

TENDÊNCIAS DA GEOMORFOLOGIA

«No vestige of a beginning, no prospect of an end». JAMES HUTTON

1

A curiosidade do Homem pelas formas caprichosas da superfície terrestre é muito antiga; do mesmo modo são antigas as tentativas da sua interpretação. As primeiras explicações eram visionárias, apresentadas em forma de fábulas, construídas em torno de conceitos religiosos. No Ocidente como no Oriente aceitava-se que o mundo e a vida tivessem sido criados, num curto espaço de tempo, por forças ou por seres sobrenaturais. Durante a Idade Média, quando a Igreja dirigia a cultura e o ensino, o dogma da criação do mundo e da vida por um único acto de Deus passou a dominar o pensamento especulativo. Desta maneira, dois aspectos marcaram as primeiras preocupações de descrição e de explicação das paisagens: o reconhecimento da capacidade modeladora de certos agentes subaéreos; a submissão a uma cosmogonia teológica, ao dogma da criação do mundo em seis dias. Espíritos brilhantes, de raciocínio indutivo independente, como por exemplo LEONARDO DA VINCI (1452-1519), esse génio da Renascença italiana, mistura de pintor e escultor, arquitecto e engenheiro, inventor e poeta, ou como G. L. BUFFON (1707-1788), dois séculos mais tarde, deixando testemunhos da compreensão dos mecanismos da erosão fluvial, acabaram por tentar conciliar os factos incontestáveis de observação com os princípios cosmogónicos. De um lado estava o «mistério da concha no alto da montanha», do outro lado estavam os seis dias da criação do mundo e os quarenta dias do dilúvio universal. A escolha,

que não era fácil, mais difícil se tornaria pelo temor dos anátemas da Igreja. Em 1654, na Inglaterra, um dos seus mais dignos representantes, o Dr. JOHN LIGHTFOOT, vice-chanceler da Universidade de Cambridge, com a sua autoridade de eclesiástico iluminado, definia o mistério da criação nos seguintes termos: «Céu e Terra, centro e circunstância, foram criados no mesmo momento... no dia 26 de Outubro de 4.004 A. C., às 9 h da manhã» (1). Nota deliciosa de rigorismo de informação, não se pode esquecer, todavia, a força que tal afirmação haveria de ter no pensamento da época, que tanto temia a acusação de heresia. Para a gênese bíblica acabavam sempre por se voltar os espíritos mais argutos.

O primeiro defensor da capacidade modeladora dos rios foi o escocês JAMES HUTTON (1726-1797), que se pode considerar um dos principais progenitores da Geologia e, com ela, da Geomorfologia (2). As suas teorias assentavam na observação rigorosa dos fenómenos da natureza e na sua generalização corrente. Dele é a primeira tentativa científica de uma história natural da Terra, que é, afinal, o objecto da Geologia moderna. Dizia J. HUTTON: «é na filosofia da Natureza que a história natural da Terra deve ser estudada; e não devemos permitir-nos raciocinar sem elementos adequados, ou elaborar um sistema de sabedoria com base numa ilusão hipotética» (3); arguir sim, mas dedutivamente, a partir das causas actuais. Nascia assim o actualismo — «o presente é a chave do passado» — que muito mais tarde, por volta de 1825, com CHARLES LYELL, conheceria grande favor: cada mundo era construído sobre as ruínas de um mundo anterior, e à custa destas. Assim explicava um facto de observação: as discordâncias de arenitos e brechas do Devónico sobre xistos

(1) Cit., R. J. CHORLEY, A. J. DUNN, R. P. BECKINSALE, *The History of the Study of Landforms or the Development of Geomorphology*. Volume one: *Geomorphology before Davis*, London, 1964, p. 13.

(2) JAMES HUTTON começou por estudar química e medicina; mais tarde interessou-se pela agricultura, o que o levou ao estudo da gênese dos solos e dos processos geológicos.

(3) JAMES HUTTON, «Theory of the Earth; or an Investigation of the Laws observable in the Composition, Dissolution and Restoration of Land upon the Globe», *Trans. Royal Soc. of Edinburgh*, 1788, vol. I, pp. 209-304.

e arenitos do Silúrico, na costa oriental da Escócia. Todavia, era demasiado cedo para a aceitação e propagação de ideias tão revolucionárias, fora da compreensão dos seus contemporâneos. Até mesmo na Inglaterra, mais liberal, tais ideias entravam no campo da heresia, e esta era severamente castigada. JAMES HUTTON passaria completamente despercebido, se os seus críticos e os seus amigos não tivessem contribuído para a divulgação, embora restrita, das suas teorias. Aos primeiros respondeu e tentou esclarecer, muito pacientemente, aquilo que não conseguiam compreender; aos segundos, em especial a JOHN PLAYFAIR (1748-1819), ficou a dever o esclarecimento de muitas das suas ideias (4), quando expressas de maneira mais confusa. Muitos conceitos geomorfológicos básicos ficaram definidos por J. HUTTON, como se pode concluir de alguns exemplos retirados do segundo volume da sua obra. Acerca do que mais tarde seria definido como sobre-imposição dos rios escreveu que «os leitos descrevem cursos amplos em torno das colinas que eles não podem cortar; algumas vezes rompem a barreira de montanhas que se opõe às suas correntes; abrindo assim gargantas por desgaste da rocha sólida sobre a qual anteriormente tinham corrido num nível mais alto» (ob. cit. nota 1, p. 53); sobre as glaciações aceitava que pudesse «ter havido imensos rios de gelo que corriam em todas as direcções para regiões mais baixas e transportavam blocos de granito a uma grande distância» (ob. cit., nota 1, p. 53). O esquema das relações de estrutura, processo e fase aparece assim descrito: «sempre achei as aparências... (de colinas, etc.) muito inteligíveis e correspondendo estritamente ao princípio geral da influência atmosférica sobre as estruturas particulares da Terra» (ob. cit., nota 1, p. 53). Contudo, a chama de J. HUTTON apagar-se-ia rapidamente sob o impacto do *oceano gigantesco* de ABRAHAM WERNER (1749-1817), desse *mar original* que teria contido em solução todos os princípios minerais de formação da crosta terrestre. Para os neptunistas como A. WERNER, até mesmo os granitos eram rochas de precipitação química! Maior divulgação tiveram certos trabalhos de aplicação como, por exemplo, os de alguns

(4) J. PLAYFAIR, *Illustrations of the Huttonian Theory of the Earth*, Edinburgh, 1802.

