

NEOTECTÔNICA E MORFOTECTÔNICA

AULA 3

ESTUDOS DAS PAISAGENS – GEOMORFOLOGIA

Prof. Eduardo Salamuni

ESTUDO DAS PAISAGENS E GEOMORFOLOGIA

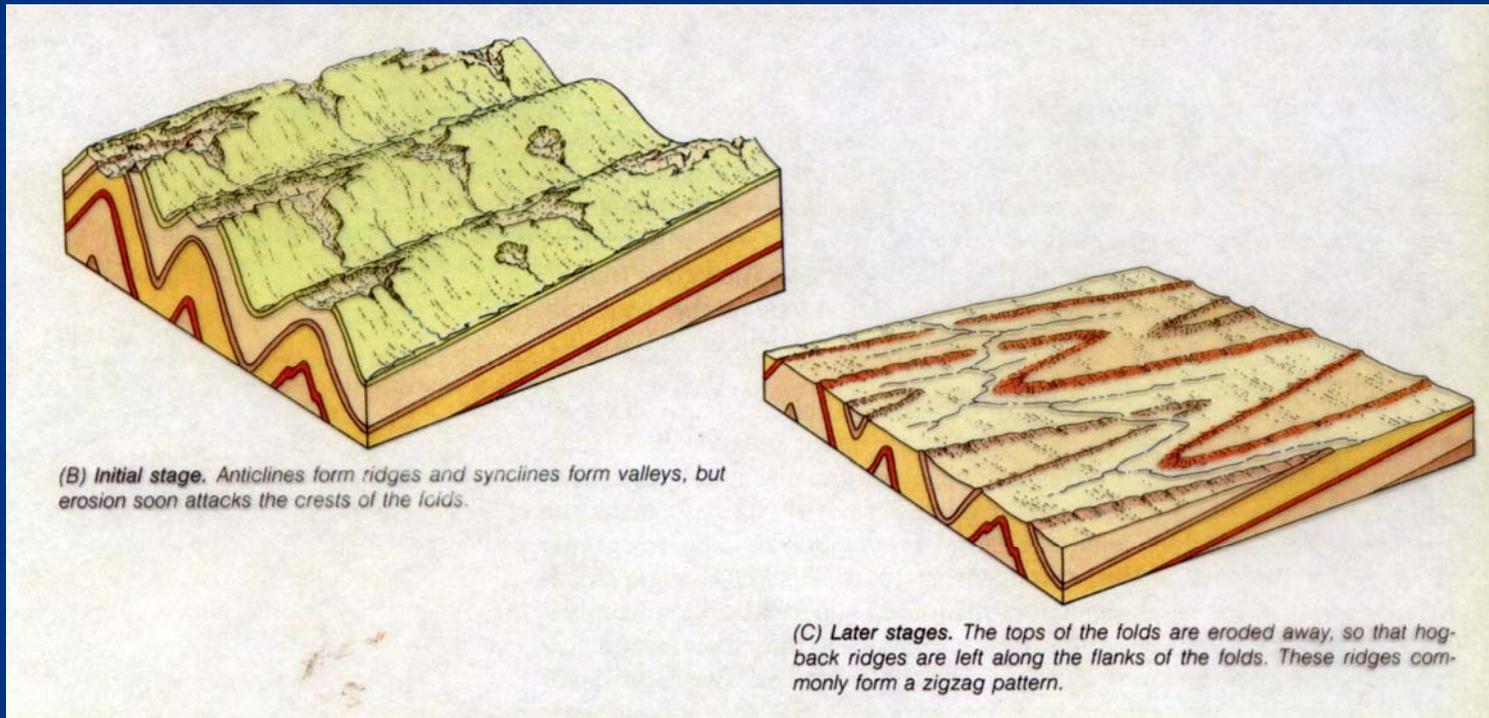
- Estudo sistemático das formas de relevo, baseado nas características que lhes determinaram a gênese e a evolução.
- Premissas: (a) natureza das rochas, (b) *estruturas* (intrínsecas ou extrínsecas), (c) clima, (d) forças endógenas (tectônicas) e exógenas, considerados como fatores construtores e destruidores do relevo e da paisagem.

Termos e conceitos importantes

- **Erosão**: Parte do processo de denudação que inclui a remoção física, a solução química e o transporte de solo e rocha . Agentes: água, vento, movimento do gelo e movimento de massa.
- **Superfície de erosão ou superfície de aplanamento**: Superfície levemente ondulada que corta indiscriminadamente as estruturas geológicas subjacentes como resultado de um longo período de erosão.

