ANÁLISE TEÓRICO-FILOSÓFICA DOS MODELOS DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM: TENDÊNCIAS PASSADAS E ATUAIS

ADRIANA FILGUEIRA LEITE (adrianafilgueiraleite@id.uff.br)
Geógrafa, Profª Adjunto I, Departamento de Geografia, UFF/PUCG[1]

1. Introdução

Falar sobre os modelos de evolução das paisagens é também discutir um pouco sobre a história da Geomorfologia como uma disciplina independente, com um objeto próprio de observação e estudo. Desde a antiguidade e mais especificamente após o final do século XIX, estudiosos das mais diversas regiões do mundo vêm oferecendo valiosas contribuições no sentido do melhor entendimento a respeito da gênese e evolução das principais feições do relevo. Observa-se, porém, que além do legado de reconstituir a história de antigos ambientes sob condições por vezes bastante diferenciadas das que são identificadas no presente, há ainda o grande desafio do prognóstico, ou seja, o da visualização das possíveis tendências quanto ao futuro das formas atuais.

É dentro desta perspectiva que surgiram alguns dos modelos de equilíbrio, aqui discutidos: o de *Pedimentação e Pediplanação*, o de *Equilíbrio Dinâmico* e o *Probabilístico*. Cada um deles traz em sua essência tanto as influências externas à Geomorfologia, refletindo as visões de mundo das ciências em seu aspecto mais amplo, em uma determinada época, quanto as tendências internas, intrínsecas a este campo do conhecimento, expressos ao longo do tempo através das *Escolas Geomorfológicas*.

Neste sentido, pode-se afirmar que os modelos de evolução da paisagem que vêm sendo propostos desde o final do século XIX, sofreram forte influência do *Uniformitarismo* de James Hutton e da *Teoria da Evolução* de Charles Darwin. Assim é que a Teoria do *Ciclo de Erosão* proposta por William Morris Davis em 1899, trazia em seu escopo uma percepção cíclica e evolutiva da paisagem, na qual os relevos, à semelhança de um ser vivo, passariam por estágios de *nascimento*, *juventude*, *maturidade* e *senilidade*, culminando no estágio final em uma feição de equilíbrio – o *Peneplano*.

De uma forma mais ampla, o modelo de Davis afirma que as paisagens evoluiriam por etapas ou ciclos. Quando as superfícies chegassem ao estágio senil, teriam atingido a condição de equilíbrio. Esta seria representada por uma feição aplainada (ou

[1] Universidade Federal Fluminense – Pólo Universitário de Campos dos Goytacazes (PUCG) Endereço: Rua José do Patrocínio, nº 71 (Centro), Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro (RJ), Brasil, CEP: 28010–385, Telefone: (55) (22) 2733-0319.

suavemente ondulada) que foi denominada *peneplano*. As únicas situações em que o equilíbrio poderia ser rompido ocorreriam quando o ambiente fosse submetido à ação de forças crustais, ou pela ocorrência de mudanças climáticas (King & Schumm, 1980). Neste particular, King (1953) considera que o peneplano seria *"uma superfície praticamente inatingível"*, posto que sua existência pressuponha um intervalo de tempo geológico demasiado extenso sem que haja nenhum tipo de movimentação crustal ou variabilidade climática, fatos estes não observados na natureza.

Não se pode afirmar, contudo, que suas idéias foram propriamente originais, visto que Davis utilizou em sua teoria não apenas observações pessoais, como a de outros estudiosos da paisagem, anteriores e contemporâneos. Seu trabalho teve uma forte repercussão que variou entre a extrema aceitação e a extrema crítica por parte da comunidade acadêmica. Porém, das críticas ao seu modelo surgiram praticamente todos os demais modelos seguintes, inclusive os que tiveram por base pressupostos anteriores ao modelo de Davis, como no caso do Equilíbrio Dinâmico, proposto por Gilbert em 1877, e retomada por Hack na década de 50.

Verifica-se também que alguns modelos prestigiaram mais significativamente a influência de condicionantes geológicos, enquanto outros tenderam a dar maior ênfase a atuação de condicionantes climáticos. Neste particular, pode-se dizer que poucas referências são feitas quanto à aplicabilidade dos referidos modelos à diversidade de características ambientais do planeta, principalmente aquelas relacionadas às variações de latitude. É possível que tal percepção seja uma resultante do até então escasso conhecimento à respeito da dinâmica dos trópicos, já que até meados do século XX o centro das discussões tenha se restringido às nações do hemisfério norte.