técnicos de hidráulica fluvial, nomeadamente os do P.^e CHARLES BOSSUT⁽⁵⁾ e do Conde LOUIS-GABRIEL DU BUAT⁽⁶⁾, o primeiro de 1775, o segundo de 1786. Na obra de DU BUAT aparecem confirmações de algumas das teorias de JAMES HUTTON e, caso interessante, também a antecipação de alguns dos esquemas de WILLIAM M. DAVIS. É o caso, por exemplo, da ideia antropomórfica do ciclo de erosão, que ele exprime pitorescamente da seguinte maneira: «Um rio, desde a nascente até ao mar, traduz as diferentes idades do Homem. No seu início é quase nada; sai da terra mas origina-se no céu. Na sua infância é brincalhão e caprichoso; faz mover os moinhos e corre alegremente sob as flores... Na sua juventude é impetuoso e apressado...; no seu curso médio é sério e avisado. Na velhice o seu passo é comedido, pacífico, majestoso; as águas tranquilas rolam suavemente e acabam por se perder no oceano imenso...» (ob. cit., nota 1, p. 88). O mesmo autor já definia o perfil longitudinal de um curso de água como o conjunto de planos inclinados, de gradientes que decrescem constantemente para o mar. Muitas das afirmações de L. G. DU BUAT virão a servir de base para diversos trabalhos posteriores, como o do General DE LA NOË e de EMM. DE MARGERIE, *Les Formes du Terrain*, publicado em 1888.

Progrediam os conhecimentos sobre os materiais da crosta, fixavam-se os padrões das estruturas geológicas, mas continuavam fracos os avanços da compreensão dos mecanismos da modelação do relevo da crosta. Ao chegar-se ao início do século XIX havia praticamente três correntes de pensamento sobre estes problemas: a dos fluvialistas, com número escasso de adeptos; a dos estruturalistas e a dos diluvialistas. As duas últimas defendiam, embora com aspectos diferentes, princípios catastróficos. Em 1830 CHARLES LYELL (1797-1875) lançava as bases da Geologia como ciência independente, ao publicar a primeira edição de *Principles of Geology*, obra que teria numerosas edições. Personalidade vigorosa, viajante infatigável, tendo-se formado em direito, em 1827 abandonou defi-

(⁵) AB. CHARLES BOSSUT, *Traité élémentaire d'Hydrodynamique*, Paris, 1775.

(⁶) LOUIS-GABRIEL DU BUAT, *Principes d'Hydraulique, vérifiés par un grand nombre d'expériences faites par ordre du Gouvernement*, Paris, 1779 e 1786.

nitivamente a advocacia para se dedicar à Geologia. A sua obra dominou todo o campo geológico; todavia, com ele, os progressos da explicação das formas do relevo terrestre foram quase nulos. Capaz de rever os seus pontos de vista quando se tratava de problemas geológicos (sirva de exemplo a modificação dos seus conceitos sobre a transformação das espécies, depois de CHARLES DARWIN ter publicado a *Origem das Espécies*), foi intransigente quanto às suas ideias sobre o relevo da crosta. Nos primeiros tempos da carreira chegou a ser fluvialista, mas rapidamente passou a defender a importância das deformações e das estruturas geológicas, e também do mar, como únicos responsáveis pelo modelado topográfico; negou-se a aceitar as teorias sobre os glaciares, que os suíços vinham estudando desde 1723; nem mesmo quando JEAN-LOUIS AGASSIZ (1807-1873) publicou o resultado das suas observações minuciosas nos Alpes (1836), ou quando, de visita à Inglaterra, lhe mostrou aí numerosos testemunhos da dinâmica dos glaciares (rochas aborregadas, moreias, blocos erráticos, etc.). E, em toda a Europa, aceitavam-se sem discussão as afirmações do grande Mestre.

A importância da abrasão marinha foi posta em evidência por ANDREW C. RAMSAY (1814-1891) e por FERDINAND VON RICHTHOFEN (1833-1905). O primeiro descreveu, no seu estudo geológico e geográfico da Grã-Bretanha⁽⁷⁾, aquilo que acreditou ser uma aplanagem marinha das terras altas do ocidente e introduziu um método de estudo da evolução do relevo, através da reconstrução visual das estruturas truncadas; o segundo trouxe apoio às ideias de A. C. RAMSAY, pelas suas observações na China⁽⁸⁾. Com A. C. RAMSAY, JAMES DANA, GEORGE GREENWOOD e outros começou a impor-se, definitivamente, o fluvialismo. Mediam-se caudais, cargas transportadas pelos rios, declives dos perfis dos leitos, etc., numa tentativa de avaliação da capacidade modeladora desses agentes erosivos. Reconhecia-se, ainda, a originalidade das regiões tropicais, onde, sendo os mares calmos e os gelos inexistentes, as chuvas e os rios com os seus regimes particulares são, de

(⁷) A. C. RAMSAY, *The physical geology and geography of Great Britain: a manual of British geology*, London, 1863.

(⁸) F. F. VON RICHTHOFEN, *China*, Berlin, 1882.

longe, os agentes dominantes da modelação do relevo terrestre. Ficava assim provada a importância do factor climático, entrava-se no campo da comparação das formas e da expressão das relações entre uma forma e a sua idade provável ou fase de evolução numa série de formas de relevo.

Nos Estados Unidos da América viria o pensamento geomorfológico a conhecer a grande reforma que se impunha, a formulação das principais noções teóricas que permitiriam isolar a Geomorfologia, separando-a da Geologia, à qual sempre estivera profundamente subordinada. Longe das correntes de pensamento que dominavam na Europa, das quais recebiam apenas os ecos, numa terra vasta com uma gama variadíssima de climas e de paisagens, diferentes das da Europa, investigadores americanos darão novos rumos à Geologia e, particularmente, ao ramo da Geomorfologia. Com a exploração do ocidente dos Estados Unidos da América, numa época em que aí trabalharam JAMES W. POWELL (1834-1902), GROVE K. GILBERT (1843-1918) e CLARENCE E. DUTTON (1841-1912), a Geomorfologia conheceria progressos decisivos. Ao primeiro ficaram-se a dever o conceito fundamental de nível de base da erosão (relações entre os processos de erosão e os movimentos dos continentes), de natureza e capacidade relativa dos processos de erosão, e da classificação genética das formas baseada nas relações entre os vales e as estruturas geológicas e segundo as suas origens (vales antecedentes, consequentes e sobre-impostos), todos eles apresentados num relatório de 1875 sobre o Colorado ⁽⁹⁾, cujo Grand Canyon ele explorou. Para J. POWELL, o nível de base era mais um conceito teórico de que uma realidade física, pela dificuldade de captar o momento em que um rio tenha parado de escavar o seu leito; a forma final da evolução do relevo de uma região corresponderia a uma planura um pouco acima do nível do mar. Depois de A. RAMSAY, depois de J. POWELL, para WILLIAM M. DAVIS ficava apenas, deste modo, a designação do nome dessa forma final: *penneplanície*. G. K. GILBERT deixou uma análise dos processos da erosão subaérea e das numerosas modificações sofridas pelos vales, à medida que os rios erodem. Reconheceu

