

Considerações a Respeito da Evolução das Vertentesⁱ

Considerations Regarding Hillslope Evolution

João José Bigarellaⁱⁱ

Universidade do Paraná
Curitiba, Brasil

Maria Regina Mousinhoⁱⁱⁱ

Conselho Nacional de Geografia
Rio de Janeiro, Brasil

Jorge Xavier da Silva^{iv}

Universidade do Brasil
Rio de Janeiro, Brasil

Resumo: Neste artigo, discutimos a nova interpretação da morfologia das áreas tropicais e subtropicais da parte oriental do Brasil. A evolução da encosta é considerada principalmente como consequência das mudanças climáticas pleistocênicas. Durante épocas de clima úmido (estágios interglaciais) a paisagem foi dissecada. Nessa época, o declive evoluía por meio de profunda decomposição química e desnudação e, principalmente, por movimento gravitacional de massa. Durante períodos de semiaridez, correlacionados com as glaciações pleistocênicas, a paisagem foi desenvolvida por morfogênese mecânica, degradação lateral e recuo paralelo das encostas por processos de pedimentação. A ciclicidade das mudanças climáticas ocasionou o aparecimento cíclico de formas degradacionais e de agressão características de cada um dos tipos climáticos. O levantamento crustal desempenhou um papel secundário no desenvolvimento das formas cíclicas. Essas feições originaram-se simultaneamente nos segmentos mais elevados do sistema de drenagem. Seriam essencialmente o resultado de dois fatores: mudanças climáticas e variações do nível de base local em diferentes segmentos elevados do sistema de drenagem. Deste modo é explicada a origem dos pediplanos e seus depósitos correlativos desenvolvidos durante condições climáticas semiáridas. As formas e depósitos deste tipo são recorrentes em toda a paisagem, estando mais bem preservados do que as feições desenvolvidas em condições climáticas úmidas. Estes últimos são responsáveis pela sucessão dos níveis erosivos e pela dissecação da paisagem.

Palavras-chave: Nível de Base; Pediplanos; Pedimentos; Evolução da Paisagem.

ⁱ Trabalho publicado originalmente no *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 16/17, em julho de 1965, p. 85-116. Sendo a pesquisa realizada sob os auspícios da Universidade do Paraná e do Conselho Nacional de Pesquisas.

ⁱⁱ Professor do Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra (*in memoriam*).

ⁱⁱⁱ Professora do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências (*in memoriam*).

^{iv} Professor do Departamento de Geografia, Instituto de Geociências (*in memoriam*).

Abstract: In this paper is discussed a new interpretation of the morphology of the tropical and subtropical areas of the oriental part of Brazil. The slope evolution is considered as being primarily the consequence of pleistocenic climatic changes. During epochs of humid climate (interglacial stages), the landscape was dissected. At this time the slope evolved through deep chemical decomposition and denudation achieved mainly by mass movement. During the semiarid epoch, correlated with the pleistocenic glaciations, the landscape was developed by mechanical morphogenesis, lateral degradation and parallel retreat of the slopes through pedimentation processes. The cyclicity of the climatic changes caused the cyclic appearance of degradational and aggradation al forms characteristic of each one of the climatic types. Uplift played a secondary role in the development of the cyclic forms. These features were originated simultaneously in the most variable elevations along the drainage system. They would be essentially the result of two factors: climatic changes and the recurrence of the local base level at different elevations inside the drainage system this way is explained the origin of the pediplanes, pediments and their correlative deposits developed during semiarid climatic conditions. Forms and deposits of this type are conspicuous all over the landscape, being better preserved than the features developed during humid climatic conditions. The last ones are responsible for the succession of erosional levels and for the dissection of the landscape.

Keywords: Knickpoints; Pediplanes; Pediments; Landscape Evolution.

Introdução

A análise da morfologia das encostas é um poderoso instrumento para o reconhecimento da sequência de eventos operantes no desenvolvimento da paisagem. Pelo estudo das várias formas e seus depósitos correlativos é possível deduzir quais as condições ambientais prevaletentes durante sua elaboração e também concluir, até certo ponto, sobre os processos atuantes no referido desenvolvimento.

O mecanismo da evolução das vertentes consiste essencialmente em uma sutil interação entre profundas mudanças climáticas, variações dos níveis de base locais e deslocamentos crustais. O mesmo esquema básico de evolução da paisagem tem sido encontrado no litoral, nas montanhas ou sobre os planaltos, ocorrendo sobre vastas áreas do território brasileiro. Na realidade, este mecanismo parece ser universal. A operação deste conjunto de condições modeladoras da paisagem parece ter sido sincrônica e ciclicamente repetida sobre vastas extensões da Terra. Um breve resumo sobre a interpretação do desenvolvimento de vertentes no sul e sudeste do Brasil foi apresentado por Bigarella e Mousinho (1965).

Várias formas de vertentes têm sido usadas pelos geomorfólogos para estabelecer cronologias locais que podem ter também um grande valor na explicação da morfologia de vastas áreas. Bigarella e Ab'Sáber (1964) usaram remanescentes de pedimentos para estabelecer correlações entre formações sedimentares encontradas no sul e no nordeste do Brasil. Bigarella e Andrade (1965), tentativamente, correlacionaram os pedimentos do Brasil com os das Montanhas Rochosas, os quais foram datados por Scott (1960).

Uma vez provada a importância das mudanças climáticas cíclicas como um fator controlador da evolução da paisagem, ter-se-ia os elementos fundamentais para a interpretação e datação das diferentes formas de relevo. Este é um dos objetivos do presente trabalho.

A importância fundamental do problema da evolução das vertentes tem sido extensivamente reconhecida pelos geomorfólogos. Parece que as diferenças básicas de opinião entre os pesquisadores do assunto estão relacionadas com a morfologia das vertentes e a importância do clima como fator de relevância na evolução da paisagem.

Pontos de Vista Geomorfológicos

Davis, em seus primeiros trabalhos, atribuiu pequena importância aos processos que operam no desenvolvimento das encostas. Para ele o manto de intemperismo migraria pela ação da gravidade vertente abaixo, sendo então removido pelo rio como parte de sua carga. Ainda de acordo com Davis existe uma série de estágios entre o momento em que a capacidade de transporte do rio excede o suprimento de detritos oriundos das encostas (estágio de juventude – erosão linear), até o momento em que a quantidade de material fornecido é superior à capacidade de transporte fluvial (senilidade). Davis (1932:408) acredita que o recuo das encostas seria seguido por uma diminuição de sua declividade. Independentemente de suas formas originais, desenvolver-se-ia no topo um perfil convexo enquanto que na base originar-se-ia uma concavidade. Uma meteorização mais pronunciada ocorre na parte superior da encosta. Os detritos mais grosseiros formados na parte mais inclinada da encosta são removidos pelo escoamento das águas pluviais ou pelo *creep*, dependendo do seu grau de inclinação. Os detritos diminuem de textura à medida em que se movem para jusante. Eles, cada vez mais finos, podem ser transportados sobre encostas de pequena inclinação por processos de *creep* ou de escoamento superficial. Através deste processo, o topo da encosta passa por um estágio em que o raio de sua curvatura aumenta, enquanto que a concavidade basal amplia-se às expensas do recuo da encosta.

A principal diferença entre a evolução de uma encosta em clima úmido ou árido reside, de acordo com Davis, em que, no clima úmido, seu ângulo sofreria diminuição com o desenvolvimento do ciclo, enquanto no clima árido a vertente preservaria sua inclinação original.

Para a evolução das vertentes em clima árido Davis aceita as ideias de Lawson (1915). Comparando os ciclos úmido e árido aquele autor menciona que os diversos processos erosivos, sob ambos os climas, diferem em grau e modo de atuação e não em natureza. Assim sendo, as formas difeririam pelo grau em que são formados seus elementos (concavidade e convexidade) e não em seus elementos essenciais.

À medida que o ciclo úmido evolui, com o decréscimo da textura dos detritos e diminuição da declividade, a encosta tornar-se-á recoberta por um manto de intemperismo, que aumenta de espessura e ao mesmo tempo protege a rocha contra posterior meteorização. No estágio de senilidade a paisagem torna-se suavizada, o material proveniente das encostas fica cada vez mais fino e os declives das mesmas apresentam-se extremamente fracos. Os rios passariam a meandrar sobre uma superfície quase plana (peneplano). A

interrupção de um ciclo, e o começo de um novo ciclo, causaria um relevo policíclico no qual ocorreria repetição de formas de relevo a diferentes altitudes. As interrupções de ciclos estariam relacionadas com variações do nível de base e mudanças climáticas.

Os conceitos de Davis foram de grande valor para uma primeira apreciação das paisagens. Entretanto, como veremos adiante, o estudo da subestrutura das formas de relevo não confirma muitas de suas ideias.

De acordo com W. Penck (1953), a evolução das vertentes é um processo diferencial que se realiza através da interação de dois fatores agindo em conjunto: levantamento crustal e denudação. De acordo com este autor, durante o processo de evolução das encostas várias situações podem ser encontradas: a) desenvolvimento convexo (*waxing development*), quando o levantamento se opera mais rapidamente que a denudação (perfis convexos); b) desenvolvimento estacionário (*stationary development*), quando o levantamento se dá na mesma velocidade que a denudação (recoo paralelo e retilíneo das encostas); c) desenvolvimento côncavo (*waning development*), no qual a denudação é mais rápida que o levantamento (perfis côncavos) – Figura 1.