A partir da década de 50, o hemisfério sul passou a ser um dos principais focos de investigação, o que fez com que os ambientes tropicais passassem a ser mais bem compreendidos. Inicialmente muitos propuseram a aplicação dos modelos pré-existentes adaptados à realidade dos trópicos, e neste particular, os condicionantes climáticos passaram a ter grande destaque em detrimento dos demais. Dentro desta perspectiva, os pressupostos dos modelos aqui discutidos não se ajustam necessariamente aos ambientes tropicais, embora se perceba que a maioria deles proponha uma ampla aplicabilidade, na qual os processos envolvidos na evolução das paisagens seriam variáveis apenas em termos de intensidade e magnitude.

2. Pedimentos e Pediplanos: teoria e aplicações

2.1 – Bases Conceituais

Os modelos de *pedimentação* e *pediplanação* surgiram na década de 50, tendo como principal precursor Lester C. King, na época professor da Universidade de Natal na África do Sul. Após alguns anos de observações dos processos de esculturação das paisagens áridas e semi-áridas do continente africano, King propôs um modelo de evolução o qual acreditou ser aplicável a qualquer região do planeta. Após a Segunda Guerra Mundial, desenvolveu a idéia do ciclo semi-árido e da junção de pedimentos individuais para criar pediplanos (Tinkler, 1985). Sua maior contribuição teria sido a de extrapolar essa hipótese para as maiores superfícies aplainadas do mundo, argumentando que antes do desenvolvimento de turfa, a maior parte das terras superficiais teria se comportado como os pedimentos dos dias atuais. Ele conectou a gênese destes ciclos maiores aos episódios tectônicos de extensão mundial e a Teoria da Deriva Continental.

O escopo fundamental de sua teoria é apresentado no artigo publicado em 1953, denominado *"Canons of Landscape Evolution"* (Cânones de Evolução da Paisagem). Neste trabalho o autor afirma que a atuação de fluxos superficiais seria responsável pela intensa dissecação das encostas, os quais devido ao seu caráter turbulento proporcionariam o recuo paralelo dos perfis. Os materiais carreados pela erosão seriam depositados imediatamente à jusante, constituindo assim os *pedimentos*. Dentro desta percepção, o pedimento seria uma feição residual e de equilíbrio resultante do recuo paralelo das encostas. Transcendendo, porém a escala da encosta para uma escala de paisagem observar-se-ia a interconexão, ou coalescência dos pedimentos. A esta feição, King denominou *pediplano*. O autor destaca ainda que se poderia identificar um decréscimo na idade dos materiais de montante para jusante, na medida em que houvesse o recuo das encostas, ou seja, os materiais constituintes das escarpas seriam mais antigos, e os dos pedimentos progressivamente mais recentes. Em síntese, esta seria a idéia primordial do modelo. Cabe ressaltar, porém, alguns detalhes referentes ao trabalho exercido pela água ao longo do processo acima descrito.

A etapa inicial de estabelecimento de uma paisagem seria marcada pela ocorrência de soerguimentos crustais por tectonismo. No estágio seguinte dar-se-ia início aos processos de dissecação dos blocos de rocha soerguidos, pela atuação dos fluxos superficiais. Chuvas torrenciais seriam responsáveis pela formação de inúmeras ravinas pouco distanciadas entre si, as quais seriam responsáveis pelo recuo paralelo das encostas e, em consequência, pela formação de pedimentos à jusante. Uma vez

formados os pedimentos, o perfil da encosta entre a escarpa declivosa e o pedimento pouco declivoso, tornar-se-ia abrupto. Esta feição abrupta seria observável tanto em regiões áridas e semi-áridas quanto nas úmidas. O autor afirma ainda que, enquanto a água flui nas encostas declivosas concentradas em ravinas (fluxos lineares), o fluxo é turbulento e seu poder erosivo bastante elevado. Na medida em que as águas provenientes das escarpas alcançam os pedimentos, há a coalescência dos fluxos lineares. Estes, por sua vez, passam a ser laminares a partir de então, ocorrendo desse modo, um decréscimo considerável do seu potencial erosivo. Tal comportamento, no entanto, seria característico apenas das partes superiores do pedimentos. Nos demais segmentos haveria um fluxo misto, ou seja, parcialmente laminar e parcialmente linear.

O processo em questão seria característico de uma classe de chuvas particular a qual King denominou "chuvas moderadas". Para outras classes as diferenças se refeririam apenas à intensidade do trabalho erosivo dos fluxos lineares e laminares ao longo dos perfis de encosta. É interessante destacar que de acordo com a percepção do autor, as diferenças quanto à intensidade erosiva (na qual a água é a principal responsável, e cujo trabalho é dependente dos regimes climáticos), não implicariam em diferenças quanto às feições finais a serem alcançadas pelas superfícies de relevo. Adicionalmente, uma vez formados, os pedimentos poderiam ser considerados como feições superficiais relativamente estáveis, pois seriam *"a resposta natural à necessidade por uma rápida dispersão das águas das chuvas (...)"*, permitindo assim *"a disposição do volume máximo de água em um espaço de tempo mínimo, com um menor prejuízo em termos de erosão para a paisagem"* (King, 1953).