⁽⁹⁾ J. W. POWELL, *Exploration of the Colorado River of the West and its Tributaries*, Washington, 1875.

particularmente a importância da aplanção lateral na evolução dos vales. A ele se deve também uma das primeiras tentativas do estudo quantitativo das relações entre a carga, o volume, a velocidade e o declive de um rio.

A feição comum do êxito de todos os postulados científicos está na capacidade dos seus autores condensarem e consolidarem num conjunto harmónico as unidades separadas. JAMES HUTTON fê-lo com a sua teoria da sucessão uniforme dos mundos; J.-L. AGASSIZ, com a dos glaciares; J. POWELL, com a do nível de base da erosão fluvial; G. GILBERT, com a dos declives progressivos dos leitos e dos ajustamentos dinâmicos dos mecanismos da erosão. Estavam assim criados os conceitos fundamentais da Geomorfologia, as linhas de pensamento que WILLIAM MORRIS DAVIS exploraria com tanto êxito, dando-lhes coerência e vitalidade, pelos meios mais simples. Como ele próprio afirmava, a sua contribuição pessoal consistiu essencialmente em integrar, sistematizar e definir a sequência normal de acontecimentos num ciclo ideal e procurar uma terminologia para uma classificação genética das formas do relevo terrestre, como apoio para a sua descrição. Segundo KIRK BRYAN, W. DAVIS nunca investigou ou tentou reproduzir experimentalmente os processos cuja existência deduziu ⁽¹⁰⁾. Nascido em Filadélfia, em 1850, de família *quaker*, aos 28 anos de idade WILLIAM DAVIS iniciava-se no ensino. Viajante infatigável, publicou numerosos trabalhos dos resultados das suas observações (aos 40 anos já publicara mais de 100 trabalhos sobre meteorologia, o vale de Connecticut, glaciares, ilhas de corais, desertos, etc.) e ensinou em diversos países — nas universidades de Cambridge (1900) e de Oxford (1908), de Berlim (1908-1909), de Paris (1911-1912) e em universidades americanas — pelo que, em 1912, alguém o apelidou de *doctor mundi*. Entre 1884 e 1889 lançou o esquema do *geographical cycle* e, em 1889, empregou pela primeira vez o termo *penneplain*. Estes dois conceitos que, na Europa, autores como EMMANUEL DE MARTONNE e HENRI BAULIG consolidariam, seriam os alicerces do edifício geomorfológico dos nossos dias. Apesar de todos os ataques, o quadro da evolução cíclica até à fase

⁽¹⁰⁾ K. BRYAN, «Physiography», *Bull. Geol. Soc. of America*, New York, 1941, 50th Ann. vol., pp. 3-15.

de peneplanície ainda domina os esquemas da Geomorfologia actual. Em 1961, numa recensão dos trabalhos de C. A. COTTON, que foi discípulo de W. DAVIS, o mestre francês HENRI BAULIG escreveu: «O esquema clássico de Davis constitui até hoje a melhor introdução ao estudo das formas do terreno», embora reconhecesse as inexactidões da teoria cíclica, ao desprezar a análise rigorosa da complexidade dos mecanismos da modelação do relevo ⁽¹¹⁾. WILLIAM DAVIS, fundador da Geomorfologia como disciplina independente, com um corpo de doutrina coerente e original, morreu com 84 anos. Muito embora deixasse uma obra vasta sobre os mais variados aspectos da Geomorfologia, não chegou a escrever um trabalho de fôlego sobre o seu «ciclo de erosão» e a «erosão normal». A ideia do «ciclo de erosão» — uma superfície plana é deformada bruscamente por uma acção tectónica; sobre o relevo assim criado age a erosão que o reduz, progressivamente, através de fases de juventude, maturidade e velhice, até nova superfície plana, a peneplanície, ponto de partida para novo ciclo — sempre se objectou a sua simplicidade extrema. O próprio W. DAVIS reconhecia e defendia a natureza teórica do modelo, e explicou que o esquema correspondia à construção, termo a termo, de séries evolutivas de formas-tipos; era «por intenção um esquema da imaginação e não um assunto de observação» ⁽¹²⁾ que, deliberadamente simplificado, poderia na realidade sofrer «interrupções» ou complicações, quer de origem tectónica (movimentos da terra em relação ao nível de base), quer provocadas por modificações climáticas ou até por erupções vulcânicas ⁽¹³⁾. WILLIAM DAVIS «considerou as paisagens dentro de uma escala média, local ou regional, nos limites abrangidos pela vista humana» ⁽¹⁴⁾. Todavia, esses limites em breve foram ultrapassados; tornava-se necessário recorrer não só a escalas mais vastas, da geomorfologia climática (estudo simples das influências climáticas contemporâneas, ou paleoclimáticas, na modelação do relevo) e climatogenética (estudo das diferentes

⁽¹¹⁾ H. BAULIG, «La Géomorphologie de C. A. Cotton», *Information Géographique*, Paris, 1961, n.º 1, pp. 14-22.

⁽¹²⁾ W. M. DAVIS, *Geographical Essays*, New York, 1954, p. 281.

⁽¹³⁾ A estas modificações chamou-lhes «acidentes». W. M. DAVIS, «The Geographical Cycle», em *Geographical Essays*, pp. 272-273 e 277.

⁽¹⁴⁾ H. BAULIG, *Essais de Géomorphologie*, Strasbourg, 1950, p. 24.

gerações de formas de relevo, que resultaram de influências climáticas contemporâneas, ou paleoclimáticas), como ainda a escalas mais elementares, dos processos geomórficos.