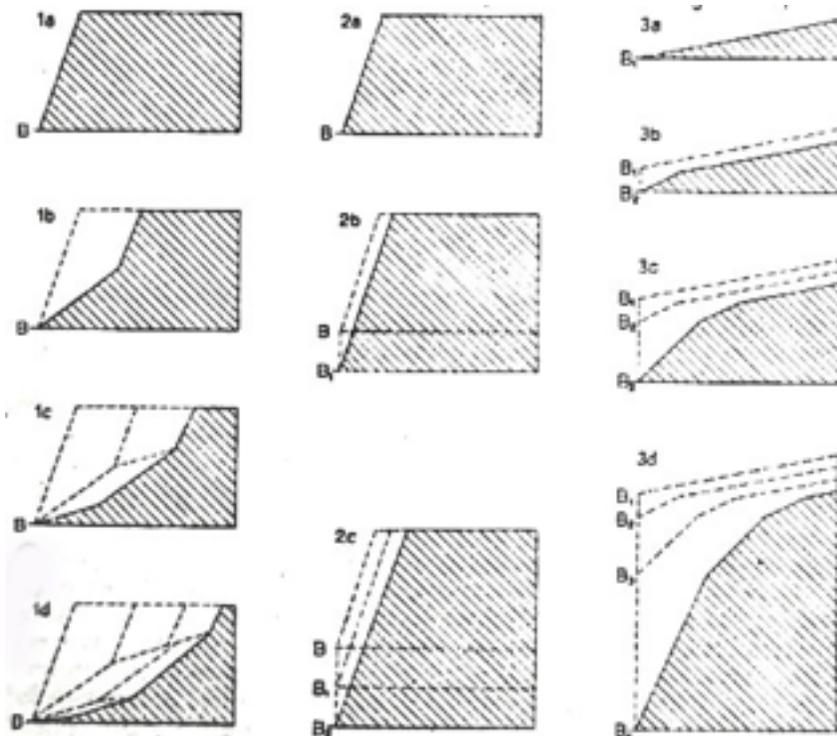


Figura 1 – Formação das vertentes côncavas (*waning development*) – 1a a 1d – retilíneas (*uniform* ou *stationary development*) – 2a a 2c – e convexas (*waxing development*) – 3a a 3d –, de acordo W. Penck.

Ao apreciar a hipótese de Penck deve-se considerar que: a) em rochas sãs e homogêneas, em uma unidade de tempo, se formaria na encosta uma camada de detritos alterados de constante espessura; b) o tempo requerido para a redução do material aumenta em progressão geométrica na medida em que os detritos diminuem em talhe; c) de acordo com a inclinação da encosta a remoção do material alterado requer uma menor ou maior diminuição da textura (declividades suaves correspondem a uma granulação fina); d) a remoção do material é feita pelo deslocamento de sucessivas camadas do manto de alteração, com exceção da porção mais inferior da encosta, a qual tem estabilidade causada pela ausência de declive.

De acordo com as ideias de Penck, considerando um nível de base fixo, se originará pelo recuo de uma vertente uma superfície de inclinação menor que a da encosta original (*haldenhang*). Com a redução da textura dos detritos, denudação e desenvolvimento de *haldenhangs* cada vez menos íngremes, a vertente adquirirá um perfil côncavo (*waning development*).

Se ocorre um rebaixamento ou deslocamento lateral uniforme do nível de base da vertente a declividade da encosta adquire um valor estacionário, resultante do equilíbrio entre a intensidade de denudação e o deslocamento do nível de base (perfil retilíneo). Se o rebaixamento do nível de base é mais rápido que a denudação, a parte inferior da encosta passa a apresentar declividades progressivamente mais acentuadas. A encosta recua muito rapidamente com a formação de um perfil convexo. Uma mesma vertente pode apresentar vestígios destes diferentes tipos de desenvolvimento, os quais combinados originam os mais variados perfis de encostas.

Entretanto, referindo que todos os processos de denudação dependem da ação da gravidade, conclui que as formas de denudação deviam ser as mesmas para áreas submetidas a diferentes climas. Supondo condições endogenéticas iguais, os processos similares de denudação vão agir em grau diferente de acordo com o tipo climático (PENCK, 1953: 119-120).

Ao considerar o efeito específico de mudanças no clima, Penck (1953: 120) assinala que, com o desaparecimento da vegetação, vertentes com uma inclinação crítica podem tornar-se precipícios em rocha sã dos quais pequenas partículas individuais se despreendem e vão juntar-se abaixo do tálus ou, por outro lado, encostas íngremes, quando colonizadas por vegetação, podem ser locais onde se operam movimentos de massa. Entretanto, esta mudança não altera a inclinação da vertente, que continua a evoluir pela redução dos detritos e denudação.

Acreditamos, contudo, que as mudanças climáticas não atuam somente sobre a redução dos detritos e denudação das vertentes como também provocam um deslocamento do nível de base. Variando este, teríamos o desenvolvimento de nova forma independente da ação endogenética.

Penck teve o mérito de ter chamado a atenção para as vertentes como unidades básicas através das quais se faz a evolução da paisagem.

Assim como Davis, entretanto, Penck elaborou um esquema por demais dedutivo e extremamente teórico, de aplicação difícil dentro da complexidade que apresenta a realidade prática.

Entretanto, mesmo dentro do plano estritamente teórico, não podemos aceitar algumas das ideias fundamentais de Penck. Suponhamos, por exemplo, o desenvolvimento do perfil côncavo (*waning development*) de uma vertente íngreme, ligada a um nível de base fixo (curso d'água). Na primeira unidade de tempo, a vertente sofre alteração e fornece, pela ação da gravidade, detritos de um certo calibre, tendo o curso d'água (nível de base local) descarga e gradiente suficiente apenas para removê-la.

Na segunda unidade de tempo, com o recuo da vertente original formar-se-ia, segundo Penck, um primeiro *haldenhang*, de inclinação menor que a da vertente original e que forneceria portanto detritos de calibre inferior. O curso d'água para continuar um equilíbrio com a nova carga teria necessidade de: a) ter diminuída a sua descarga, ou b) estabelecer um gradiente inferior ao inicial. No segundo caso o curso d'água seria obrigado a erodir o ponto imediatamente a montante e depositar naquele imediatamente a jusante do local onde a encosta teria possibilitada a continuação do desenvolvimento do perfil côncavo. Esta hipótese não teria nenhum sentido prático dentro da paisagem. O primeiro caso levaria a supor uma alteração climática. O próprio Penck, entretanto, afirma que mudando-se as condições climáticas mudar-se-ia igualmente o grau de denudação da vertente, variando a intensidade da ação dos agentes de denudação. Porém, variando o grau de denudação da encosta e, obviamente, o grau de fornecimento de detritos, ocorrerá novo desequilíbrio entre a carga a ser transportada e a descarga do curso d'água. Este, portanto, não poderá manter o seu nível de base fixo e, desta forma, será interrompido o desenvolvimento do perfil côncavo da vertente, tal como o idealiza Penck.

King (1953; 1957) considera que os condicionantes físicos da evolução da paisagem são os mesmos sob todos os climas. Para ele, as influências das mudanças climáticas como fatores atuantes no modelado fora das áreas submetidas a climas glaciais, periglaciais e extremamente áridos, não afetam o esquema fundamental da evolução das vertentes. Uma encosta ideal, segundo o citado autor, teria de cima para baixo uma seção convexa (*waxing slope*), uma face livre (*free face*), uma seção detrítica (*debris slope*) e um pedimento (Figura 2). Encostas com um perfil atrofiado, nas quais faltam alguns dos elementos básicos citados, poderiam ocorrer em virtude de: a) predominância de um ou alguns dos diferentes processos geomórficos; b) diferenças litológicas; c) espaçamento da rede de drenagem entre outras variáveis (KING, 1957:88). Os vários processos relativos ao escoamento das águas correntes e aos movimentos de massa são controlados por leis físicas específicas. Quando as encostas alcançam um estágio de equilíbrio passam a recuar com inclinação constante. Este recuo paralelo das encostas depende das forças que atuam diretamente sobre elas. Apenas quando um rio entalha profundamente ou desloca-se lateralmente as encostas adjacentes têm sua evolução por ele controlada.

Encontrando semelhanças nas formas de relevo de diferentes regiões climáticas, King (1957: 99-100) afirma que o clima tem pouca influência no desenvolvimento das encostas. Admite, entretanto, exceções onde ocorre um desenvolvimento anormal: regiões glaciais e periglaciais ou nas áreas desérticas em que predominam as ações eólicas.



Figura 2 – Elementos básicos das vertentes de acordo com L. C. King.

King (1953:742) considera como fenômenos normais os processos, forma do modelado e evolução da paisagem que ocorrem nas regiões semiáridas. A importância do desenvolvimento da paisagem sob condições semiáridas ainda é atestada, segundo King (1953: 741), pelo fato de que a grande maioria dos sedimentos continentais, desde um remoto passado geológico, revelam condições de deposição características de ambiente árido e semiárido.

Nossa objeção básica a King liga-se ao fato de acreditarmos que aos diferentes tipos de climas corresponde dominância de condições morfogenéticas particulares agindo sobre as vertentes. Apesar dos processos obedecerem a leis físicas específicas, têm sua intensidade e eficiência subordinadas a condições climáticas locais. A morfologia das vertentes tenderá, desta forma, a espelhar intensamente tais variações no complexo dos processos nelas atuantes.

King considera que pediplanos, pedimentos e *inselbergs* distribuídos por extensas áreas de diferentes latitudes são formas ainda em evolução atualmente, malgrado a diversidade das condições climáticas locais. Baseando-nos na farta documentação existente acerca da grande instabilidade climática que caracterizou principalmente o Quaternário em toda a superfície terrestre, consideramos aquelas formas, na sua maioria, como paleoformas. Tratam-se de remanescentes, muitas vezes dissecados e herdados de paleoclimas com predominância de morfogênese mecânica e erosão em lençol.

Como consequência do exposto acima, apesar das formas e depósitos originários de condições de semiaridez serem os mais preservados na paisagem, não nos parece válido considerar a evolução semiárida como normal para o modelado. Na realidade, não existe normalidade no desenvolvimento das vertentes, tendo elas, em cada região climática, características próprias e definidas. Chegamos mesmo a colocar em dúvida que os processos semiáridos sejam os mais eficientes na elaboração do modelado. Nossas experiências no sul e sudeste do Brasil têm demonstrado que as flutuações climáticas têm tido importância capital na aceleração dos processos de desenvolvimento da paisagem e de recuo das vertentes.

De acordo com Baulig (1940), as encostas cobertas de material detrítico teriam duas seções, que evoluiriam distintamente: a seção convexa superior e a seção côncava inferior.

Na seção convexa superior, os detritos sofrem pequeno transporte, pouca redução na sua textura, conservando-se mais permeáveis. O transporte é feito essencialmente por *creep* interessando toda espessura do solo. O escoamento superficial é reduzido.

Na seção inferior côncava da encosta os depósitos quimicamente alterados tornam-se mais impermeáveis. Predomina o transporte por escoamento superficial concentrado. Este é capaz de manter seu perfil de equilíbrio côncavo, transportando os detritos fornecidos pela meteorização das rochas *in situ*, mesmo quando as encostas são de pequena declividade. O regolito conserva uma espessura constante, apesar da diminuição progressiva da declividade.