2.2 – Influências dos modelos de Davis e Penck

No mesmo artigo de 1953, antes de introduzir seu próprio modelo de evolução do relevo, King realizou uma longa discussão a respeito do Ciclo de Erosão proposto por Davis em 1899. Nesta apreciação, apesar dos muitos méritos atribuídos a Davis, o autor faz uma dura crítica ao modo como o *peneplano*, feição final de equilíbrio das paisagens, seria alcançado. Segundo a percepção de Davis, a atuação dos processos de lavagem superficial (wash) e rastejo (creep) seria responsável por uma diminuição progressiva da declividade, a qual resultaria em um aplainamento das superfícies. Tais superfícies (peneplanos) apresentariam uma feição levemente ondulada, caracterizada pela presença de perfis de encosta eminentemente convexos. Diante das observações de campo que fez na África, tais pressupostos pareceram inadmissíveis para King. Neste particular, o

autor afirma que o modelo proposto por Penck (1924)[2], seria o mais adequado a suas observações. De acordo com Penck, as encostas evoluiriam devido a um recuo paralelo da sua superfície (por erosão), ou seja, sem que houvesse diminuição da declividade, culminando ao final do processo, em um perfil côncavo.

King fez grande uso das idéias de Penck na elaboração de sua teoria. No entanto, não se pode afirmar que seu modelo não tenha sofrido nenhum tipo de influência das idéias Davisianas. Sua percepção à respeito dos processos responsáveis pela esculturação do relevo admite em essência a ciclicidade dos fenômenos, especialmente aqueles relacionados ao soerguimento das cadeias montanhosas, os quais seriam responsáveis pela constante renovação das paisagens.

2.3 – Pediplanação em Ambientes Tropicais

As idéias de King tiveram grande aceitação da comunidade acadêmica da época. A partir de então o autor teve importantes oportunidades de verificar a aplicação de seu modelo em outras regiões do planeta, inclusive de clima tropical. Em meados da década de 50, a convite do Conselho Nacional de Geografia (atual IBGE), King esteve no Brasil onde realizou um vasto trabalho de observações junto aos pesquisadores deste país. A área de abrangência das excursões de campo estendeu-se do vale do rio São Francisco (região Nordeste) até o Estado de São Paulo (região Sudeste), totalizando um milhão de quilômetros quadrados na faixa intermediária entre a costa e o interior (King, 1956).

O autor verificou nesta área uma sequência de escarpas montanhosas com altitudes progressivamente superiores em função da distância em relação à linha de costa. Cada um dos níveis de cristas apresentaria uniformidade altimétrica, a qual seria identificável pela presença de topos nivelados. Diante de tais observações, King interpreta a evolução do relevo da região visitada como resultante de uma sequência de ciclos de soerguimentos topográficos, intercalados com ciclos de erosão, os quais promoveriam a dissecação dos blocos de rocha então soerguidos. Nas palavras do autor,

> *"embora (...) o elemento fundamental do moderno cenário brasileiro seja uma vasta planície produzida por denudação entre o final do Cretáceo e o Terciário Médio, quando a mesma foi soerguida, a incisão policíclica posterior proporcionada pelos canais de drenagem vem esculpindo vales em quase todos os lugares da superfície,*

[2] Trata-se de uma obra publicada postumamente, datando a primeira edição de 1924. No entanto, a versão aqui utilizada é a de língua inglesa publicada em 1953, traduzida do original em alemão (vide referências bibliográficas).

reduzindo-a a uma escarpa dissecada ou localmente, nivelada a uma série de cristas com uma mesma altitude sobre as cadeias montanhosas" (King, 1956).

Dentro desta perspectiva, King pressupõe que a evolução das paisagens do Sudeste/Nordeste brasileiro teria ocorrido devido ao recuo paralelo das encostas. As sequências de escarpas estariam evoluindo da mesma forma que os *piedmonttreppen* descritos por Penck, ou seja, topografias iniciais seriam progressivamente reafeiçoadas por ciclos de erosão e recuos topográficos subsequentes.

Cabe destacar a grande relevância atribuída por King aos condicionantes geológicos em detrimento dos climáticos na esculturação do relevo, tal como Penck. Ele adéqua o modelo de evolução de paisagens observado em um ambiente de clima árido a semi-árido, caracterizado pelo predomínio de fluxos superficiais, a um ambiente tropical úmido cuja dinâmica subsuperficial (rasa e profunda) é reconhecidamente predominante. A crítica a este modelo veio logo em seguida com os trabalhos de Bigarella e colaboradores, com base em estudos realizados nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, porém ainda sem fazer referências às particularidades da hidrologia subsuperficial de tais ambientes.

