.; SULLIVAN,K. Watershed analysis as a fraework for implementting ecosystem management. **Water Recources Bulletin**, v.31, p. 369-386, 1995.

NAIMAN, R.J. et. al. Fundamental elements of ecoloically healthy watersheds in the Pacific Northwest Coastal Ecoregion. In: MAIMAN, R.J. (Ed). **Watershed management: balancing sustainability and environmental change**. Springer-Verlag, p. 127-188.1992.

ODUM, E.P. **Fundamentals of ecology**. 3. Ed. Philadelphia. Saunders, 1971.

PETRAGLIA, I.C. Edgar Morin. **A educação e a complexidade do ser e do saber**. Editora Vozes. Petrópolis, 1995.

ROSS, J.L.S.; DEL PRETTE,, M.E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, n. 12. São Paulo, 1998.

THORNES, J.B.; BRUNSDEN, D. **Geomorphology & Time**. Methuen & Co Ltd. Great Britain, 1977.

TRICART J. **A geomorfologia, a edafologia e o ordenamento do espaço rural**. Capítulo 3 de La Tierraa, Editorial Labor, Nueva Colección Labor. Barcelona, 1969.

TRICART, J. **Principes et Methodes de la Geomorphologie**. Masson et Cie. Paris. Editeurs. 1965.

TRICART, J. **A Geomorfología, a edafología e o ordenamento do espaço rural**. La Epidermis de la Tierra, Editorial Labor, Nueva Colección Labor, Barcelona. 1969.

TRICART, J. Paisagem e Ecologia. In: **Interfaces**. N. 76. IBILCE-UNESP. São Paulo. 1977. 56p.

ZAKIA, M.J.B. **Identificação da zona ripária em uma microbacia experimental: implicações no manejo de bacias hidrográficas e na recomposição de florestas**. Tese Doutorado. escola de engenharia de São Carlos, USP. São Carlos, 1998.

ZAVOIANU, I. Morphometry of drainage basins. **Developments in water science**, 20. Amsterdam, 1985.