Baulig afirma que, quando o ciclo de erosão é jovem, a seção côncava é muito pouco desenvolvida relativamente à seção convexa. Deve-se isto ao fato de que as inclinações ainda são fortes e os detritos grosseiros e permeáveis. Com o desenvolvimento do ciclo ocorre uma diminuição da declividade, sendo os detritos transportados mais lentamente e, portanto, de mais fácil ataque pela decomposição química. Consequentemente os solos impermeáveis e a seção côncava progridem em direção à parte superior da encosta.

O esquema de Baulig foi elaborado para a explicação das vertentes côncavo-convexas características das latitudes médias. Entretanto, mesmo para aquelas regiões, não parece corresponder à realidade. As intensas mudanças climáticas sofridas por aquelas áreas durante o Quaternário fizeram com que suas vertentes representassem o resultado da ação de uma série de processos (entre eles a solifluxão periglacial). Por outro lado, Cailleux (1948), demonstrou a ineficiência do escoamento superficial no transporte dos detritos nas áreas das latitudes médias que mantêm a sua vegetação original florestal.

Nas regiões tropicais e subtropicais as formas visualizadas por Baulig são praticamente inexistentes, não havendo as condições enumeradas pelo autor como indispensáveis para a concretização do seu esquema.

Berot (1959:173) considera que a diminuição dos declives médios das vertentes com o correr do ciclo de erosão em rocha homogênea é consequência do fato de que, depois de um estágio inicial, a usura das vertentes se faz mais rapidamente do que o aprofundamento dos talwegues. Para Berot, o início do ciclo corresponderia a um basculamento, o qual provocaria forte entalhamento pela drenagem e formação de vertente geralmente convexa, que recua por gravidade (*éboulis à sec* e desmoronamentos). Entretanto, aumentando a carga do curso d'água e diminuindo o seu gradiente, o rio chega a um primeiro equilíbrio. Terminaria aí a fase de juventude. Interrompendo-se a erosão linear dos rios as vertentes continuam a se desgastar; sua base toma um perfil côncavo, conservando um declive que torne capaz a evacuação dos detritos da parte superior (*glacis* de Richter, com 30°-40°). A parte superior continua recuando paralelamente a si mesma com exceção do topo que se limita com o planalto. O *glacis* tende a se desenvolver progressivamente às expensas da parte superior. Com o desenvolvimento do *glacis* de Richter a mobilidade dos detritos passa a ser inversamente

proporcional à sua textura pois predominam agentes lentos de transporte nas vertentes (solifluxão, *creep*, escoamento superficial) os quais são efetivos até nos declives mais suaves. Acelera-se a decomposição dos blocos e pode aparecer uma cobertura vegetal contínua. Desta forma diminui a carga que chega aos rios, os quais conseguem mais uma vez aprofundar os seus leitos. Encaixando-se, os rios provocam a repetição da sequência dos eventos já descritos.

Ainda de acordo com Birot, a partir do momento em que passa a predominar o transporte lento nas vertentes, os seus perfis dependem do equilíbrio que se realiza entre a meteorização das rochas e o transporte dos detritos nas vertentes (função das condições climáticas). Sob climas úmidos cria-se o equilíbrio pelo aparecimento de uma convexidade na parte superior da encosta, a qual mantém uma cobertura uniforme de detritos. Na parte inferior da mesma há um aumento do teor em água do solo e uma mobilidade crescente dos detritos devido à sua textura fina, o que os torna suscetíveis de serem removidos por qualquer agente de transporte lento, criando-se o perfil côncavo.

Com a diminuição gradual da declividade média das vertentes no decorrer do ciclo, o solo se satura mais rapidamente e a mobilidade dos detritos diminui, migrando para o alto o ponto de inflexão entre a parte côncava e a convexa. Na senilidade as vertentes tendem ao aplainamento, predominando o transporte em solução.

As vertentes de Richter típicas encontram-se no periglacial. Nos climas áridos, mesmo os declives mais suaves não possuem cobertura vegetal que impeça os agentes de transporte de predomínio sobre a meteorização das rochas. As vertentes de Richter são substituídas por vertentes menos inclinadas, cujo declive é determinado pela competência do escoamento superficial. Também a existência de *knickpoints* junto aos relevos residuais é explicada pela ausência de solifluxão. No ciclo árido os elementos de vertentes de Richter formam testemunhos isolados que preservam os seus declives até o fim do ciclo.

O ciclo de evolução das vertentes apresentado por Birot seria um ciclo ideal cujo desenvolvimento não tivesse sido afetado por mudanças climáticas profundas. Sabemos que tal estabilidade climática não tem ocorrido, principalmente no Pleistoceno. Diferentes condições climáticas têm alternado nos últimos tempos geológicos e fizeram não somente variar a descarga dos cursos d'água, mas também alteraram as relações entre os processos de meteorização e denudação das encostas. Foram, portanto, básicas para a dinâmica fluvial.

Birot distingue condições morfogênicas diferentes dentro de uma visão espacial, mas considera na sua teoria estas condições estáticas no tempo. As variações da natureza e intensidade dos processos atuantes nas vertentes que o autor ligou principalmente às condições topográficas, isto é, aos ângulos de inclinação das encostas, podem ser adequadamente associadas também a diferentes tipos de climas que atuaram naquelas áreas. No presente trabalho procuraremos fazer uma distinção mais nítida entre as formas resultantes diretas dos processos que agem atualmente sobre as vertentes e as paleoformas cuja elaboração liga-se a paleoclimas definidos, apesar de terem sido muitas vezes mascaradas durante crises climáticas mais recentes.

De acordo com Lehmann, citado por Scheidegger (1961: 88), a denudação numa rocha homogênea, atuando com igual intensidade em todos os pontos da encosta, causaria um recuo paralelo da vertente. Se ela fosse retilínea ocorreria um recuo paralelo retilíneo. Os detritos originados por esta evolução podem acumular-se nos sopés das encostas de acordo com o ângulo de repouso dos detritos. Se a acumulação aumenta, a vertente inicial tende a ser recoberta tornando-se assim protegida contra posterior denudação. Em consequência, a encosta originalmente retilínea evoluiria tomando uma forma curva, a qual poderia desenvolver um perfil parabólico.

Bakker e Le Heux, mencionados por Scheidegger (1961:90), acreditam que quando todos os detritos são removidos da base da encosta esta tornar-se-á retilínea e seu ângulo, em perfil, será o ângulo de repouso dos detritos (vertente de Richter).

Crickmay (1959-1960) afirma ser desigual, no espaço, a atividade dos agentes exógenos do modelado. Uma vertente recuará mantendo o seu declive somente se um rio meandrante (ou as ondas) erodir lateralmente a sua base. Caso não ocorra a ação destes agentes, a encosta evoluirá através da diminuição do seu ângulo, sem o recuo do sopé. Scheidegger (1961:109), comentando a teoria de Crickmay, afirma que quando o solapamento lateral se inicia em material móvel, ele subsiste até que seja ultrapassado o ângulo de repouso dos detritos. Resulta então um colapso após o qual a vertente se ajustará ao ângulo de equilíbrio, recuando de maneira paralela e retilínea. Se a vertente for formada por material coerente, recuará paralelamente a si mesma, porém não de forma retilínea; evoluirá principalmente através dos desmoronamentos guardando as marcas destes movimentos de massa.

Crickmay não aceita a existência de um ciclo geomorfológico. Para ele, o estágio de desenvolvimento anagenético ocorre quando os movimentos endogenéticos soerguem parte da crosta de forma mais ou menos rápida, enquanto se processa a denudação. Interrompendo-se os movimentos endogenéticos, continua a ocorrer a denudação (estágio catagenético). Partindo do fato de que a denudação se realiza principalmente quando os rios solapam a base das vertentes, parte da paisagem a partir de determinado momento terá o seu desenvolvimento interrompido (*stagnation*), podendo formas jovens, no sentido davisiano, subsistir por muito longos períodos de tempo. O resultado final de uma evolução será um aplainamento suavemente ondulado, causado pela ação meandrante dos rios.

Scheidegger (1961) analisa detidamente o problema da evolução de encostas, dando-lhe um tratamento matemático. Entretanto, ele examina os problemas baseado nas proposições de vários autores. Quando apresenta problemas específicos originais, o faz sem considerar toda a sorte de variáveis neles envolvidas.

Crickmay (in Scheidegger, 1961:14) é considerado o autor que deu uma alternativa válida para o problema da evolução das encostas. Parece inclinado a aceitar seu ponto de vista (1961:112-113). Também acreditamos que Crickmay está certo ao pôr em dúvida as hipóteses existentes de igual atividade dos vários agentes do modelado com relação às encostas isoladas. Porém acreditamos que estes agentes variaram não apenas no espaço, mas também no tempo e em um período rápido e suficientemente próximo do presente. Tal perspectiva, acreditamos, nos permitiria explicar as múltiplas variações das encostas.

Pensamos que todos os autores acima mencionados não consideram o efeito das variações climáticas como tendo sido capazes de dar origem ao aparentemente contraditório aspecto da paisagem.

Sugeriríamos que fosse dado tratamento matemático às variações no tempo dos processos atuantes nas encostas, de acordo com as mudanças climáticas que acreditamos ter ocorrido. Talvez assim chegássemos mais próximo de explicações da presente múltipla realidade das encostas.

Estamos entre os que acreditam que no estágio atual da geomorfologia torna-se essencial um melhor conhecimento, não somente qualitativo, mas também quantitativo dos processos que atuam sobre as vertentes sob as condições climáticas atuais. A partir destas observações poder-se-á inferir com precisão qual o sentido da evolução atual das formas. Por outro lado, poderão ser constatadas as influências paleoclimáticas sobre o modelado das vertentes, apesar de reconhecermos que no passado podem ter ocorrido condições climáticas e processos morfoclimáticos não observáveis no presente.

Variações Climáticas

As profundas mudanças climáticas ou as pequenas flutuações do clima desempenharam um papel importante no desenvolvimento da paisagem atual.