Há tipos diferentes de superfícies, dependendo do seu ambiente: peneplanação (climas temperados úmidos), etchplanação (climas tropicais úmidos) e pediplanação (climas semi-áridos). Processos marinhos podem erodir superfícies de erosão marinhos mais antigas.
- **Denudação**: exposição de porções subjacentes à superfície em processo de erosão. Envolve intemperismo e transporte de material e todos os processos concernentes à erosão.

relembrando...



Os processos tectônicos internos da crosta inicialmente podem gerar montanhas e vales principalmente em regiões orogênicas. A partir dos processos de denudação e dissecação haverá pediplanação e/ou peneplanação até que novos processos de movimentação tectônica ocorram novamente.

- **Geotextura ou morfotextura**: ligados a processos endógenos em escala continental (massas continentais, grandes zonas montanhosas, depressões oceânicas e escudos). São afetadas / construídas pelas morfoestruturas;
- **Paisagem (*landscape*)**: tudo que se relaciona às características superficiais de um terreno. Posiciona-se na interfície da litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera;
- **Morfoestrutura e morfoescultura** (segundo Gerasimov e Mescherikov, 1968) :
morfoesculturas estão ligadas principalmente a processos exógenos e secundariamente a endógenos em escala local (relevos montanhosos, vales, planícies e planaltos, regiões costeiras e outras).

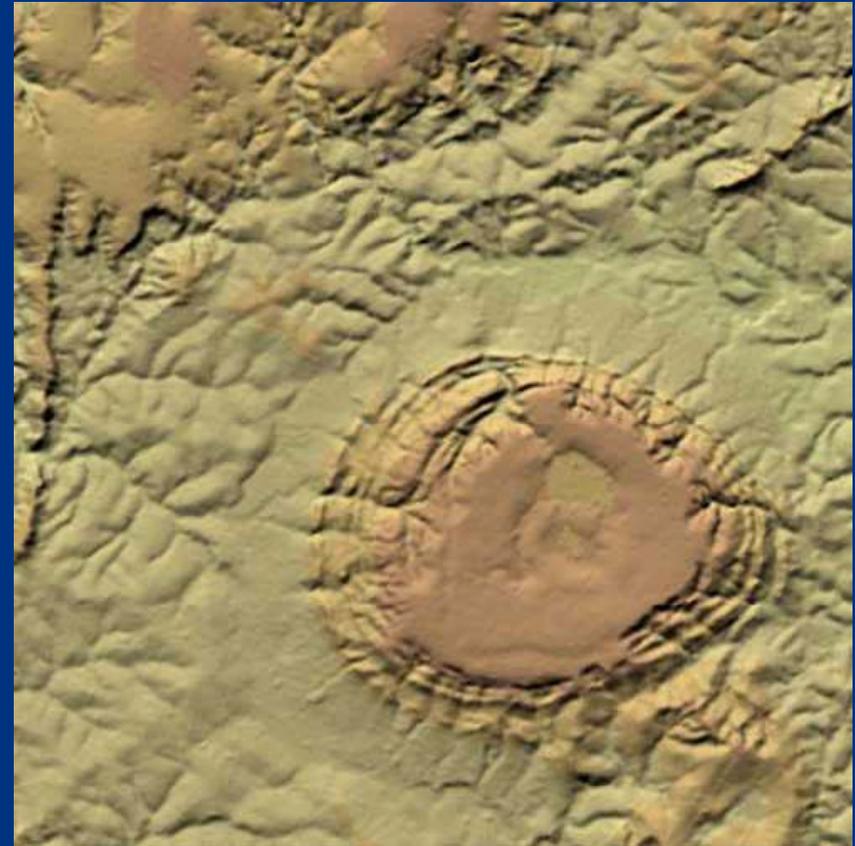
morfoestrutura, por sua vez, consiste nas feições geomorfológicas correlacionadas exclusivamente às estruturas geológicas. Ligadas principalmente a processos endógenos em escala regional e secundariamente a processos exógenos (bacias sedimentares, cadeias orogênicas menores e plataformas). São afetadas pelas morfoesculturas;

- **Morfotectônica:** “geomorfologia + tectônica”: processos que agem de forma a criar morfoestruturas em nível macrogeomorfológico.

Princípios Básicos de Geomorfologia

Método: refletir sobre aquilo que vemos para “enxergar” aquilo que não vemos.