Na Europa central e oriental, em especial na Alemanha, surgiram os ataques mais vigorosos aos conceitos davisianos. Apesar de ter ensinado em Berlim e de muitos dos seus trabalhos terem sido traduzidos em alemão ⁽¹⁵⁾, as «atitudes intelectuais» de W. DAVIS chocaram profundamente as tradições naturalistas seguidas pelos geógrafos alemães ⁽¹⁶⁾. Para eles, em primeiro lugar estava a acumulação sistemática de observações, o estabelecimento dos factos e, só depois, as generalizações, a teoria. Contra a sucessão progressiva e irreversível de W. DAVIS, isto é, deformação seguida de erosão, WALTER PENCK, na sua *Die Morphologische Analyse* (1924), defendeu as interferências entre movimentos contínuos da crosta terrestre e a acção das forças exógenas: o relevo deve ser analisado sob todos os aspectos, como resultado da acção recíproca dos processos internos e externos, considerados na sua evolução histórica.

II

Nas últimas décadas tem-se imposto a definição de uma geomorfologia climática, isto é, a necessidade da apreciação dos climas do Globo para a devida compreensão da importância dos diferentes processos geomórficos ⁽¹⁷⁾. Com base na dicotomia «ciclo» e «clima», alguns autores têm procurado construir correntes antagónicas, tomar atitudes em extremos opostos. Porém, para além das tendências que as palavras possam encerrar, existe sobretudo uma situação particular, comum noutras ciências, entre duas atitudes de espírito: a oposição entre os clássicos e os renovadores, entre os que se esforçam por tirar todo o proveito de métodos comprovados,

⁽¹⁵⁾ A sua maior obra de Geomorfologia, *Die erklärende Beschreibung der Landformen*, foi publicada em alemão, em 1912.

⁽¹⁶⁾ J. TRICART, *Principes et Méthodes de la Géomorphologie*, Paris, 1965, p. 68.

⁽¹⁷⁾ Um título muitas vezes citado, que reflecte as novas preocupações, é A. CHOLLEY, «Morphologie structurale et morphologie climatique», *Annales de Géographie*, Paris, 1950, vol. 317, pp. 321-335.

apoiados em princípios e conceitos estabelecidos, e aqueles que pretendem rejuvenescer a ciência e estimular a investigação, pela utilização dos resultados dos progressos recentes em ciências vizinhas, e de técnicas inéditas. Nas ciências sólidamente constituídas, felizmente, estes dois pontos de vista equilibram-se; mas, nas que o estão menos, surgem com frequência mal-entendidos persistentes e daí o estado de crise que as caracteriza em determinado momento da sua evolução. Parece ser este o estado actual da Geomorfologia que, para alguns, continua uma ciência demasiado naturalista e para outros demasiado histórica. Reflexo dessa falta de unidade está na própria designação que a ciência tem tido através dos tempos: morfologia da superfície da terra, morfologia da litosfera, morfologia terrestre, morfologia, fisiografia, geomorfologia. Num manual vulgarizado nos E. U. A., *Principles of Geomorphology* (1954), de WILLIAM D. THORNBURY ⁽¹⁸⁾, o autor começa com uma referência breve a alguns conceitos fundamentais desta ciência (pp. 16-33). Numa primeira fase do estudo do relevo pratica-se uma *geomorfologia descritiva*, isto é, a análise fisionómica, quer de tipo qualitativo (morfografia), quer de tipo quantitativo (morfometria), preâmbulo para compreensão dos processos que geram as formas e das suas relações de causalidade: *geomorfologia genética*; cada processo, pelas suas marcas, modela formas características de relevo. De acordo com a natureza daqueles, assim se deverá considerar uma morfodinâmica interna e uma morfodinâmica externa do relevo, duas divisões que são mais conhecidas pelas designações de *geomorfologia estrutural* (as estruturas geológicas seriam os factores dominantes na evolução das formas de relevo e reflectem-se nelas) e *geomorfologia climática* (é necessária a apreciação dos climas do Globo, para o conhecimento dos processos). A *geomorfologia histórica* constitui a parte mais complexa do estudo do relevo, uma vez que estuda a evolução das formas e o estabelecimento das suas idades relativas: a interpretação correcta das formas actuais de relevo é impossível sem o conhecimento das influências das modificações climáticas e geológicas sobrevindas em períodos anteriores

(paleogeomorfologia). Qualquer outro manual ilustra esta tendência da enumeração de conceitos, de conteúdos aparentemente contraditórios. Outro aspecto deste eclectismo teórico é a discussão do lugar da Geomorfologia na classificação das ciências: deverá pertencer ao sistema das ciências geográficas, ou ao sistema das ciências geológicas? Os oponentes esquecem, porém, a possibilidade de um lugar único: uma ciência de «fronteira», independente, no contacto dos sistemas geográfico e geológico, definida pelos seus objectos de estudo (o relevo da superfície da Terra é, ao mesmo tempo, uma componente do ambiente geográfico e um produto da evolução geológica), e pelos progressos dos seus pontos de vista metodológicos e das suas teorias gerais. Ciência que atingiu a sistematização de uma forma rápida e numa época relativamente recente, o impulso do seu desenvolvimento, tanto do ponto de vista teórico como do ponto de vista prático, em especial nos últimos vinte a trinta anos, fê-la alcançar, também rapidamente, a fase necessária da renovação: a substituição da interpretação dogmática de certos conceitos (ciclo de erosão) e da aproximação formalista para a solução de certos problemas (superfícies de erosão), pela introdução de outras preocupações, tanto climáticas como aplicadas (cartografia geomorfológica), para a resolução de problemas que os princípios sedutores do *geographical cycle*, com base no esquema de uma evolução ordenada que, partindo de um estado inicial, tende gradualmente para uma forma final, são já incapazes de satisfazer. Da mesma forma há quem defenda a necessidade de arejamento da evolução hipertrofiada criada pelos esquemas da geomorfologia climática... Embora o interesse pelas circunstâncias bioclimáticas da elaboração das formas tivesse sido percebido muito cedo, só numa época recente o assunto viria a ser objecto de um exame metódico, de orientação geográfica. Ao mesmo tempo, o progresso dos conhecimentos geológicos impunha a renúncia aos esquemas tectónicos tradicionais: à ideia de surtos orogénicos breves, separados por períodos longos de atonia tectónica. Assim sucumbiu o quadro geocronológico em que se inseria o esquema cíclico. O conhecimento das relações de tipos de solos ou de variações de resistência das rochas com condições particulares de clima conduziu a outros caminhos de investigação geomorfológica. O es-

⁽¹⁸⁾ W. D. THORNBURY, *Principles of Geomorphology*, New York, 1965 (9.ª edição).