Estudos recentes têm demonstrado, por toda a superfície do globo, extrema instabilidade climática durante o Pleistoceno. A tendência inicial foi de correlacionar-se os períodos glaciais das latitudes elevadas a fases pluviais na faixa tropical e subtropical. Ainda hoje vários pesquisadores mantêm tal ponto de vista. Outros acreditam que durante as glaciações tenha havido um deslocamento das zonas climáticas. Finalmente, nos últimos anos, começa a ganhar vulto a opinião de que nas épocas frias do Quaternário, em grande parte das regiões subtropicais e tropicais, teria ocorrido uma diminuição sensível da pluviosidade ou modificação da distribuição das chuvas, generalizando-se condições de semiaridez e mesmo aridez, enquanto as épocas úmidas corresponderiam aos interglaciais.

Portanto, durante o Pleistoceno nas áreas geográficas que mais interessam ao território brasileiro, dois diferentes conjuntos de processos operando alternadamente submeteram a paisagem à degradação lateral em clima semiárido (épocas glaciais) ou à dissecação em clima úmido (épocas interglaciais). A ação erosiva seria muito efetiva no período de transição de um tipo de clima para o outro. Será feita aqui, tentativamente, uma análise sucinta das conseqüências das mudanças climáticas na evolução da paisagem.

Na transição de uma fase climática para outra deverão ser tomadas em consideração não apenas mudanças importantes na cobertura vegetal, mas também grandes modificações nos vários processos atuantes.

Durante o clima úmido desenvolveu-se um manto de decomposição formado principalmente por alteração química, sobre o qual a floresta vicejou. O manto de decomposição atinge, no sul e sudeste do Brasil, uma espessura usual de 5 a 15 m, ou mesmo mais, chegando no norte do Paraná a 60 m. Na transição do clima úmido para um mais seco a floresta regride sendo substituída por uma cobertura vegetal menos densa, do tipo

cerrado ou caatinga. Sob a cobertura florestal os solos eram protegidos contra a erosão acelerada. Tal não acontece sob o novo tipo de vegetação. Sob um regime de chuvas concentradas, os rios tendem a ser intermitentes, com grandes variações na sua descarga. Há também um progressivo aumento na carga sólida dos rios, resultante da erosão acelerada das vertentes desprotegidas.

Uma mudança para um clima mais seco significa, então, uma dominância de processos mais ativos de erosão denudando as vertentes, e acelerando sua evolução. O transporte em massa seria muito efetivo nesta ocasião e o espesso regolito alterado quimicamente ao ser removido rapidamente das encostas expõe a rocha a novos processos de meteorização nos quais acentua-se a ação da desagregação mecânica.

A variação climática para o seco poderia resultar numa fase climática semiárida longa ou apenas numa curta flutuação em direção à aridez, ainda dentro da fase climática úmida. No primeiro caso, o mecanismo de evolução da encosta mudaria radicalmente, com o estabelecimento de processos de degradação lateral. No segundo caso ter-se-ia um mecanismo principalmente relacionado à remoção do regolito decomposto, sem grande ocorrência de morfogênese mecânica.

Na transição para um clima mais seco verifica-se um aumento da velocidade de remoção do manto alterado das encostas, principalmente por escoamento superficial e pelos movimentos de massa. Isto foi responsável por uma aceleração da evolução das vertentes. O material alterado pode ter sido em parte evacuado através do nível de base local e em parte pode ter entulhado o fundo do vale, promovendo sua agradação, resultando assim numa obstrução parcial dos pontos de estrangulamento da drenagem. Dessa forma o nível de base local tende a elevar-se.

A transição das condições semiáridas para as úmidas tanto pode ser para uma nova e longa fase úmida como apenas uma curta flutuação para a umidade dentro da fase climática semiárida. No primeiro caso há uma mudança radical no desenvolvimento da paisagem. Entram em funcionamento processos de alteração química, estabelecendo-se a erosão linear, responsável pela dissecação do terreno. Com relação ao segundo caso as consequências podem ser inferidas, não havendo, entretanto, evidências nítidas na paisagem.

A mudança climática para condições úmidas favorece o desenvolvimento de solos, sobre os quais se estabelece novo tipo de vegetação. A associação vegetal semiárida é progressivamente substituída pela floresta. A alteração química das rochas atinge maior profundidade e a porção superficial do terreno fica mais protegida contra a ação do escoamento superficial. Os movimentos de massa tornam-se mais efetivos nos locais de alta pluviosidade e de declividade íngreme.

Na transição climática acima considerada, o regime fluvial passa de intermitente a permanente. Ocorre um progressivo aumento da descarga média dos rios, assim como uma diminuição gradual da carga sólida. Durante esta transição o incremento progressivo da descarga dos rios aumentaria sua capacidade de transportar carga sólida. O material detrítico que entulhava o vale pode assim ser remobilizado entalhando-se o leito com rebaixamento do nível de base local.

Com o pleno desenvolvimento da cobertura florestal a disponibilidade em detritos das vertentes para o transporte fluvial diminui consideravelmente. Durante as cheias, o

material disponível, constituído principalmente por siltes e argilas, são carreados para a planície de inundação, onde em parte acumulam-se.

Evidências de flutuações climáticas foram aventadas ou sugeridas por inúmeros pesquisadores nos últimos dec nios.

Ainda muitos estudos sistemáticos deverão ser realizados para que se possa ter ideias razoáveis acerca das condições e fen menos específicos envolvidos nas mudanç as climáticas. Não são suficientemente conhecidas, até agora, as condições climáticas do passado, no que concerne a temperaturas e regime pluviométrico (quantidade e concentração). As suposições são feitas com base em poucas e muitas vezes frágeis evidências, sendo, por conseguinte, frequentemente questionadas. O que tem sido feito até agora para a explicação da paisagem tem se baseado, via de regra, nas condições climáticas presentes. Aquelas das fases frias do Pleistoceno provavelmente eram tão diferentes e extremas quando comparadas às atuais, que não podem ser visualizadas a partir dos tipos climáticos hodiernos. Embora não sejam conhecidos detalhes dos climas do Pleistoceno, estamos seguros de que dois tipos climáticos diferentes prevaleceram, alternadamente, sobre toda a área estudada. Esta conclusão foi deduzida a partir do estudo das estruturas e texturas dos sedimentos, assim como das formas erosivas.

Nível de Base

O conceito de nível de base é fundamental para a explicação do desenvolvimento das encostas e da atuação dos processos erosivos. De acordo com Davis (1902: 382), nível de base é uma superfície imaginária   qual está aferida a erosão subaérea normal. Se há um movimento relativo de levantamento ou rebaixamento de uma porção da crosta em relação ao mar, o nível de base para aquela área altera-se, subindo ou descendo, conforme o caso. Com o avanço do ciclo geomórfico vários níveis de base locais ou temporários desenvolvem-se. Esta é uma visão clássica do problema em foco, que é ainda aceita atualmente por muitos autores. Entretanto, uma análise detalhada do problema conduz a considerações acerca da influência das grandes mudanç as climáticas no deslocamento dos níveis de base.

Não há um nível de base de erosão fixo. O nível do mar é considerado o nível de base geral, e este nível sofreu grandes variações durante o Quaternário. Penck (1953: 125) considera como "nível de base de erosão absoluto" o nível do mar ou a porção menos elevada de uma bacia de drenagem endorreica. Como níveis de base locais de caráter temporário relacionam-se afloramentos de rochas resistentes ou lagos encontrados no curso dos rios. Os "níveis de base de erosão gerais ou imediatos" foram considerados por Penck como consequência de movimentos tect nicos e o "nível de base de denudação" de uma encosta seria aquele onde os processos de transporte na vertente se interrompem.

Uma ruptura de gradiente (*knickpoint*) controla o desenvolvimento da porção de um curso d'água que lhe estiver a montante. Um rejuvenescimento, de acordo com Davis, pode originar um *knickpoint* que migra para montante ou pode apenas aumentar o gradiente do curso d' gua. Rich (1938:704) acredita que um levantamento lento não originaria uma ruptura de gradiente, porém uma regressão eustática ou uma movimentação rápida da crosta poderia caus -la.

Para Penck (1924) e Meyerhoff (1927; 1928), uma ruptura de gradiente migrando rio acima causa a jusante o desenvolvimento de uma superfície em nível mais baixo, controlada pelo nível de base mais recente. Para montante, continuaria a evolução de uma superfície em nível mais elevado, comandada pela ruptura de gradiente em recuo. Por conseguinte, seriam criadas superfícies embutidas em várias altitudes, todas elas evoluindo pelo recuo das encostas que as limitam (conceito de *treppen* de Penck).

Penck considerou que a migração de uma ruptura de declive recém-criada dar-se-ia com lentidão suficiente para permitir um sensível desenvolvimento das encostas situadas dentro de uma bacia (alvéolo).

De acordo com Davis seriam conseguidas rapidamente novas condições de equilíbrio da rede de drenagem após o estabelecimento do novo nível de base. Desta forma o *knickpoint* superior tende a desaparecer gradualmente deixando de ser responsável pela degradação das encostas anteriormente sob seu controle.

Rich (1938: 1707) concorda com Davis, porém acrescenta que condições climáticas e litológicas influenciam na velocidade pela qual o perfil de equilíbrio é obtido. A gradação do leito do rio é obtida mais rapidamente em rochas menos resistentes e em condições sob as quais a descarga seja superior à requerida para o transporte da carga, resultando daí uma ação erosiva linear intensa dos rios.

A análise da paisagem indica ser provável que rupturas de gradiente (*knickpoints* – níveis de base locais – aumento abrupto de inclinação no perfil longitudinal dos cursos d'água) sejam originadas por duas causas diferentes. *Knickpoints* causados por movimentos crustais parecem migrar constantemente para montante. Em função desta migração podem se formar vales estreitos. *Knickpoints* podem surgir também nos locais de rochas mais resistentes à erosão linear em consequência de alterações importantes no processo erosivo de uma área, devidas a mudanças climáticas marcantes.

Durante os períodos de clima semiárido a degradação lateral dentro dos alvéolos tende a criar uma superfície aplainada de fraca inclinação cortando indiferentemente rochas e estruturas variadas. Os processos de pedimentação, em cada alvéolo, ficam sob o controle do nível de base local. A série de rupturas de gradiente (*knickpoints*) da drenagem existente dentro do alvéolo em pedimentação tende a desaparecer com o desenvolvimento do processo.

Durante os períodos de clima úmido ocorre dissecação, a qual em conjunto com a alteração química das rochas dá origem a um modelado erosivo diferencial. *Knickpoints* formam-se onde encontram-se rochas mais resistentes a esta ação erosiva.