- A geomorfologia objetiva a análise das formas do relevo por meio de sua descrição e dos processos que as formaram.
- A forma do relevo é dinâmica e muda rapidamente no Tempo Geológico. Exemplo: o tempo de vida de uma escarpa "fresca" em climas temperados é de 100.000 anos em média.
- A análise geomorfológica implica em se reconhecer as diferentes fases evolutivas a que esteve submetida.



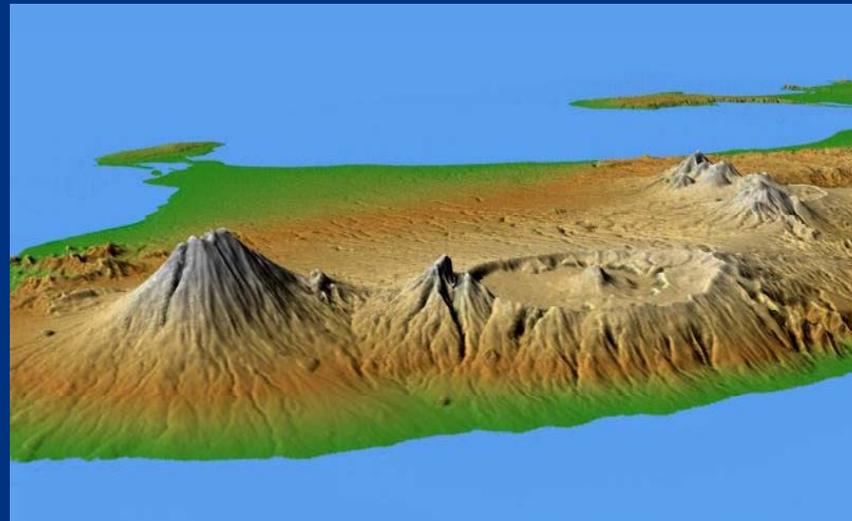
Domo de Poços de Caldas - MG

Processos Geomorfológicos

- A forma da superfície da crosta terrestre é representada em um tempo qualquer, pelos efeitos superficiais, **processos exogenéticos**, e pelos efeitos internos da crosta, **processos endogenéticos**.
- **Processos exogenéticos**: incluem a ação da água, do gelo e do vento, envolvendo processos de **denudação**, caracterizada pela remoção do material (redução da elevação do relevo). Há poucas exceções, como por exemplo a deposição de dunas de areia que pode representar um incremento de relevo. A denudação pode envolver tanto a denudação física quanto a dissolução química. As duas principais fontes de energia são a solar e a gravitacional.

- **Processos endogenéticos:** são em geral construcionais e envolvem aumento de relevo (exceção em fossa submarina ou frente de subducção).

Subdivide-se em: **(a)** processos ígneos, com massiva extrusão de rocha fundida, magma, na superfície; **(b)** processos orogenéticos, ou seja a formação de cinturões de montanhas **(c)** processos extensionais e extensionais-transtensivos, com formação de *rifts valleys* e cadeias de montanhas laterais (meso-oceânicas); **(d)** processos epirogenéticos, que constitui o levantamento de largas áreas da crosta sem processos tectônicos clássicos.



Exemplos de construção ígnea em orógenos



Osorno – Chile.
Foto: E. Salamuni



Batólito riolítico – Argentina
Foto: E. Salamuni

Sistemas Geomórficos

Um sistema pode ser definido como um conjunto de objetos e/ou características às quais podem estar relacionadas entre si de forma dependente compondo uma entidade mais ou menos complexa

- Sistemas morfológicos: representados pelas relações estatísticas entre as propriedades morfológicas dos elementos de paisagem.
- Sistemas gravitacionais (*cascading systems*): consideram os movimentos de massa e fluxos de energia através da paisagem.
- Sistemas de processos-respostas: interação entre os dois sistemas anteriores, resultante entre os processos e a forma das paisagens.