tudo da evolução do relevo em regiões tropicais húmidas, por exemplo, veio mostrar que, sendo a erosão fluvial dotada de características diferentes das das regiões temperadas ou das regiões frígidas, as formas de vales teriam de ser descritas como formas independentes e não como variantes de um mesmo tipo básico. A literatura geomorfológica é rica em estudos de formas particulares — perfis de vertentes, superfícies planas, dunas, etc. — relacionadas com o ambiente climático local ou regional. Autores alemães como W. BORNHARDT (1899), chamaram a atenção para as vastas planuras com *Inselberge* nos climas de savana da África oriental, encontradas também sob climas análogos noutras áreas do Globo. Mas, não só isso, reconheceram-se as relações do clima com aspectos diferentes do perfil de uma vertente, e de formas semelhantes em áreas marginais dos climas tropicais. S. PASSARGE, ao trabalhar no Kalahari em 1904, chamou a atenção para os fenómenos de oscilações bioclimáticas nas margens dos grandes desertos, que teriam facilitado o desenvolvimento das superfícies de sopé: períodos húmidos, com floresta, favoreceriam uma alteração profunda das rochas; a destruição da cobertura de vegetação, em períodos de clima mais seco, facilitaria o escoamento dos produtos dessa alteração. A ideia foi retomada em 1956 por H. ERHART ⁽¹⁹⁾, ao admitir a alternância de períodos biostáticos e de períodos rexistáticos (rupturas de equilíbrio biológico) para explicação dos fenómenos pedogenéticos e esclarecimento de um grande número de problemas geológicos, geoquímicos e biológicos. Formas previamente situadas no ambiente de certo tipo de clima acabaram por ser referidas em ocorrências mais amplas. LESTER KING, por exemplo, tem-se recusado a admitir que *Inselberge* e *pediments* estejam apenas confinados às regiões tropicais de deserto ou de savana. Segundo este autor, o «clima não é, de modo nenhum, o factor fundamental» ⁽²⁰⁾ da modelação das formas de relevo. Todavia, numerosas observações têm demonstrado a importância deste factor. Os vales das zonas de erosão normal, de

⁽¹⁹⁾ H. ERHART, *La genèse des sols en tant que phénomène géologique. (Esquisse d'une théorie géologique et géochimique. Biostasie et rhexistasie)*, Paris, 1956.

⁽²⁰⁾ L. C. KING, *The Morphology of the Earth. A Study and Synthesis of World Scenery*, Edinburgh, 1962, p. 152.

vertentes geralmente caracterizadas por grande intensidade erosiva, passariam, de acordo com o esquema davisiano, pelas fases de juventude, maturidade e velhice, numa sequência de evolução progressiva e irreversível do relevo; nos trópicos húmidos, exceptuando as áreas de montanhas jovens, a grande maioria dos cursos de água tem os seus leitos escavados em depósitos espessos de rocha alterada e os sedimentos transportados consistem numa mistura de argila e areia, com raros calhaus ou blocos. A actividade erosiva, num e noutra caso, é tão diferente, que a formação do vale, a evolução das vertentes e, no fundo, de todo o relevo, devem seguir linhas independentes. A dissecação não depende apenas do declive mas, ainda, do grau de *weathering*, quer do tipo mecânico, quer do tipo químico, dos materiais da crosta, que condiciona fortemente a energia dos rios. Assim, por exemplo, nos trópicos, onde alternam uma estação de chuvas e uma estação seca, nas vertentes de fraco declive a erosão exerce-se, em regra, sobre uma faixa onde a alteração química penetra profundamente nos materiais; os rios, carregando-se de materiais finos, perdem, em contrapartida, a capacidade de incisão rápida se não aumentam o declive do leito. Os declives, conservando-se suaves, desenham vales quase planos, que representam melhor formas de *washing-off* que de dissecação ⁽²¹⁾. Exemplos destes vales podem ser observados em Angola, a menos de 500 km do mar e a altitudes que vão até cerca de 1 500 m! São, no conjunto, muito diferentes dos vales quase planos, do estado senil do ciclo de Davis, sem haver provas de que eles tenham resultado da evolução de vales em V. As duas formas não são necessariamente elos de uma cadeia evolutiva mas, pelo contrário, podem existir independentemente. Por outro lado, rios como o Zaire, o M'Bridge, o Loge, o Cuanza, etc., do litoral de Angola, têm quedas e rápidos, em vales de vertentes abruptas, apenas

⁽²¹⁾ A estes vales largos, de fundos planos e vertentes suaves (2 p. 1000) HERBERT LOUIS tem chamado *Flachmuldentäler* e estudado os seus processos de evolução: «Über Rumpfflächen — und Talbildung in den wechselfeuchten Tropen besonders nach Studien in Tanganyka», *Zeitsch. für Geomorphologie*, Berlin, 1964, vol. 8, pp. 43-70. V. ainda M. MONTEIRO MARQUES, «Notas sobre a Geomorfologia de Angola. 1 — Significado morfológico de algumas anharas do alto», *Garcia de Orta*, Lisboa, 1963, vol. 11, n.º 3, pp. 541-559.

a algumas dezenas ou poucas centenas de quilómetros do oceano! Outro aspecto conspícuo em climas tropicais é o da existência de vastas superfícies de inundação, localizadas em níveis diferentes. JULIUS BÜDEL estudou em pormenor, na vertente oriental do Decão, superfícies desse tipo a 200, 500, 750 e 900 m de altitude, onde os processos complexos ainda estão activos e, em grande parte, independentes dos níveis de base de erosão clássicos. Para esse autor, trata-se de um processo peculiar de «aplanação a dois níveis» (*Doppelten Einebnungsflächen*), favorecido por um clima de savana ⁽²²⁾. Perante a vastidão e regularidade das superfícies de aplanação nas regiões tropicais cresceu a ideia das superfícies das regiões extra-tropicais se terem formado em climas semelhantes aos que hoje predominam nos trópicos semi-húmidos. Na Europa central, por exemplo, o clima de uma parte do Terciário foi do tipo tropical; durante o Quaternário alternaram períodos de clima temperado e períodos de clima frígido e actualmente domina um clima temperado. Não serão algumas dessas superfícies, anteriormente descritas como peneplanícies, casos de antigas planícies de inundação, em regime tropical?