A área pesquisada para este trabalho esteve sujeita a uma alternância de dois tipos climáticos diferentes: úmido e semiárido. As características dos processos morfogenéticos foram distintas em cada caso. Por terem tido estas mudanças um caráter cíclico, a maioria dos *knickpoints* foi criada e erradicada de acordo com a alternância dos climas acima mencionados. Por conseguinte, a maior parte deles teve desaparecimentos e reaparecimentos periódicos, mais ou menos num mesmo local, porém sempre à menor altitude.

A transição do clima úmido para o semiárido parece ter causado apenas um pequeno rebaixamento dos níveis de base locais. Por outro lado, durante a transição

da semiaridez para as condições de umidade climática, surgiram os maiores rebaixamentos.

Freqüentemente as rupturas de gradiente são relacionadas à velocidade de levantamentos da crosta, sendo o desnivelamento uma função da envergadura do movimento crustal. Entretanto, nos parece mais evidente que elas sejam resultantes da alternância dos processos erosivos em consequência de marcadas mudanças climáticas. Não negamos, no entanto, a eficiência dos movimentos crustais provocando a migração remonstante das ondas erosivas. Também são eles importantes no provimento de condições para o desenvolvimento dos alvéolos, que necessariamente se encontram em área previamente soerguida ou em processo de soerguimento.

Ciclicidade da Erosão

A ocorrência repetida de formas de relevo em diferentes altitudes em uma região tem despertado a atenção dos geomorfólogos. A interpretação clássica de Penck para o Fichtelgebirge (PENCK, 1953), no qual é encontrada uma sucessão de níveis aplainados, circundando um maciço, constitui um bom exemplo. Também o conceito de relevo policíclico de Davis implica no reaparecimento de formas de relevo, associadas a rejuvenescimentos do ciclo de erosão.

Em grande parte do Brasil vastas áreas aplainadas ocorrem. Elas têm sido interpretadas como peneplanícies davisianas e, mais recentemente, como pediplanos (KING, 1955; BIGARELLA e AB'SÁBER, 1964). Embutidos nos vales ou circundando maciços, podem também ser observados esporões, plataformas e até superfícies dissecadas de pequena inclinação. Na região costeira estas feições morfológicas já foram interpretadas como terraços marinhos (RUELLAN, 1944).

Ao estudar os sedimentos situados nas proximidades destas paisagens, Bigarella e Salamuni (1961; 1962) observaram que a estrutura e a textura do material depositado indicavam uma ação de transporte rápida e poderosa, tal como seria de se esperar em áreas sujeitas a condições de forte semiaridez. Uma perspectiva climática tem sido, desde então, utilizada para explicar a presença de feições policíclicas na paisagem. Uma sucessão de climas úmidos e semiáridos é responsável pela evolução da paisagem, pelo menos durante o Quaternário. Durante as fases úmidas uma predominância da erosão linear originaria a principal dissecação do relevo, enquanto as fases semiáridas seriam responsáveis pelo desenvolvimento de superfícies de pedimentação, durante as glaciações pleistocênicas. Os climas úmidos ocorreriam nos períodos interglaciais e os semiáridos corresponderiam aos períodos glaciais.

Este condicionamento da evolução da paisagem às condições climáticas não exclui o efeito dos movimentos tectônicos ou eustáticos, porém lhes confere apenas importância secundária.

Davis (1902) considera o caso eventual de paisagem policíclica como possivelmente originado por movimentos tectônicos e também por mudanças climáticas. As mais comuns destas últimas seriam as modificações climáticas para condições glaciais ou áridas. Ele considerou as mudanças climáticas do Quaternário como simples acidentes em relação a um ciclo geomórfico ideal.

Acreditamos que as mudanças climáticas quaternárias foram capazes de modificar a paisagem de acordo com a fase considerada (úmida ou semiárida). O conjunto de formas de relevo encontrado na área pesquisada confere à paisagem um aspecto policíclico.

Davis (1902) faz uma interessante observação relacionada com a reorganização da drenagem, por ocasião de uma mudança climática do árido para o úmido. Segundo ele, os vales conservarão um padrão de drenagem desorganizado herdado da fase climática anterior, não apresentando, portanto, nenhum ajustamento à estrutura. Acreditamos, entretanto, que a drenagem desorganizada intermitente e sem maior encaixamento na fase árida terá, com a umidificação do clima, uma sobrevivência muito curta. A meteorização diferencial das rochas, assim como as diferenças de resistência à erosão linear farão com que o escoamento predominantemente difuso anterior concentre-se em ravinas onde as rochas oferecem menor resistência. Estas considerações aplicam-se à área estudada, onde se verifica que o padrão da drenagem reflete adaptações a zonas de fraqueza estrutural.

Para Penck não existe um ciclo de evolução do modelado. O levantamento diferencial da crosta causaria a repetição de formas a diferentes níveis. Para ele o *piedmonttreppe* resultaria de uma combinação dos tipos de desenvolvimento de encosta por ele imaginados. As épocas de levantamento mais acentuado corresponderiam à dissecação dos aplainamentos formados durante períodos de soerguimento crustal menos intenso. Esta associação de formas, na qual tipos de relevo semelhantes ocorrem em diferentes níveis, é considerada típica nas áreas não orogênicas, submetidas a ritmo de levantamento de velocidade desigual no decorrer do tempo (PENCK, 1953: 223). Cada um dos níveis vai se desenvolvendo continuamente, em função de seu nível de base particular, à custa dos mais antigos que lhe são altimetricamente superiores. De acordo com as ideias de Penck o aplainamento final (*Endrumpf*) de uma região seria realizado apenas durante um longo período de certa estabilidade crustal no qual ocorreria a destruição sucessiva de todos os níveis do *piedmonttreppe*.

Rich (1938) refere que o principal ponto de discordância entre as ideias de Penck e Davis reside especificamente na capacidade ou não dos rios estabelecerem um novo perfil de equilíbrio, antes que ocorra uma ampla degradação dos divisores d'água. Se um novo perfil de equilíbrio se estabelece rapidamente, pela eliminação tanto dos *knick-points* no perfil longitudinal dos cursos d'água, como também das ombreiras dentro do vale (conceito de Davis), a aparência policíclica da paisagem seria efêmera. De acordo com Penck esta aparência multifásica da paisagem (*piedmonttreppe*) teria longa duração, devido à evolução independente de cada uma das superfícies quase planas. Cada uma delas continuaria tendo sua evolução controlada pelo seu próprio nível de base local que subsiste apesar de recuar.

Rich (1938: 1714), salientando a complexidade que envolve o problema dos relevos policíclicos, conclui que as superfícies de erosão separadas por pequenos intervalos verticais, que erroneamente poderiam ser interpretadas como peneplanícies, podem ser originadas pela abrasão marinha, pela erosão diferencial em rochas de diferente resistência ou pelos processos de pedimentação. Podem também representar níveis mantidos por camadas horizontais mais resistentes.

Para Rich a hipótese de Penck seria mais viável para evolução sob condições climáticas semiáridas, enquanto a de Davis se aplicaria melhor aos climas mais úmidos.

King (1957: 93) aceita as ideias de Penck relativas ao *piedmonttreppen* para os terrenos de movimento crustal ativo. De modo geral, os diversos autores que têm tratado dos problemas da ciclicidade de erosão atêm-se fundamentalmente aos conceitos de Davis ou de Penck.

Entretanto Hack (1960) e Crickmay (1959) deram nova interpretação ao desenvolvimento da paisagem. Hack na sua "teoria do equilíbrio" não aceita a noção de ciclo geomórfico pois considera o modelado atual como resultado de um equilíbrio dinâmico das forças endógenas e exógenas em ação. De acordo com o autor, a paisagem preserva o seu caráter enquanto as forças permanecem as mesmas. Nestas condições algumas vertentes serão arrasadas enquanto outras são criadas.

As ideias de Hack que supõem uma ação igual, no espaço, dos agentes que atuam sobre as vertentes, opõe-se à teoria de Crickmay. Este autor também nega a existência de um ciclo geomórfico, substituindo-o pelas noções de estágio anagenético do desenvolvimento (ação dos agentes endógenos ao lado dos exógenos), catagenético (denudação sem que haja movimentação crustal) e suspensão do desenvolvimento (*stagnation*) nas partes da paisagem cujas encostas têm o seu recuo interrompido devido à ausência de um agente que solape a base das vertentes.

Os resultados de nossas pesquisas demonstram, entretanto, que as formas ciclicamente repetidas na paisagem¹ têm origem diversa da preconizada pelos autores acima citados. O estudo dos depósitos correlativos das várias formas erosivas fornecem numerosos dados no que concerne à interpretação das condições climáticas vigentes à época de sua formação, isto é, possibilitou correlacionar com segurança níveis de remanescentes de pedimentos com depósitos detríticos contemporâneos, quer na área de pedimentação quer na calha de drenagem (terraços fluviais com cascalheiras). Verificou-se, também, uma repetição cíclica na paisagem, de níveis geneticamente semelhantes, cuja distribuição é similar nas mais variadas áreas do país, tanto no litoral, nos planaltos, como nas altas montanhas (Figura 3).

Quando comparamos alvéolos de regiões geograficamente distantes e de posição altimétrica distinta notamos o mesmo esquema básico da distribuição dos vários níveis de erosão. Isto chama a atenção para o fato de que deve haver, além dos movimentos crustais, outro controle de caráter muito mais importante e capaz de esculpir nos mais variados alvéolos, independentemente da atuação dos movimentos epirogênicos, os mesmos padrões de erosão.

Com a descoberta dos processos que atuaram na elaboração das superfícies aplainadas pretéritas, hoje confinadas como ombreiras remanescentes nas vertentes, foi possível a elaboração de nova hipótese para explicar a ciclicidade de erosão, baseada primordialmente nas mudanças climáticas.

As épocas semiáridas foram responsáveis pela elaboração de superfícies aplainadas, pediplanos ou pedimentos, enquanto que as épocas úmidas promoveram dissecação. Das primeiras restam na paisagem apenas remanescentes, formando ombreiras de inclinação pequena a média. Das épocas úmidas encontram-se formas de vertentes mais íngremes.