Hierarquia de escalas espacial e temporal em geomorfologia (Summerfield, 1989)

DIMENSÕES		EXEMPLOS DE PAISAGENS				PRINCIPAIS FATORES DE CONTROLE		ESCALA DE DURAÇÃO TEMPORAL	
ESCALA ESPACIAL	Linear (Km)	Areal (Km ²)	Endogenético	Fluvial	Exogenético Glacial	Eólico	Endogenético	Exogenético	
MICRO	<0.5	<0.25	Escarpas de falhas menores ou secundárias	Poças e <i>riffles</i> em pequenos canais	Pequenas cristas de morainas	Marcas de areias	Terremotos individuais e erupções vulcânicas	Microclimas eventos meteorológicos	Tempo estável 10 ¹ a
MESO	0.5-10	0.25-10 ²	Pequenos vulcões	meandros	Pequenos vales glaciais	Dunas	Soerguimento isostático local e regional; sismicidade e vulcanismos localizados	Climas locais; mudanças climáticas de curtas durações	Tempo dinâmico 10 ³ a
MACRO	10-10 ³	10 ² -10 ⁶	Terrenos em blocos falhados	Planícies de rios principais	Calotas de gelos em montanhas	Areias de praias	Soerguimento e subsidência regional	Climas regionais; mudanças climáticas de longa duração (glacial-interglacial)	Tempo cíclico
MEGA	>10 ³	>10 ⁶	Principais cordilheiras	Principais bacias de drenagem	Calotas de gelos continentais	Extensas praias oceânicas	Padrões de soerguimentos, subsidências e movimentos continentais de longa duração (<i>long term</i>)	Principais zonas climáticas; mudanças climáticas muito longas (idades do gelo)	10 ⁷ a

Sistemas Morfológicos

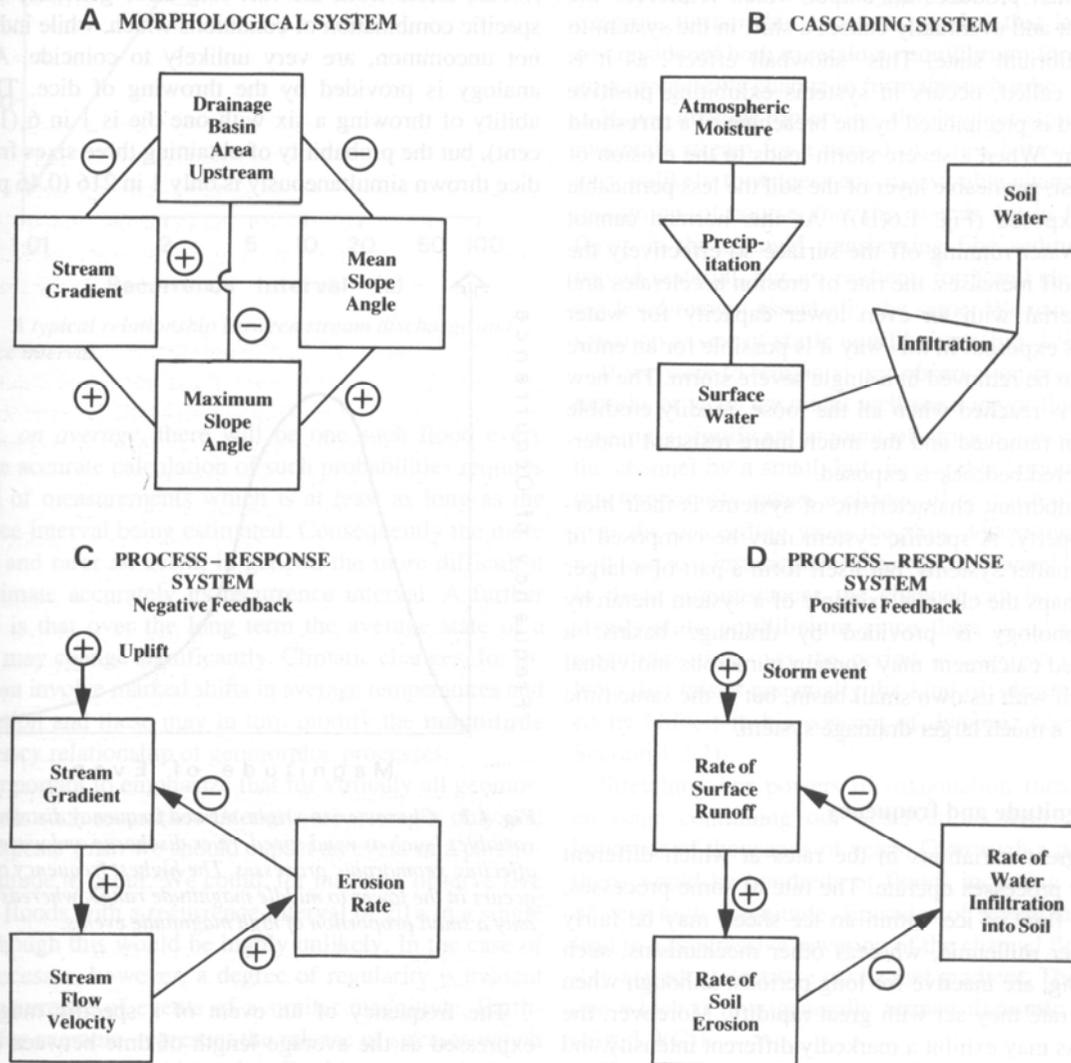
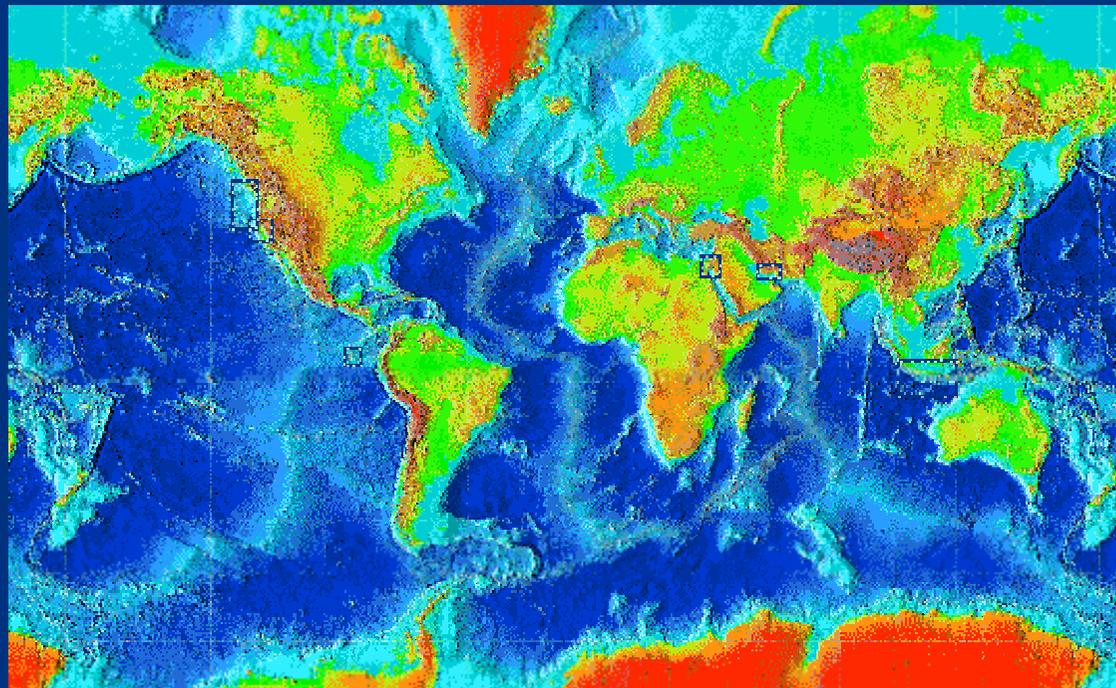