2.4 – A contribuição dos pesquisadores brasileiros

João José Bigarella, ilustre geomorfólogo brasileiro, foi também um seguidor da Escola de Geomorfologia Climática. Justamente por aderir a esta linha de pensamento, tornou-se um grande crítico do modelo de King. Enquanto este concebe uma origem tectônica para as interrupções dos ciclos de aplainamento, Bigarella e colaboradores acreditam em uma ciclicidade baseada principalmente nas alternâncias climáticas entre o semi-árido e o úmido (Bigarella *et al.*, 1965b). Para eles, condições de climas secos teriam gerado as grandes superfícies aplainadas, os *Pediplanos*, e níveis embutidos nos vales, os *Pedimentos*. Os remanescentes desta antiga superfície de erosão (pedimento) seriam sequências de colinas cujos topos estariam distribuídos segundo diferentes níveis altimétricos. Os pedimentos são considerados como superfícies contemporâneas desenvolvidas em alvéolos, a altitudes bastante variadas. Estes, por sua vez, evoluiriam na dependência direta de *nickpoints* (níveis de base locais) mantidos pela rede de drenagem.

Os referidos autores afirmam ainda que os *nickpoints* apresentam materiais que se correlacionam em termos de idade. Isto vem a demonstrar que o aparecimento dos níveis mais recentes não teria necessariamente um caráter regressivo. Neste sentido, uma de suas principais discordâncias em relação ao modelo de King, seria a de que um

critério puramente altimétrico seria insuficiente para a datação e correlação entre os diferentes níveis de aplainamento. Em outras palavras, ao realizar as datações dos materiais constituintes dos depósitos, Bigarella não encontrou este gradiente cronológico de montante para jusante que havia sido proposto por Penck e posteriormente por King.

Quanto ao mecanismo de evolução das vertentes, Bigarella e Mousinho (1966) afirmam que o mesmo consistiria essencialmente em uma sutil interação entre profundas mudanças climáticas, variações dos níveis de base locais e deslocamentos crustais. As variações de nível de base são consideradas por Bigarella *et al.* (1965a) como resultantes diretas de variações climáticas. De acordo com os autores, o mesmo esquema básico de evolução da paisagem poderia ser encontrado no litoral, nas montanhas ou sobre os planaltos, ocorrendo sobre vastas áreas do território brasileiro. Este mecanismo teria expressão universal, tendo operado sincrônica e ciclicamente sobre vastas extensões da Terra.

Enquanto Bigarella deteve-se em estudos de macro escala, Maria Regina Mousinho de Meis, então pesquisadora da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e sua colaboradora, ao observar a intensa repetição de feições côncavas no compartimento colinoso (residual) da paisagem, interessou-se por realizar um estudo mais detalhado dos processos de sedimentação que lhe eram característicos, considerando que ali poderia estar a resposta aos processos de amplitude regional. Com base em investigações realizadas no médio vale do rio Doce e posteriormente no médio vale do rio Paraíba do Sul, Meis e colaboradores tiveram condições de reavaliar as propostas dos trabalhos anteriores, resultando mais adiante, em um modelo conceitual próprio de evolução. Seus trabalhos tinham por base uma abordagem histórica, fundamentada na análise dos registros morfológicos e estratigráficos do relevo (Coelho Netto, 1989).

Ao analisar os materiais constituintes dos depósitos contidos nas feições côncavas, também chamadas de *rampas* ou *hollows*, Meis e Monteiro (1979) afirmam que *"diversas fases de intensa atividade erosiva nos regolitos, por processos de lavagem e movimentos de massa, teriam sido responsáveis pela sua formação"*. Assim sendo, a *rampa* comportaria tanto feições erosivas quanto deposicionais.

Meis e colaboradores identificaram fases de agradação e degradação já no Período Quaternário (a partir do Pleistoceno), as quais, concordando com a proposta de Bigarella, corresponderiam à alternância de regimes climáticos úmidos e secos. Os períodos secos corresponderiam às fases de agradação, em virtude da disponibilidade de sedimentos do ambiente ser superior a capacidade de transporte pela água. Nestes

períodos a predominância de chuvas torrenciais proporcionaria movimentos de massa e erosão superficial por fluxos laminares, dando origem a espessos pacotes de alúvio-colúvio interdigitados. A intensa sedimentação seria responsável pelo aumento dos níveis de base, e logo, pelo "*afogamento"* das redes de drenagem e formação das rampas. A coalescência de rampas de uma determinada paisagem foi denominada por Meis de "Complexos de Rampas".

Quanto aos períodos úmidos, corresponderiam as fases de maior dissecação dos depósitos alúvio-coluvionares pela erosão linear, devido à maior disponibilidade de água no ambiente. Nestes, haveria o rebaixamento dos níveis de base, expondo assim, as sequências estratigráficas dos materiais depositados durante a fase anterior de agradação.