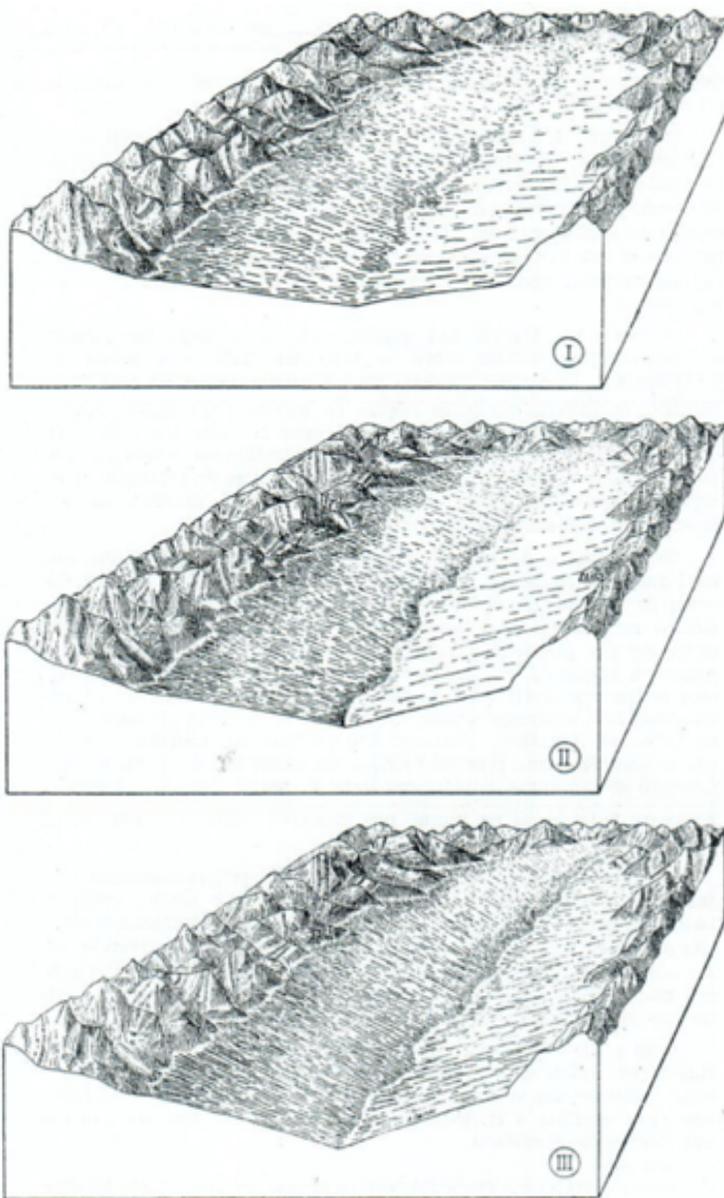


Figura 3 – Esquema básico de evolução das vertentes: I – Formação de um extenso aplainamento intermontano, por processos de pediplanação sob condições semiáridas; II a III – Reafeição da superfície aplainada provocado por ligeiro rebaixamento do nível de base de erosão local em consequência de curta flutuações climáticas em direção ao úmido.

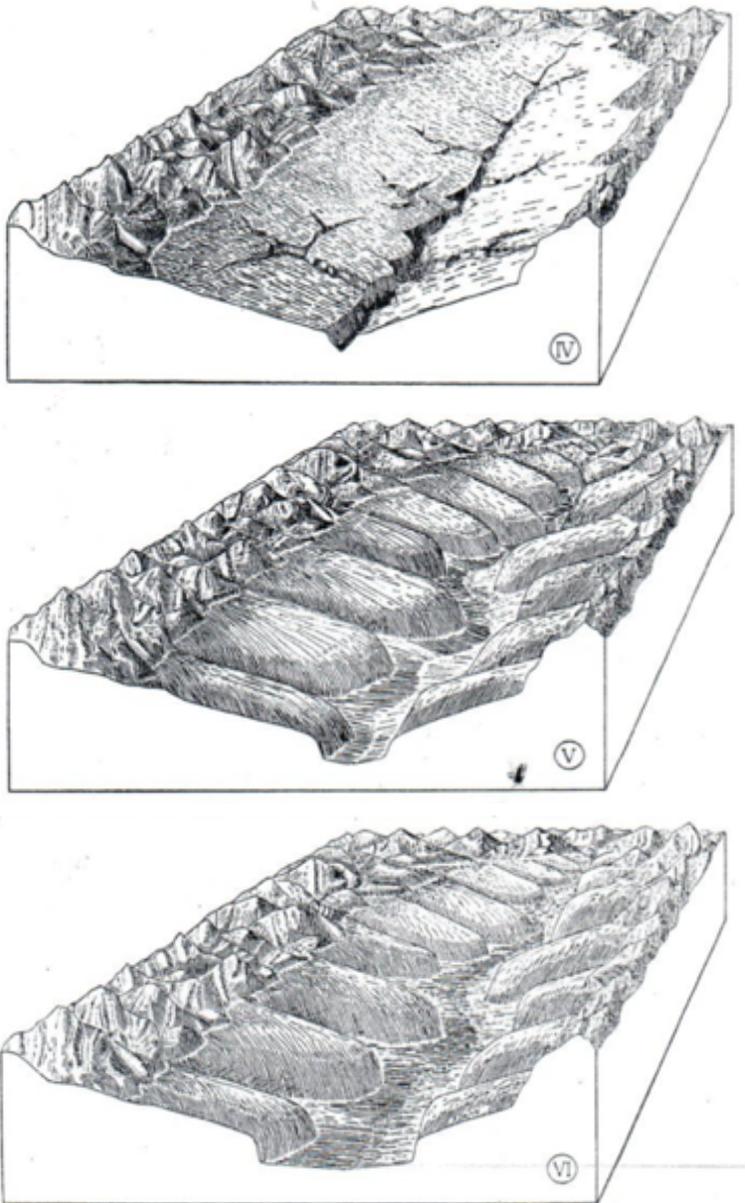


Figura 3 – Esquema básico de evolução das vertentes (continuação): IV – Dissecação generalizada do aplainamento em consequência de uma mudança climática para condições úmidas; V – Alargamento, aluvionamento e colúviação dos vales acelerados por flutuações climáticas em direção ao seco dentro da época úmida; VI – Degradação lateral e formação de uma superfície pedimentar dentro da época climática semiárida.

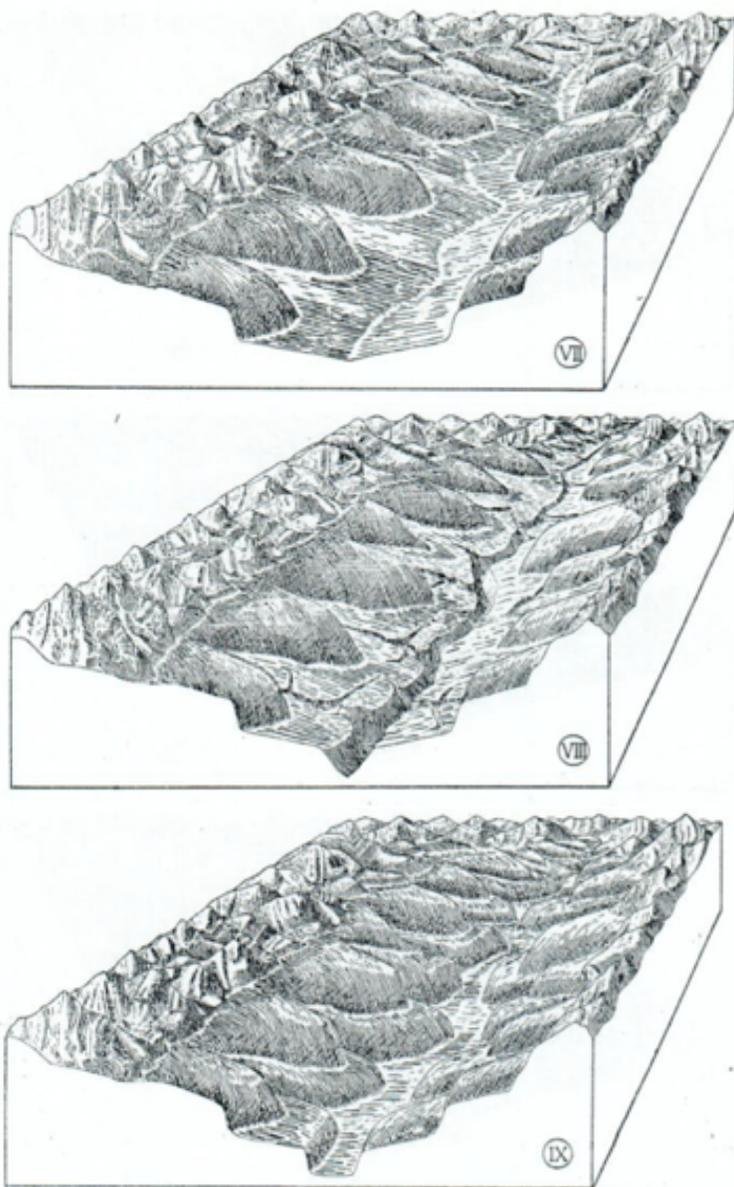


Figura 3 – Esquema básico de evolução das vertentes (conclusão):

VII – Reafeição da superfície do pedimento por ligeiro rebaixamento do nível de base local do escoamento, consequência de pequenas flutuações para o úmido dentro da época semiárida; VIII – Dissecção generalizada da topografia em função do advento de nova época climática úmida; IX – Alargamento e entulhamento dos vales dentro da época úmida, devido essencialmente a flutuações episódicas por condições mais secas.

Compreendemos estes remanescentes como testemunhas de mudanças fundamentais nas formas e processos de denudação. Em oposição às ideias de muitos pesquisadores, consideramos o clima como fator primordial na evolução das vertentes. Na verdade, julgamos que as mudanças climáticas são as responsáveis pelo aspecto policíclico da paisagem, originado através da mudança nos processos morfogenéticos atuantes nas vertentes.

Considerando como tendo sido gerais as modificações climáticas em vastas áreas, deduz-se que durante as fases mais úmidas a rede de drenagem tenderá a se aprofundar ao mesmo tempo, por toda a sua extensão, não tendo, portanto, a retomada de erosão um caráter eminentemente regressivo como sugerem Davis e Penck baseados numa origem endógena para as mesmas. Por outro lado, apesar de cortar os *knickpoints*, a rede de drenagem não tem a capacidade de fazê-los desaparecer na fase úmida. Consequentemente, a fase climática de degradação lateral subsequente atuará ao mesmo tempo nos alvéolos mantidos a altitudes variadas por seus respectivos *knickpoints*.