A preocupação do estudo comparativo dos tipos de erosão subaérea nos diferentes quadros climáticos do Globo — sirvam de exemplo, entre muitas outras, as tentativas de PIERRE BIROT e de JEAN TRICART ⁽²³⁾ — têm levado os autores a oporem à eficácia de certos sistemas de erosão a lentidão de outros. Desta forma foi nascendo a ideia dos «sistemas de erosão», ou «sistemas morfogenéticos», definidos como conjuntos de processos complexos, ou de combinação de factores da modelação do relevo, e que têm sido utilizados como bases de uma zonagem morfoclimática do Globo, a partir dos fenómenos actuais e também das influências paleoclimáticas. Vários ensaios têm sido propostos, tornando-se notáveis os numerosos trabalhos que JULIUS BÜDEL, desde há muitos anos, tem publi-

⁽²²⁾ J. BÜDEL, «Die Relieftypen der Flächenspülzone Süd-Indiens am Ostabfall Dekans gegen Madras», *Colloquium Geographicum*, Bonn, 1965, vol. 8.

⁽²³⁾ P. BIROT, *Problèmes de Morphologie Générale*, Lisbonne, 1949; *Le Cycle d'Erosion sous différents Climats*, Rio de Janeiro, 1960; J. TRICART, *Traité de Géomorphologie*, Paris, a partir de 1962, colecção de volumes sobre aspectos do modelado terrestre em vários climas.

cado ⁽²⁴⁾. A necessidade de reconhecer tanto as influências climáticas fósseis como as contemporâneas levou-o a rever as suas primeiras classificações à luz de elementos novos, adquiridos quer através de observações pessoais quer de outros investigadores. A classificação mais recente, de 1963, pretende sin-

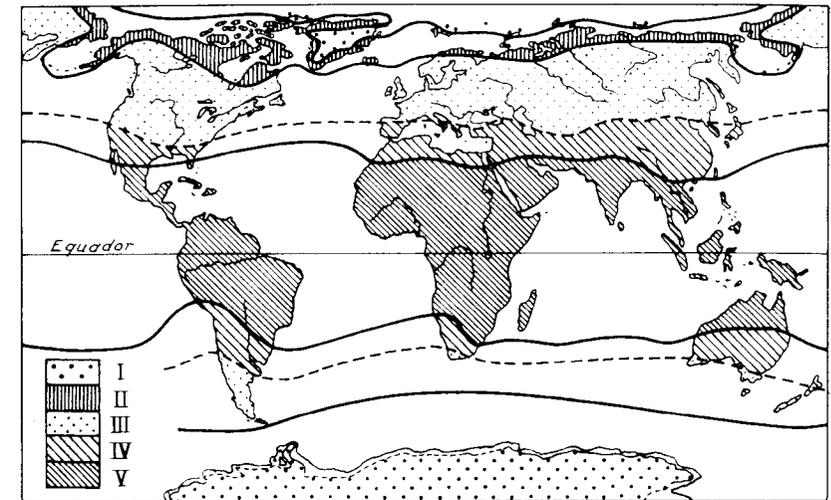


Fig. 1 — As áreas morfoclimáticas da Terra, segundo J. BÜDEL.

tetizar a grande variedade de regiões morfogenéticas e climatogenéticas em cinco áreas, que o autor cartografou num planisfério (fig. 1), fazendo combinar «factores climáticos» e «factores aclimáticos» (*petrovariansz*, *epirovariantsz*, distância do nível de base, influência do relevo e influência humana):

- I Zona de glaciares (regiões polares e montanhas elevadas).
- II Zona de formação pronunciada de vales (regiões polares, actualmente livres de gelos, mas com solos gelados).

⁽²⁴⁾ J. BÜDEL, «Das System der Klimatischen Geomorphologie», *Verhandlungen Deutscher Geographentag*, 1948, vol. 27, pp. 1-36. Este autor anuncia o primeiro tratado de geomorfologia climática, de que dá uma pequena amostra em «Klima-genetische Geomorphologie», *Geographische Rundschau*, Braunschweig, 1963, vol. 7, pp. 269-285.

- III Zona extratropical de formação de vales: engloba a maioria das regiões das latitudes médias; os efeitos dos processos de formação de vales estão, regra geral, subordinados aos testemunhos fósseis do período pliocénico.
- IV Zona «subtropical» de *pediment* e de formação de vales: é uma área de transição entre III e V.
- V Zona tropical de formação de superfícies de aplanção: engloba regiões de floresta de chuva.

Juntamente com este quadro de classificação distingue três aspectos fundamentais da geomorfologia: a *geomorfologia dinâmica*, ou da investigação de processos simples; a *geomorfologia climática*, ou da investigação do conjunto dos processos morfogenéticos activos — da sua diferenciação, de acordo com o clima, resultam as zonas I a V, com efeitos diferentes dos factores climáticos; a *geomorfologia climato-genética*, ou da análise de todo o relevo, pela distinção dos aspectos que são devidos ao complexo morfogenético activo e das gerações de formas paleoclimáticas.

A aplicação deste último esquema encontra, desde logo, três dificuldades: por toda a parte, desde os polos ao equador, existem aspectos variados dessas gerações; quase por toda a parte, mas particularmente na zona extratropical, as formas fósseis ocupam uma área mais vasta que as formas desenvolvidas pelos processos em actividade; por esse motivo estes processos são incapazes de agirem livremente, dados os limites impostos pelas formas antigas de relevo. A influência da zonalidade é incontestável mas, para ser decisiva e poder servir de fundamento à ordenação dos aspectos morfológicos, seria preciso admitir a estabilidade das zonas bioclimáticas durante períodos longos da história geológica do Globo. E este postulado vai contra objecções análogas às que foram feitas à estabilidade tectónica. No tempo e no espaço sucederam-se regimes climáticos diferentes, por vezes opostos. Dentro de um mesmo padrão de clima, mesmo sem mutações profundas, as variações foram importantes e os seus efeitos sobre os processos morfológicos têm-se manifestado com um relativo atraso. A apreciação desta classificação de J. BÜDEL pode ser conduzida através da comparação das zonas II e V, uma vez