De acordo com esta percepção, as mudanças do nível de base estariam intrinsecamente relacionadas às mudanças climáticas. No entanto, conforme a própria Regina de Meis veio a demonstrar *à posteriori*, a simples progressão natural da erosão pode promover alterações dos níveis de base, não pressupondo necessariamente a ocorrência de oscilações climáticas. Tal afirmação resultou dos estudos que desenvolveu no médio vale do rio Paraíba do Sul (entre os Estados de São Paulo e Rio de Janeiro), os quais demonstraram que a erosão apesar de ser sincrônica, apresenta-se descontínua espacialmente.

3. A Teoria do Equilíbrio Dinâmico em Ambientes Tropicais

3.1 – Pressupostos da Teoria do Equilíbrio Dinâmico por G. K. Gilbert

O princípio do Equilíbrio Dinâmico quando utilizado para explicar feições de paisagens não corresponde propriamente a um modelo evolutivo que descreve as transformações do relevo ao longo do tempo. Na realidade, seu objetivo maior é demonstrar que os mecanismos que desencadeiam a esculturação das paisagens estão circunscritos aos princípios físicos de causa e efeito, ou de um sistema aberto, que pressupõe reajustes das feições da paisagem na medida em que há modificações nas trocas de energia entre esta e as forças que atuam sobre a mesma (endógenas e exógenas). Sob um ponto de vista mais amplo, uma vez que todos os condicionantes geo-bio-físicos do ambiente, assim como os processos que proporcionam a sua evolução (independente do modelo utilizado em sua explicação) encontram-se sob taxas constantes (equilibrados), as formas alcançadas pelas superfícies são mantidas estáveis, sem alterações significativas. Porém, uma vez que este equilíbrio é rompido, e neste sentido independe a origem da força propulsora (geológica, climática, etc.), tanto o

segmento diretamente atingido como todos os demais serão afetados, pois haverá uma propagação em cadeia dos efeitos deste rompimento. Considerando que todos os condicionantes do ambiente terão suas taxas de funcionamento alteradas em maior ou menor grau, verificar-se-á a partir de então, um reajuste de todo o sistema às novas condições vigentes.

Atualmente esta percepção de funcionamento dos ambientes é amplamente conhecida embora nem sempre seja incorporada na interpretação dos processos envolvidos nos estudos de caso. Tais ideias tornaram-se bastante difundidas a partir da década de sessenta, quando o escopo fundamental da Teoria Geral dos Sistemas foi sintetizado e publicado pelo biólogo Ludwig Von Bertalanffy.

No entanto, dentro do campo da Geomorfologia, antes que a abordagem sistêmica se tornasse usual e mesmo antes da apresentação de qualquer um dos modelos evolutivos, o princípio do equilíbrio dinâmico já havia sido reconhecido como efetivo regulador dos processos de evolução das encostas. No final do século XIX, Grove Karl Gilbert, um engenheiro do serviço geológico norte americano, publicou um trabalho intitulado *"Geology on the Henry Mountains"*, onde afirma que

> *"todo segmento de encosta é um membro de uma série, recebendo a água e os resíduos do segmento acima dela, e descarregando sua própria água e detritos sobre o segmento imediatamente inferior. Se um membro é erodido com rapidez excepcional, resultam duas situações: primeiro, o membro acima dele tem seu nível de descarga diminuído, tendo consequentemente, sua taxa de erosão aumentada; e segundo, o membro abaixo sendo bloqueado por uma carga de detritos excepcional, tem sua taxa de erosão diminuída. A aceleração acima e o retardamento abaixo, diminuem a declividade do membro no qual a perturbação originou-se; conforme a declividade é reduzida, a taxa de erosão é também diminuída"* (Gilbert, 1877, p.124).

O autor afirma ainda que os efeitos não terminam por aí pois,

> *"a perturbação que vem sendo transferida de um membro da série aos outros dois que estão junto a ele* (acima e abaixo)*, é por estes transmitida aos outros, e não cessa até que os confins da bacia de drenagem sejam alcançados. Em cada bacia todos os canais de drenagem se unem a um canal principal e dali para todos os tributários. E como qualquer um dos membros do sistema pode influenciar todos os outros, cada um destes membros é também influenciado por todos os demais. <u>Existe uma interdependência através do sistema</u>"* (Gilbert, 1877, p.124).