Mediante estas considerações, as formas das vertentes são passíveis de correlação sobre longas distâncias de um alvéolo para o outro, bem como datáveis através da idade do ciclo de pedimentação ou de dissecação correspondente.

Evolução das Encostas nas áreas Cristalinas do Brasil Sudeste Meridional

O mecanismo de desenvolvimento das encostas parece consistir basicamente em uma sutil interação entre profundas mudanças climáticas, deslocamentos dos níveis de base locais e levantamentos crustais. Dois conjuntos de processos morfogenéticos têm periodicamente se alterado no modelado da paisagem. Um conjunto, operante sob clima semiárido, é representado pelos processos de morfogênese mecânica e promove uma degradação lateral da topografia. O outro conjunto, operante sob clima úmido, compreende a decomposição química, erosão linear e profunda dissecação da topografia. A combinação destes dois tipos de conjuntos de processos é usada neste trabalho como elemento chave para a interpretação da evolução geomorfológica da área estudada (Figura 4).

Após a constatação da ocorrência de grandes mudanças climáticas de caráter cíclico, durante o Quaternário, na Serra do Mar e na zona costeira de Santa Catarina e Paraná, esta nova perspectiva tornou-se aplicável à explicação da morfologia da região.

A região em estudo possui, presentemente, um clima úmido. A precipitação anual pode atingir mais de 3.000 mm nas encostas da Serra do Mar. Processos de decomposição química são predominantes, gerando um profundo manto de decomposição.

Em Garuva, no sopé da Serra do Iquererim (nome local da Serra do Mar), Bigarella, Marques e Ab'Sáber (1961) descreveram remanescentes de pedimentos, assim como o material detrítico encontrado na área, dando aos depósitos a denominação de Formação Iquererim. Com base em estudos sedimentológicos concluíram os autores citados que os pedimentos, detríticos e rochosos, não eram formas atinentes ao clima hoje vigorante na área. Estas formas seriam resultantes da ocorrência de severas condições de semiaridez pretéritas.

Os remanescentes de pedimentos foram encontrados em três diferentes níveis, o que significa que pelo menos três vezes as condições climáticas foram semiáridas, quando então operaram os processos de degradação lateral e recuo paralelo das encostas.

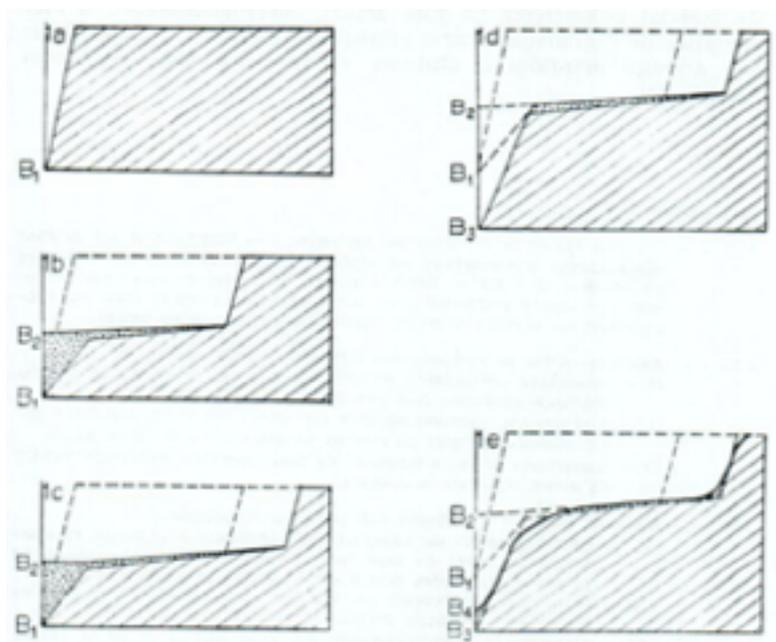


Figura 4 – Esquema básico de evolução das vertentes proposto no presente trabalho, fundamentado nas alternâncias climáticas.

No período intermediário à formação dos pedimentos prevaleceram condições úmidas, ocorrendo, neste caso, erosão linear e acentuada dissecação do terreno.

Maiores detalhes sobre os processos morfogenéticos envolvidos neste modelado foram obtidos na localidade de Canhanduva, próxima a Itajaí (SC). Bigarella e Salamuni (1961) interpretaram os depósitos de Canhanduva como tendo sido acumulados em dois estágios. Tratava-se de uma área dissecada coberta por florestas desenvolvidas sobre um espesso manto de intemperismo produzido sob condições de clima úmido. No primeiro estágio com o advento de condições semiáridas, a floresta desapareceu sendo o regolito removido para as depressões do terreno por movimentos de massa. O depósito consiste em um sedimento argiloso com seixos intercalados, sem estratificação.

Após a remoção do regolito quimicamente alterado iniciou-se o segundo estágio, no qual predominou a desagregação mecânica das rochas. Neste estágio, as encostas recuaram paralelas a si mesmas, originando uma superfície aplainada que inclina-se levemente em direção ao centro do vale. Esta superfície de pequena inclinação compreendia na realidade um pedimento rochoso, que trunca a estrutura das rochas subjacentes, e também um preenchimento detrítico, que denominamos pedimento detrítico. Este último consiste, em Canhanduva, numa sucessão de leitos de cascalhos heterogêneos, angulosos e não selecionados (filitos, quartzito e quartzo). Existe uma perfeita continuação entre o pedimento rochoso e o detrítico, o que torna impossível distingui-los no terreno, antes da análise da sua estrutura.

Normalmente os pedimentos são recobertos por fina camada de detritos. Entretanto, em regiões fortemente dissecadas, as mudanças das condições úmidas para semiáridas originam pedimentos detríticos espessos, os quais preenchem as irregularidades da topografia preexistente elaborando uma superfície de agradação.

Todos os sedimentos pesquisados e relacionados aos aplainamentos indicam um ambiente semiárido. No Brasil, como depósitos correlativos dos pediplanos e pedimentos são referidas várias formações, algumas delas de extensão geográfica apreciável. O Grupo Barreiras foi considerado por Bigarella e Andrade (1964) como depósito correlativo de duas pediplanações e duas fases de pedimentação mais recentes. A Formação Guararapes deste Grupo foi depositada durante a vigência dos processos que conduziram à elaboração do pediplano Pd₂. A Formação Riacho Morno por seu turno é correlacionável às esculturas do pediplano Pd₁ e pedimentos P₂ e P₁. Neste grupo os intervalos de tempo que medeiam entre os processos de pediplanação ou pedimentação são representados por grandes inconformidades erosivas, originadas durante as épocas úmidas.

A Formação Guabirota constitui os depósitos correlativos do pediplano Pd₁ no planalto de Curitiba. Da mesma forma a Formação Graxaim no Rio Grande do Sul é correlativa de pediplano de mesma idade. Ambas formações incluem sedimentos correlativos de duas fases de pedimentação posteriores à pediplanação do Pd₁. Como no grupo Barreiras, são encontradas acentuadas inconformidades erosivas, originadas nas trocas climáticas para o úmido.

Morfogênese

Para conveniência nos trabalhos de campo, os pedimentos foram denominados P₁, P₂ e P₃ em ordem crescente da antiguidade (Figura 5). O pedimento P₃, na verdade, corresponde ao pediplano Pd₁ (BIGARELLA e AB'SÁBER, 1964: 306). A ocorrência de remanescentes de pedimentos é feição conspícua na paisagem de toda a área em estudo, desde o Rio da Prata até o nordeste brasileiro. Por conseguinte, não somente ocorrem estes remanescentes na área semiárida do nordeste do Brasil, mas também em zona tropical bastante úmida.

Os depósitos correlativos das diferentes fases de pedimentação nos possibilitaram interpretar as condições ambientais e os processos morfogenéticos envolvidos em sua formação. A textura, a composição mineralógica e as estruturas primárias dos sedimentos requerem para sua explicação a vigência de condições semiáridas, predominância de desagregação mecânica das rochas (vários processos). Chuvas fortes e concentradas e consequente ocorrência de condições de transporte em meio de densidade elevada.

As conclusões até agora obtidas através da análise dos sedimentos, da atitude dos remanescentes dos pedimentos, do grau de encaixamento de vales e muitas outras evidências, nos autoriza somente a uma apreciação qualitativa da evolução geomorfológica da região. É ainda impossível uma determinação quantitativa a respeito das condições hidrológicas e climáticas. Até o momento não dispomos de metodologia apropriada a este estudo.

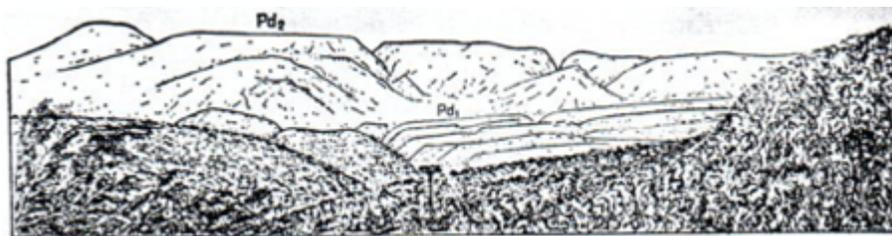


Figura 5 – Sucessão de aplainamentos na Serra do Mar, estrada Florianópolis-Lajes (SC). A superfície de cimeira é constituída por remanescentes do pediplano Pd₂. Abaixo, como nível embutido, encontra-se a superfície extensa e dissecada correspondente ao pediplano Pd₁. No primeiro plano ocorrem pedimentos embutidos no vale e posteriores ao Pd₁.

Durante as fases semiáridas, bem como durante as úmidas, pequenas flutuações climáticas podem ter ocorrido. Estas flutuações já foram tidas como possíveis por Mortensen (1947). Atribuímos grande importância a estas oscilações climáticas na aceleração dos processos de dissecção e degradação lateral. Na época úmida as flutuações para o seco facilitariam a remoção do regolito. Na semiárida as oscilações para o úmido facultariam uma ativação da decomposição química (Figuras 6 e 7).



Figura 6 – Sucessão de níveis embutidos na Serra do Mar entre Angelina e Rancho Queimado na estrada João Batista-Bom Retiro.