que as duas representam contrastes vigorosos. A primeira, abrangendo as áreas de tundra periglaciária e as regiões de *Frostschutt* (gelifracção), entre o limite polar das árvores e o limite da neve, é caracterizada por vales profundos com vertentes declivosas e fundos largos, em regra ocupados por cursos que cortam quer materiais brandos, quer materiais duros, sem quedas ou rápidos. Embora essas áreas tenham estado cobertas por gelos durante o período glaciário mais recente (Würm na Europa; Wisconsin na América do Norte), dos rios seleccionados por J. BÜDEL, os vinte e cinco mais importantes apresentam hoje perfis longitudinais regularizados. De acordo com este autor, nesta zona, a grande degradação dos vales resulta da acção combinada do gelo, da solifluxão, da erosão fluvial e da escorrência em manto. A solifluxão não só promove o desgaste das vertentes como aumenta a degradação fluvial, ao fornecer materiais grosseiros aos rios; estes, avolumados pelo derreter do gelo e da neve durante o curto Verão ártico e pelo excedente de águas superficiais, incapazes de se infiltrarem no solo gelado, acabam por adquirir competência e capacidade elevadas para o transporte dos materiais. Para a degradação dos vales contribui também o transporte de materiais finos em águas profundas, através dos canais superficiais, abertos pelos fragmentos gelados na camada de solo de degelo, durante o Verão. Actualmente, a zona de formação pronunciada de vales cobre cerca de 8 milhões de km² no hemisfério norte, além de várias ilhas pequenas no hemisfério sul e algumas faixas costeiras da Antártida. Durante o Pliocénico ocupou área muito maior, de cerca de 15 milhões de km², na Eurásia, na América do Norte, na Patagónia e na Nova Zelândia. Testemunhos de formação pronunciada de vales aparecem nos planaltos terciários da Europa central, onde se podem observar fenómenos de meandrização de pequenos rios post-glaciares no interior de vales largos, de fundos planos, em contraste com vertentes declivosas, semelhantes aos que evoluem, actualmente, nas regiões periglaciares⁽²⁵⁾. Nas regiões tropicais, húmidas e alternadamente húmidas e secas, as paisagens de vales profundos e

(25) H. KÖRBER, «Die Entwicklung des Maintales», *Würzburger Geographische Arbeiten*, Würzburg, 1962, vol. 10.

largos, de fundos planos, que caracterizam os climas periglaciares, são substituídas por outras, de planuras fluviais vastas, dominadas por *Inselberge* irregularmente distribuídos. J. BÜDEL atribui este conjunto de formas tropicais aos efeitos de uma «dupla aplanção», processo resultante da cooperação de uma alteração química intensa e da evolução do solo em profundidade. Uma vez que a alteração química pode atingir 300 m, ou mesmo mais, de profundidade, as duas superfícies aparecem então separadas por uma massa muito espessa de rególito. A superfície mais profunda, ou «plano de base da alteração química», representando a fronteira entre esta e o *bedrock*, pode apresentar-se irregular, em consequência da dureza e da estrutura dos materiais; pelo contrário, a superfície superior ou cimeira, periodicamente inundada por mantos de água que transportam facilmente os materiais finos (*sheet-flood*), permanece bastante plana. Muitas vezes pode suceder que a velocidade de evolução da superfície inferior seja semelhante à velocidade de evolução da superfície superior. Todavia, em áreas de levantamento posterior, em regra a superfície superior acaba por truncar a superfície inferior e esta ficará exposta, com as suas irregularidades (*Inselberge*). Uma vez que falem aos rios os materiais grosseiros, eles ficarão incapazes de escavar canais definitivos, mesmo quando transportem bastante água, e de manter a regularização dos perfis longitudinais quando cruzam materiais mais resistentes; isto poderá explicar, em certa medida, os perfis longitudinais do Zaire, do Niger, do Nilo e de outros rios tropicais, com as suas secções declivosas. A desnudação consiste, por conseguinte, na formação de planuras vastas (*spülflächen*), diferentes das dos vales bem definidos da zona periglaciária.

Os progressos do estudo da génese dos minerais das argilas e do seu significado climático têm levado à revisão de certas teorias sobre a evolução das grandes aplanções. Em 1936, OTTO JESSEN definiu as grandes superfícies de aplanção do litoral de Angola com os seus *Inselberge*, em rochas cristalinas, graníticas e gnéissicas, como o resultado da expansão dos *pediments*, sob condições climáticas favoráveis (Aw''i, da classificação de KÖPPEN) ⁽²⁶⁾. Mais tarde, o mesmo autor alargou

⁽²⁶⁾ OTTO JESSEN, *Reisen und Forschungen in Angola*, Berlin, 1936.

o âmbito da sua teoria, aplicando-a na explicação das aplanções da Europa central, onde as peneplanícies e os *pediments* evoluíram sobre xistos, calcários e arenitos, sob climas do tipo Florida (Aw-Cfa) ou do tipo Hong-Kong (Cw-Cfa), diferentes dos que aí existem actualmente ⁽²⁷⁾. Como esta, outras teorias têm defendido a hipótese de uma evolução monoclimática das formas e nem sempre têm tomado em devida conta a importância dos aspectos petrológico-mineralógicos sob a intensidade dos processos num ambiente de savana. Ora as investigações mais recentes têm mostrado a evidência de variações climáticas nos trópicos, quer durante o Quaternário, quer durante o Terciário; H. MORTENSEN, em 1924, definiu os *Inselberge* e as aplanções associadas como *Mehrzeitformen*; J. TRICART e A. CAILLEUX, em 1955, chamaram a atenção para os desvios bem marcados da faixa equatorial, em África, no sentido da aridez; diversos especialistas belgas mostraram como toda a faixa africana entre os dois desertos conheceu variações climáticas importantes, durante o Quaternário. Com base nestes argumentos e nos resultados das suas investigações, J. P. BAKKER e TH. W. LEVELT desenvolveram a hipótese de uma sucessão bastante rápida de variações climáticas, quer no início do Terciário, quer no Neogénico, de periodicidades de 6 e 2 milhões de anos; «a sua duração está de acordo com o espaço de tempo necessário para a formação de *pediments*, sob condições variáveis de clima» ⁽²⁸⁾.

III

Desde meados do século XIX, as tentativas de descrição sistemática e de interpretação das formas do relevo do Globo, modeladas pelos agentes erosivos, têm conhecido diversas orientações. O estudo das superfícies de aplanção, objectivo final da evolução, orientou os investigadores em três direcções: procurou-se um agente de erosão cuja acção fosse eficaz, uni-

⁽²⁷⁾ J. P. BAKKER e TH. W. M. LEVELT, «An inquiry into the probability of a polyclimatic development of Peneplains and Pediments (Etchplains) in Europe during the middle and upper senonian and the tertiary period», *Publications du Service Géologique de Luxembourg*, 1964, vol. XIV, pp. 27-76.