Por causa desta sua percepção visionária Gilbert é bastante aclamado hoje em dia pelos geomorfólogos, embora seu trabalho só tenha recebido o devido reconhecimento várias décadas após a sua morte. Para Tinkler (1985), o atrativo que Gilbert exerce sobre os pesquisadores modernos está em seu modo claro e preciso de tratar problemas complexos e seu uso do modelo de *steady state* (estado equilibrado), ou que *"as coisas têm sido sempre como são agora"*. Neste sentido, Gilbert é reconhecido atualmente como um dos maiores teóricos da Geomorfologia. Por não ter sido um acadêmico, não chegou a originar uma escola de pensamento. Outras ideias foram também expandidas por Gilbert, a exemplo do princípio da isostasia, e muitas destas foram inclusive incorporadas por Davis em seu *Ciclo Geográfico*. No entanto, os postulados do equilíbrio dinâmico permaneceram por muito tempo na obscuridade, sendo retomados muitas décadas após com os trabalhos desenvolvidos por John T. Hack.

3.2 – A retomada dos princípios do Equilíbrio Dinâmico – J. T. Hack

John Tilton Hack foi um dos fundadores da nova escola de Geomorfologia Fluvial. Em 1960 adotou os princípios do Equilíbrio Dinâmico como noção central de seus estudos, utilizando-os também como base de uma teoria geral de desenvolvimento das paisagens, na qual as formas encontradas seriam essencialmente independentes no tempo. Suas ideias foram especificamente aplicadas às paisagens Apalacheanas (Hack, 1975), nas quais as feições são mantidas durante a ocorrência de movimentos de massa e nunca desenvolvem o estágio final do ciclo Davisiano, o *peneplano*. Embora o peneplano tenha sido considerado por muitos como uma superfície inatingível (a exemplo de King, 1953), Hack (1975) observou que terrenos maduros e intensamente dissecados, tipicamente Davisianos eram encontrados em abundância, podendo consequentemente ser considerados como a paisagem normal. Variações espaciais nas formas das superfícies e nas encostas seriam respostas às diferentes litologias e às formas variáveis de intemperismo. Tinkler (1985) acrescenta que esta seria uma noção muito similar a descrição de Fenneman (1936) a respeito de um ciclo de erosão não-cíclico, embora o referido autor nunca tenha sido citado por Hack.

O artigo de Hack publicado em 1960 foi talvez um dos mais importantes de sua carreira. Neste ele apresenta claramente a sua proposta de um modelo acíclico de desenvolvimento, tendo a princípio grandes dificuldades de aceitação. Hack rejeitou terminantemente a ciclicidade evolutiva dos fenômenos ao considerar que o diastrofismo não seria periódico, mas contínuo ao longo do tempo, embora a forma e o local dos processos diastróficos tenha mudado continuamente. Como o próprio Hack admitiu, a

dificuldade maior em termos de aceitação teria sido a de que, embora a idéia de Equilíbrio Dinâmico soasse desconfortável no esquema Davisiano, dentro de seu modelo a persistência de uma topografia relíquia, não suavemente nivelada ao restante da paisagem, implicava que

> *"mudanças na topografia aconteceriam de acordo com mudanças nas condições de Equilíbrio Dinâmico"* de modo que se, por exemplo, *"as taxas relativas de erosão e soerguimento se modificassem (...) então o estado de balanço ou equilíbrio constante deveriam mudar. A topografia sofreria uma evolução de uma forma para outra"* e *"se, entretanto, movimentos diastróficos repentinos ocorressem, formas relíquias poderiam ser preservadas na topografia até que um novo estado de equilíbrio fosse alcançado"* (Hack, 1960).

Para os céticos isto pareceu uma mudança entre ciclos parciais no modelo de Davis, eles próprios induzidos por entradas exógenas de energia. Entretanto, Hack argumentou que no modelo de Davis, entradas exógenas fariam com que partes da paisagem estivessem fora do equilíbrio por períodos de tempo consideráveis, enquanto que no modelo de Equilíbrio Dinâmico todas as partes da paisagem estariam simultaneamente em equilíbrio, embora elas pudessem estar ajustando sua forma às novas condições. Esta firme posição assumida por Hack não se baseou em uma nova visão a respeito dos processos exógenos, mas sobre o conhecimento de que *"teorias cíclicas de origem das paisagens são parentes próximos da teoria do diastrofismo periódico"* (Hack, 1960).

4. A Teoria Probabilística da Evolução do Modelado

A Teoria Probabilística da Evolução do Modelado trata-se de uma tendência que também floresceu na década de 60 dentro da Geomorfologia Fluvial tendo, porém como principais representantes Luna Bergere Leopold e Walter B. Langbein. O escopo filosófico desta linha de pensamento encontra-se descrito no artigo de Leopold e Langbein publicado em 1962, denominado *"The Concept of Entropy in Landscape Evolution"* (O Conceito de Entropia na Evolução da Paisagem), embora antes disso Leopold já tivesse escrito diversos outros artigos tratando da mesma temática. O fundamento básico da Teoria Probabilística está no conceito de entropia, um princípio definido pelas leis da Termodinâmica, o qual descreve tanto as formas de distribuição da energia em um determinado sistema, quanto suas possíveis respostas a estas entradas de energia.