As encostas, sob condições de semiaridez, sofreriam preliminarmente a remoção do manto de intemperismo elaborado na fase climática úmida anterior. O regolito seria rapidamente transportado para as depressões do terreno e aí depositado através de vários processos de transporte de massa ou através de fluídos de alta densidade. Desta forma a parte superior das vertentes ficaria exposta aos agentes de morfogênese mecânica, enquanto que sua base deixaria de evoluir por ter sido entulhada. A partir deste momento as encostas recuariam paralelas a si mesmas, formando-se uma superfície aplainada (pedimento), fracamente inclinada em direção ao centro do vale ou depressão intermontana. O material proveniente da encosta em recuo tende a ultrapassar o pedimento continuando a preencher a depressão. Ao processo de formação de pedimento denominamos degradação lateral (Figura 7).

São frequentes as evidências de degradação lateral na paisagem da área em estudo. Os remanescentes de pedimentos aparecem atualmente como ombreiras nas encostas. Elas são mais facilmente observáveis nas áreas mais secas da Bahia e do nordeste brasileiro do que nas regiões úmidas do sul e do sudeste do Brasil. No entanto, constituem elemento geralmente presente na paisagem de toda a área estudada, ou seja, do Rio da Prata ao nordeste do Brasil.



Figura 7 – Vertente interior da Serra do Mar na Usina de Fontes (RJ). Observam-se colinas remanescentes do aplainamento do pediplano Pd_1 e, no primeiro plano, ombreiras correspondentes aos pedimentos P_2 e P_1 . As vertentes conservam vestígios de nichos de deslizamentos.

Dentro da região úmida atual foi na área costeira, especialmente no sopé da Serra do Mar, que os pedimentos foram melhor reconhecidos e identificadas a condições climáticas semiáridas pretéritas. Atualmente, estão eles bem identificados em outras zonas, em locais que têm sofrido acentuada dissecação por erosão linear durante climas úmidos (Figura 8)



Figura 8 – Vertente atlântica da Serra do Mar. Observa-se uma seqüência de aplainamento embutidos e fortemente dissecados pela erosão linear nas épocas de climas úmidos.

Chegamos à conclusão de que a maioria das ombreiras encontradas na topografia hodierna são na verdade remanescentes de pedimentos. Esta é a premissa básica de nossas ideias sobre evolução de encostas. Para nos certificarmos de que as ombreiras são remanescentes de pedimentos, transportaríamos seus vestígios até áreas nas quais os aspectos dos pedimentos são típicos e indubitáveis, isto é, nas áreas onde a degradação lateral pode ser relacionada com seus depósitos correlativos.

A evolução das vertentes nas épocas climáticas úmidas faz-se de modo totalmente diverso. A decomposição química das rochas progride rapidamente nas zonas mais diaclasadas ou de litologia menos resistente originando um manto de intemperismo de espessura variável e irregular. Nas áreas mais profundamente alteradas, o regolito é mais espesso e adquire uma forma lenticular ou em bacia. Nestes locais haverá uma maior infiltração das águas pluviais as quais, quando em excesso, provocam a solifluxão vertente abaixo dos detritos da decomposição química, bem como desmoronamentos.

Na paisagem atual a importância destes movimentos de massa é reduzida e limita-se às vertentes de maior declividade. O escoamento superficial é pouco eficiente na remoção dos detritos das vertentes florestadas.

Entretanto, ao examinarmos a estrutura subsuperficial da topografia hodierna verificamos que os fenômenos de solifluxão foram generalizados e tiveram importância excepcional no passado recente, ocorrendo mesmo em declividades muito fracas. Os vestígios deste processo refletem-se na topografia sob a forma de cicatrizes, sulcos ou amplos ravinamentos em forma de berço.

As condições climáticas reinantes na fase de solifluxão extensiva não são ainda bem conhecidas. Apresentam-se duas possibilidades: ou teria havido pluviosidade maior do que a atual ou uma flutuação climática para o seco, com precipitações mais concentradas. Este problema poderá em breve ser resolvido através do estudo palinológico dos paleossolos.

As evidências de campo indicam ter havido mais de uma fase de solifluxão generalizada, reativando-se o processo ciclicamente. Normalmente aparece uma sucessão de duas ou três camadas coluviais, podendo a seqüência, entretanto, repetir-se um maior número de vezes. Os paleopavimentos detríticos que geralmente separam os diferentes

colúvios e muitas vezes seguem em subsuperfície a topografia atual, correspondem a condições secas mais pronunciadas, quando o escoamento superficial em lençol tornava-se ativo na remoção do material coluvial fino, concentrando os elementos mais grosseiros à superfície.

Nas flutuações para seco dentro da época úmida, com a rarefação da vegetação, as vertentes também foram submetidas à ação do escoamento superficial o qual contribuiu para remoção parcial do manto de intemperismo e causou uma série de ravinamentos incipientes que evoluíram para sulcos mais profundos no terreno.

Deve-se ressaltar que, durante estas flutuações climáticas, os movimentos de massa devem ter agido conjuntamente com o escoamento superficial sendo, no estágio atual da pesquisa, difícil demarcar com nitidez os limites da ação destes dois processos. Pelo estudo dos depósitos das vertentes (colúvios), entretanto, verifica-se que houve uma preponderância indiscutível dos movimentos de massa como agentes morfológicos.

Os processos acima citados atuantes nas vertentes nas condições climáticas mais úmidas provocam uma evolução diferencial do modelado, com formação de sucessivas saliências e reentrâncias do terreno. Por outro lado, o recuo das vertentes é acompanhado por uma diminuição lenta e progressiva do seu ângulo de inclinação, através da formação de uma convexidade na parte superior cujo elúvio tende a ser mobilizado vertente abaixo e ao mesmo tempo suavizando-se ligeiramente a parte inferior, com o espessamento do material coluvial.

A suavização dos declives por colúviação é função da eficácia dos processos de meteorização que agem sobre as vertentes. Escarpas muito íngremes preservam-se mais facilmente, protegidas pelo próprio declive contra uma alteração química mais acentuada.

Do acima exposto, concluímos que as vertentes do Brasil sudeste e meridional sofreram no Quaternário dois tipos distintos de evolução que se repetiram ciclicamente e que resultam basicamente de transformações nas condições climáticas.

Referências Bibliográficas

BAULIG, H. Le profil d'équilibre des Versants. *Annales de Géographie*, n. 49, 1940.

BIGARELLA, J. J.; MARQUES, F. P. L.; AB'SÁBER, A. N. Ocorrência de pedimentos remanescentes nas fraldas da Serra do Iquererim (Garuva, SC). *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 4-5, p. 82-93, 1961.

_____; SALAMUNI, R. Ocorrências de sedimentos continentais na região litorânea de Santa Catarina e sua significação paleoclimática. *Boletim Paranaense de Geografia*, n. 4-5, p.179-187, 1961.

_____; _____. Caracteres texturais dos sedimentos da bacia de Curitiba. *Boletim da Universidade do Paraná*, Inst. Geol. Geologia, n. 7,1962.

_____; AB'SÁBER, A. N. Paläogeographische und Paläoklima-tische Aspekte des Känozoikums in Südbrasilien. *Zeitschrift für Geomorphologie*, n. 8, v. 3, p. 286-312, 164.

_____; ANDRADE, G. O. Considerações sobre a estratigrafia dos sedimentos cenozóicos em Pernambuco (Grupo Barreiras). *Inst. Ciências da Terra – Arquivos*, n. 2, p. 2-14, 1964.

_____; _____. *Contribution to the study of the Brazilian Quaternary*. Inédito.

_____; MOUSINHO, M.R. *Slope development in Southeastern and Southern Brazil*. Inédito.

BIROT, P. *Précis de géographie physique générale*. Paris: Librairie Armand Colin. 1959. 403p.

CAILLEUX, A. Le ruissellement en pays tempéré non montagneux. *Annales de Géographie*, v. 57, n. 305, p. 21-39, 1948.

CRICMAY, C.H. *Apreliminary inquiring into the formulation and applicability of the geological principle of uniformity*. Published by the author available at Evelyn de Mille books, 616 3d Street, SW, Calgary, Alberta, 1959.

DAVIS, W.M. Rock floors in arid and humid climates. *The Journal of Geology*, v. 38, n. 1, p. 1-27, 1930.

DAVIS, W.M. Piedmont benchlands and primarrümpfe. *Bulletin Geological Soc. Am.*, n. 43, p. 399-440, 1932.

DAVIS, W.M. *Geographical Essays*. Dover Publ. Inc. 1954.

HACK, J.T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *Am. Journ. of Sciences*, v. 258, p. 80-97, 1960.

KING, L. Canons of landscape evolution. *Bull. Geol. Soc. of Am.*, v. 64, n. 7, p. 721-752, 1953.

KING, L. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Rev. Bras. Geogr.*, v. 18, n. 2, p. 147-266, 1956.

KING, L. The Uniformitarian Nature of hillslopes. *Trans. Ed. Geol. Soc.*, n. 17, part 1, p. 81-102, 1957.

LAWSON, A.C. The epigene profiles of the desert. *Calif. Univ., Dep. Geol., Bull.*, n. 9, p. 23-48, 1915.

MEYERHOFF, H.A. Migration of erosional surfaces. *Assoc. Am. Geog. Ann.*, n. 30, p. 247-254, 1940.

MORTENSEN, H. Alternierende Abtragung-Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen. *Mathematisch-Physikalische Klasse*, n. 2, p. 3-30, 1947.

PENCK, W. *Morphological Analysis of Landforms*. Londres: MacMillan and Co., 1953.

RICH, J.L. Recognition and significance of multiple erosion surfaces. *Bull. Geol. Soc. of Am.*, v. 49, n. 11, p. 1695-1722, 1938.

RUELLAN, F. Evolução geomorfológica da baía de Guanabara e das regiões vizinhas. *Rev. Bras. Geog.*, v. 6, n. 4, p. 445-508, 1944.

SCHEIDEGGER, A. E. *Theoretical Morphology*. Berlim, Gottingen, Heidelberg: Springer-Verlag, 1961.

SCOTT, G.R. Subdivision of the Quaternary alluvium east of the front range near Denver, Colorado. *Bull. Geol. of Am.*, n. 71, p. 1541-1544, 1960.

Nota

¹ Quando empregamos a designação “ciclo” o fazemos *sensu latu*, não ligando-a, portanto, ao conceito de davisiano.