⁽²⁸⁾ Ob. cit. na nota anterior, p. 66.

versal e permanente — o mar —, e as superfícies foram consideradas de abrasão marinha. Todavia, a insuficiência desta explicação, fàcilmente contestada, tornou-se demasiado evidente. Com WILLIAM DAVIS introduziu-se o conceito do «ciclo de erosão», com as suas três fases de evolução, marcando a transição de um relevo vigoroso, de montanha, para um relevo de peneplanície, que muito contribuiu para emancipar a Geomorfologia da sua ligação com a Geologia. O esquematismo desta interpretação, o seu carácter unilateral e a ausência de certas relações factuais, provocaram reacções inevitáveis: tendências para se criar uma teoria «não cíclica», para se atribuir às formas uma significação climática, de climas actuais e climas do passado, e para se dar lugar importante às noções de estágio e de fase como unidades cronológicas de relevo ⁽²⁹⁾. Nenhuma destas tentativas tem resultado plenamente satisfatória. Ao debate plataforma de abrasão-peneplanície, que entusiasmou os investigadores do século passado e princípio do actual, sucedeu a controvérsia peneplanície-pediplanície. LESTER KING propôs o termo «pediplanície» para descrever o resultado final de uma evolução longa e contínua em ambientes de clima semiárido, ou de tipo semelhante; actualmente, em trabalhos mais recentes, o mesmo autor chega a negar a existência de peneplanícies, estendendo o domínio da pediplanação a todas as regiões da Terra ⁽³⁰⁾.

O problema não é fácil. A análise dos relevos da superfície terrestre impõe o estudo conjunto de duas séries complexas de factores, contínua e historicamente ligados: os relativos à natureza das formas, isto é, às circunstâncias bioclimáticas e às circunstâncias internas em que os seus elementos puderam ser elaborados; os que se referem à sua vitalidade, à sua persistência, e que permitem compreender porque é que não foram destruídos. C. KLEIN traduziu da seguinte maneira estas relações: «a evolução geomorfológica é regulada pela forma como se conjugam, segundo a linha do tempo, três ritmos funda-

⁽²⁹⁾ P. V. COTET, «La Géomorphologie et ses subdivisions. Quelques considérations générales», *Cahiers de Géographie de Québec*, 1966, vol. 19, pp. 101-107.

⁽³⁰⁾ Ob. cit. nota 20.

mentais: os ritmos tectónicos, os ritmos eustáticos e os ritmos bioclimáticos» ⁽³¹⁾.

Aos grandes esquemas de conjunto de há algumas décadas, ao desejo de explicar graças a eles os relevos regionais, tem sucedido, pouco a pouco, um interesse crescente pela verificação rigorosa dos processos, dos aspectos quantitativos dos fenómenos. Neste campo merecem referência especial os trabalhos dos geomorfólogos americanos, nomeadamente os de A. N. STRAHLER que, em 1952, apresentou um sistema de geomorfologia dinâmica, fundamentado em princípios básicos da física dos fluidos e da construção de modelos para estudo dos processos geomórficos, de acordo com dois pontos de vista essenciais: geomorfologia dinâmica (*timeless*), analítica, quantitativa; geomorfologia histórica (*timebound*), regional, apenas para permitir um sistema de ordenação genética de classificação das formas ⁽³²⁾. Simplesmente, nenhum dos pontos de vista poderá prosseguir independentemente do outro: o geomorfólogo dinâmico tem de estar atento às modificações temporais dos processos que analisa. Embora possam dar resultados importantes, os índices quantitativos têm significado acessório na investigação geomorfológica actual. A complexidade excepcional da génese do relevo da superfície da Terra, como produto de um sistema complexo, multicomposto, historicamente desenvolvido e de interações conflituosas, restringe ainda a aplicação do aparelho matemático em Geomorfologia. Sòmente dentro do quadro geral de uma análise qualitativa e sob a sua verificação directa se tornará possível uma aproximação quantitativa; só desta maneira ela não tomará o carácter empírico e ficará mais ou menos garantida contra uma aproximação demasiado abstracta ou demasiado especulativa dos objectos estudados. Se o ciclo de DAVIS resultou de uma visão estática das formas do relevo terrestre e constituiu, em si, um modelo, a interpretação dinâmica das formas do relevo terrestre não deverá incorrer no exagero da especulação

⁽³¹⁾ C. KLEIN, «La notion de rythme en morphologie», *Norois*, Poitiers, 1960, vol. 28, pp. 373-387.

⁽³²⁾ A. N. STRAHLER, «Dynamic basis of Geomorphology», *Bull. Geolog. Society of America*, New York, 1962, n.º 63, pp. 923-938.

matemática e física sem base na observação ou sem confronto com ela.

Ciência de progressos rápidos, que conhece já uma diferenciação e especialização crescentes, testemunhos das suas imensas potencialidades, o grande perigo está, exactamente, na perda da sua unidade, porque o relevo é unitário. Evoluicionando junto de outras ciências que lhe prestam auxílio, a Geomorfologia deverá manter-se como corpo unido de ciência.

ILÍDIO DO AMARAL

RÉSUMÉ

Les tendances de la Géomorphologie. Aux XVIII^e et XIX^e siècles, les principales tentatives d'interprétation des formes du relief furent marquées par la lutte de quelques esprits progressistes (J. HUTTON) contre les théories catastrophistes, de nette inspiration biblique, qui étaient généralement admises. Ce n'est qu'après une lente évolution progressive au rythme inégal, vers la fin du XIX siècle, quand les chercheurs nord-américains commencèrent à étudier l'Ouest de leur pays et quand WILLIAM M. DAVIS formula ses principes sur l'«érosion normale» et le «cycle d'érosion» (1889), que la Géomorphologie s'érigea en science indépendante, en se détachant de la Géologie à laquelle elle avait été jusque-là étroitement subordonnée. Après s'être surtout préoccupés de la définition structurale des formes, les auteurs abordèrent bientôt l'étude des processus externes du modelé dans le cadre des concepts «cycliques». Plus récemment, c'est dans la zonation climatique du Globe qu'on a cherché la clef de l'explication de l'importance relative des divers types de processus dans leurs combinaisons actuelles ou passées, et la définition des grandes régions morphogénétiques (J. BÜDEL). A la discussion «plateforme d'abrasion ou pénéplaine?», succéda ainsi la controverse «pénéplaine ou pédiplaine?» (L. KING). Mais, à côté de ces grandioses schémas d'ensemble, s'imposent de plus en plus des études rigoureuses du mode d'action des processus, ainsi que des mesures portant sur l'aspect quantitatif des phénomènes auxquels peuvent s'appliquer des méthodes physico-mathématiques (A. STRAHLER).