Considerando-o em termos do objeto de análise da Geomorfologia Fluvial, verifica-se que a bacia de drenagem é o sistema de referência no qual ocorre a

distribuição da energia. Neste sentido, a entropia é expressa em termos de probabilidade, ou seja, dos vários estados possivelmente alcançados pelo sistema em resposta às entradas e à distribuição da energia. Dentro desta perspectiva, Leopold & Langbein (1962) afirmam que a condição mais provável existe quando a energia contida em um sistema fluvial é tão uniformemente distribuída quanto poderia ser permitido pelas restrições físicas. De acordo com os autores, a partir destas considerações gerais, são modeladas equações para descrever os perfis longitudinais dos rios e estas são matematicamente comparáveis aquelas observadas em campo. Assim sendo, os perfis fluviais mais prováveis assemelhar-se-iam à condição na qual a taxa de produção de entropia por unidade de massa fosse constante.

No entanto, Leopold & Langbein (1962) admitem que equações hidráulicas são insuficientes para determinar a velocidade, profundidade, e inclinação dos rios os quais são eles próprios autores de suas geometrias hidráulicas. Por isso, uma solução se tornaria possível pela introdução do conceito de que a distribuição de energia tende em direção ao mais provável. Esta solução conduziria a uma definição teórica de que a geometria hidráulica dos canais de drenagem concordaria intimamente com observações de campo.

Esta concepção filosófica deu margem à diversas análises quantitativas dos fenômenos (especialmente os fluviais), o que tornou-a mais conhecida como *teorética* (theoretical) ou *quantitativa*. Tal vertente de estudos ganhou grande expressão após a Segunda Guerra Mundial tanto na Geomorfologia, como também nos outros campos da ciência, em virtude das necessidades geopolíticas impostas pela Guerra Fria. Quantificar os fenômenos sociais e/ou naturais, assim como os recursos de uso comum tornou-se uma forma de ter garantido o controle sobre estes e sobre as populações.

Para a Geomorfologia, no entanto, a abordagem teorética teve dois principais méritos: o primeiro refere-se à quantificação propriamente dita das informações, já que os modelos evolutivos até então conhecidos eram teóricos, sem nenhuma base de dados adquiridos diretamente no local de ocorrência dos fenômenos; o segundo seria o uso da ferramenta estatística na análise dos dados, possibilitando questionamentos quanto à representatividade dos processos estudados. Isto fez com que a partir de então tanto os levantamentos de campo, quanto a definição da amplitude da amostragem se tornassem partes fundamentais da metodologia dos estudos de caso.

Tinkler (1985), porém, faz uma crítica contundente a esta abordagem. Baseando-se no artigo publicado por Leopold e Maddock em 1953, *"The hydraulic geometry of stream channels and some physiographic implications"* (A geometria hidráulica dos canais

de drenagem e algumas implicações fisiográficas), ele afirma que, apesar de os mesmos estabelecerem ali a metodologia da nova Geomorfologia Fluvial, tanto este, quanto os demais artigos publicados ao longo dos quinze anos seguintes, falharam em resolver qualquer um dos problemas fundamentais concernentes à Geomorfologia Regional e Cíclica. Isto teria acontecido essencialmente pelo fato de as escalas temporais de atuação dos respectivos campos de estudo serem muito diferentes: enquanto uma é sensível a oscilações diárias nas taxas dos fluxos e emprega registros históricos que raramente ultrapassam algumas centenas de anos, a outra lida com períodos de milhares a milhões de anos. Em outras palavras, apesar de a metodologia ora utilizada ter tido o mérito de introduzir a quantificação aos estudos de evolução das paisagens, teve também a limitação de não oferecer os meios para que as escalas temporais de atuação dos fenômenos que lhe eram característicos fossem respeitadas.

Embora o uso desta concepção metodológica tenha sido introduzido pela escola fluvial, o mesmo foi expandido para os outros campos da Geomorfologia e afins. Esta tendência é claramente demonstrada na obra de Adrian E. Scheidegger, *"Theoretical Geomorphology"* (Geomorfologia Teorética), publicada em 1970. Para Tinkler (1985), embora este tenha sido um trabalho explícito de Geomorfologia Teorética, sua aceitação foi tímida. As razões provavelmente estão no uso de conhecimentos de matemática excessivamente profunda (para a média dos geomorfólogos), e por outro lado, na utilização de abordagens ecléticas para superfícies de relevo individuais, muitas das quais escolhidas aparentemente por sua susceptibilidade ao tratamento analítico. Para o autor, tratar-se-ia mais de uma teoria das formas que da Geomorfologia propriamente, e esta não ofereceria nenhuma síntese disciplinar. Para Christofoletti (1980), o fato de ter omitido qualquer fato localizado fez com que esta obra não tivesse sido devidamente reconhecida. O autor afirma ainda que a obra de Scheidegger propiciaria grandes possibilidades para o avanço teórico da Geomorfologia, através de uma abertura ampla, cuja perspectiva colocar-se-ia na mesma posição em que a geometria se encontra face ao estudo das formas, e da cibernética, frente ao estudo das máquinas.

No Brasil, esta abordagem metodológica em Geomorfologia foi amplamente difundida justamente por Antônio Christofoletti, a partir da década de setenta. Como professor da UNESP (Universidade Estadual de São Paulo/Campus Rio Claro), Christofoletti deu início a uma verdadeira escola de geomorfólogos dentro desta linha filosófica, especialmente no que se refere à dinâmica fluvial. Publicou diversas obras, dentre livros e artigos, além de ter sido membro do corpo editorial e redatorial do periódico *Boletim de Geografia Teorética* (Mendes, 2000). Além de ter devotado grande parte de

seu trabalho a análises de cunho territorial, pode-se dizer que o mesmo foi um grande divulgador dos métodos de mensuração em bacias de drenagem, especialmente no que se refere ao uso de parâmetros morfométricos.

5. Considerações Finais

Após esta breve revisão dos principais modelos que nortearam a Geomorfologia desde o início do século XX, quando a mesma instituiu-se como uma disciplina acadêmica possuindo objeto próprio, verifica-se que esta passou por grandes e importantes transformações ao longo do tempo. As teorias de evolução da paisagem que surgiram desde o final do século XIX, apesar de possuírem um corpo teórico e metodológico próprio, refletiram também cada uma delas, as tendências filosóficas e políticas de uma época, tanto no âmbito das ciências, quanto no das relações de poder então vigentes.

Pode-se dizer também que, tendo cada uma das percepções teórico-conceituais prestigiado mais um determinado aspecto de algum fenômeno ou processo, cada uma delas ofereceu importantes contribuições e nenhuma pode ser considerada preponderante. Todas de certa forma estão presentes direta ou indiretamente, em maior ou menor proporção, nos trabalhos que são realizados na atualidade.

6. Referências Bibliográficas

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. & SILVA, J. X. Considerações a respeito da evolução das vertentes. *Boletim Paranaense de Geografia*, **16** e **17**: 85–116, 1965a.

BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R. & SILVA, J. X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. *Boletim Paranaense de Geografia*, **16** e **17**: 117–151, 1965b.

BIGARELLA, J. J. & MOUSINHO. Slope development in southeastern and southern Brazil. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, **2**: 150–160, 1966.

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. 2ª ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher Ltda. 1980, 188p.

COELHO NETTO, A. L. 1989. Geomorfologia do Planalto Sudeste Brasileiro: a contribuição de Maria Regina Mousinho de Meis. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 3. Porto Alegre. 1989. *bol. resumos...* Porto Alegre. p. 169–181.

GILBERT, G. K. Report on the geology of Henry mountains. *U.S. Geog. & Geol. Survey of the Rocky Mountain Region*. Department of the Interior. Washington. 1877, 151p.

HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *American Journal of Science*, 258 A: 80–97, 1960.

HACK, J. T. Dynamic Equilibrium and Landscape Evolution. In: MELHORN, W. N. & FLEMAL, R. C. (eds). Theories of Landform Development. 1st ed. New York: Allen & Unwin. 1975, p.87–102.

KING, L. C. Canons of Landscape Evolution. *Bulletin of Geological Society of America*, **64**: 721–752, 1953.

KING, L. C. A Geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, **18**(2): 147–265, 1956.

KING, P. B. & SCHUMM, S. A. (ed). The Physical Geography (Geomorphology) of William Morris Davis. 1st ed. Norwich: Geo Books. 1980.

LEOPOLD, L. B. & LANGBEIN, W. B. The Concept of Entropy in Landscape Evolution. *U. S. Geological Survey Professional Paper*, **500 A**. 1962, 20p.

MEIS, M. R. M. & MONTEIRO, A. M. F. Upper Quaternary Rampas, Doce River Valley, Southeastern Brazilian Plateau. *Zeitschrisft fur Geomorph.*, **23** (2): 132–151, 1979.

MENDES, I. A. Antônio Christofoletti (biografia). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **1**(1): 103–104, 2000.

PENCK, W. Morphological Analysis of Land Forms – a contribution to Physical Geology. 1st ed. New York: Hafner Publishing Company–INC, 1953, 429p.

SCHEIDEGGER, A. E. Theoretical Geomorphology. 2nd ed. New York: Springer–Verlag, (revised). 1970, 435p.

TINKLER, K. J. A Short History of Geomorphology. 1st ed. Sydney: Croom Helm Ltd. 1985. 317p.