Fig. 1.6 Examples of simple morphological (A), cascading (B), and process-response systems (C) and (D). Negative and positive signs indicate the nature of the relationship between variables. In (B) rectangles represent storages and triangles transfers between storages. Note that negative feedback systems (C) have an odd number of negative relationships, whereas positive feedback systems (D) have either an even number or none.

Estudos de macrogeomorfologia / morfotectônica

- As grandes estruturas geomorfológicas dependem fundamentalmente das estruturas da crosta terrestre e sua evolução depende de processos climáticos de longa duração.
- A maior parte das estruturas geomorfológicas espetaculares da crosta terrestre, são consequência dos eventos tectônicos em bordas de placas ativas (destruição ou criação de placa).



Orógeno Andino / Cadeia Serra do Mar



Hipsometria geral da América da Sul e unidades de relevo no Brasil

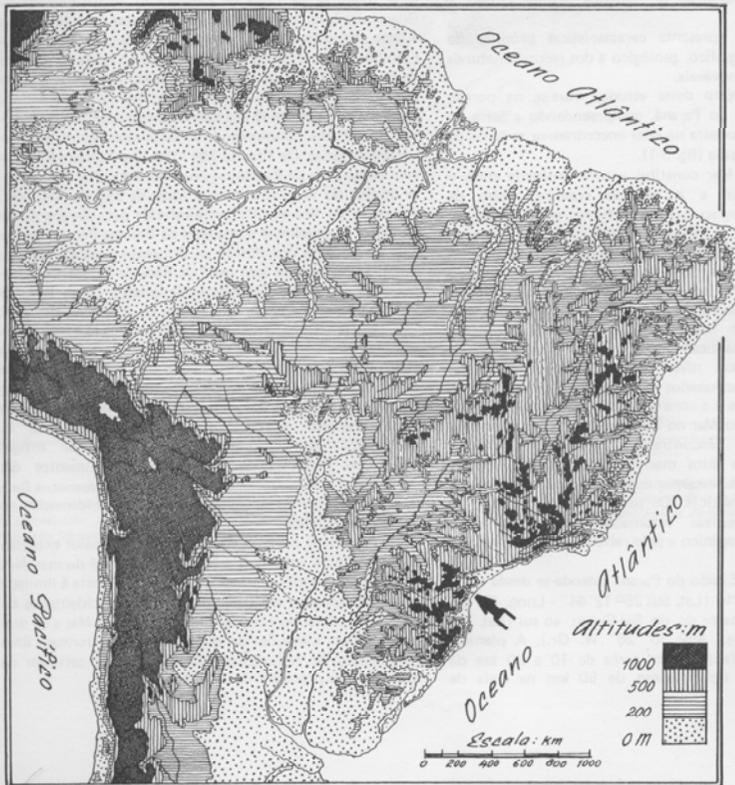


Fig. 3-1A - Mapa hipsométrico de parte do continente Sul-americano indicando a área do presente estudo referida na figura 3-1.



CIÊNCIA GEOMORFOLÓGICA

Níveis de abordagem (segundo Ab´Sáber, 1969)

- a) Compartimentação morfológica: concentra-se nos diferentes níveis topográficos e a morfologia intrínsecas aos terrenos analisados.
- b) Caracterização da estrutura superficial: entendimento da evolução do relevo, por exemplo pela observação dos depósitos correlativos ou formações superficiais.
- c) Fisiologia da paisagem: compreensão da ação dos atuais processos morfodinâmicos atuais, mesmo com a ação antrópica provocando ou atenuando desequilíbrios naturais.

É possível agregar a caracterização morfotectônica/morfoestrutural: compreensão da morfotectônica como um processo de deformação geológica da crosta que tem influência na arquitetura geomorfológica local.

Concepções Históricas (epistemológicas)

- Escola anglo-saxônica: embasada em Davis (1899, *Geographical Cycle*). Postula a evolução do relevo por meio da estrutura geológica, dos processos operantes e do Tempo. A idéia não considera a climatologia e a biogeografia como fatores preponderantes na definição de relevo.
- Escola germânica: embasada em A. Penck (1899), que valoriza a observação e a análise dos fenômenos; bem como nas idéias de W. Penck (1924, *Morphological Analysis of Landform*) que foca o estudo dos processos, rejeitando a postura dedutivista-historicista de Davis.

W. Penck (1953) definiu a análise geomorfológica como uma integração das observações dos processos endógenos e exógenos → caracterização das feições resultantes da interação de ambos os processos.

Evolução das Idéias

- Autores americanos (década de 30), utilizaram os princípios adotados por W. Penck. Assim L.C. King (1953) e outros passam a mesclar as teorias valorizando o Espaço, e não só o Tempo, como Davis o fez (utilizam a quantificação como ferramenta para o uso do estudo dos processos).
- Floresce o uso de vários postulados e ferramentas tais como a quantificação e a computação. O estudo das bacias de drenagem na linha de Strahler (1954) e Horton e a teoria do equilíbrio dinâmico de Hack (1960), bem como a admissão da frequência dos movimentos crustais e as variações relativas ao nível dos oceanos (Bauling, 1952), são importantes passos para o desenvolvimento da ciência geomorfológica.
- A escola anglo-saxônica passa a ser marcada por tendência fundamentada na Teoria Geral dos Sistemas e no processo de quantificação.

- A geomorfologia climática emerge das pesquisas de Budell (1948) que ordenou os conjuntos morfológicos em zonas e andares produzidos pela interação das variáveis climáticas, epirogenéticas, petrográficas e fitogeográficas. No Brasil, Ab'Sáber e Bigarella deram contribuição significativa aos estudos geomorfológicos utilizando muito os postulados da escola germânica.
- Autores soviéticos e franceses (Bertrand, 1968; Socava, 1972 e Tricart, 1977) apresentaram seus estudos integrados da paisagem sob a ótica dos geossistemas.

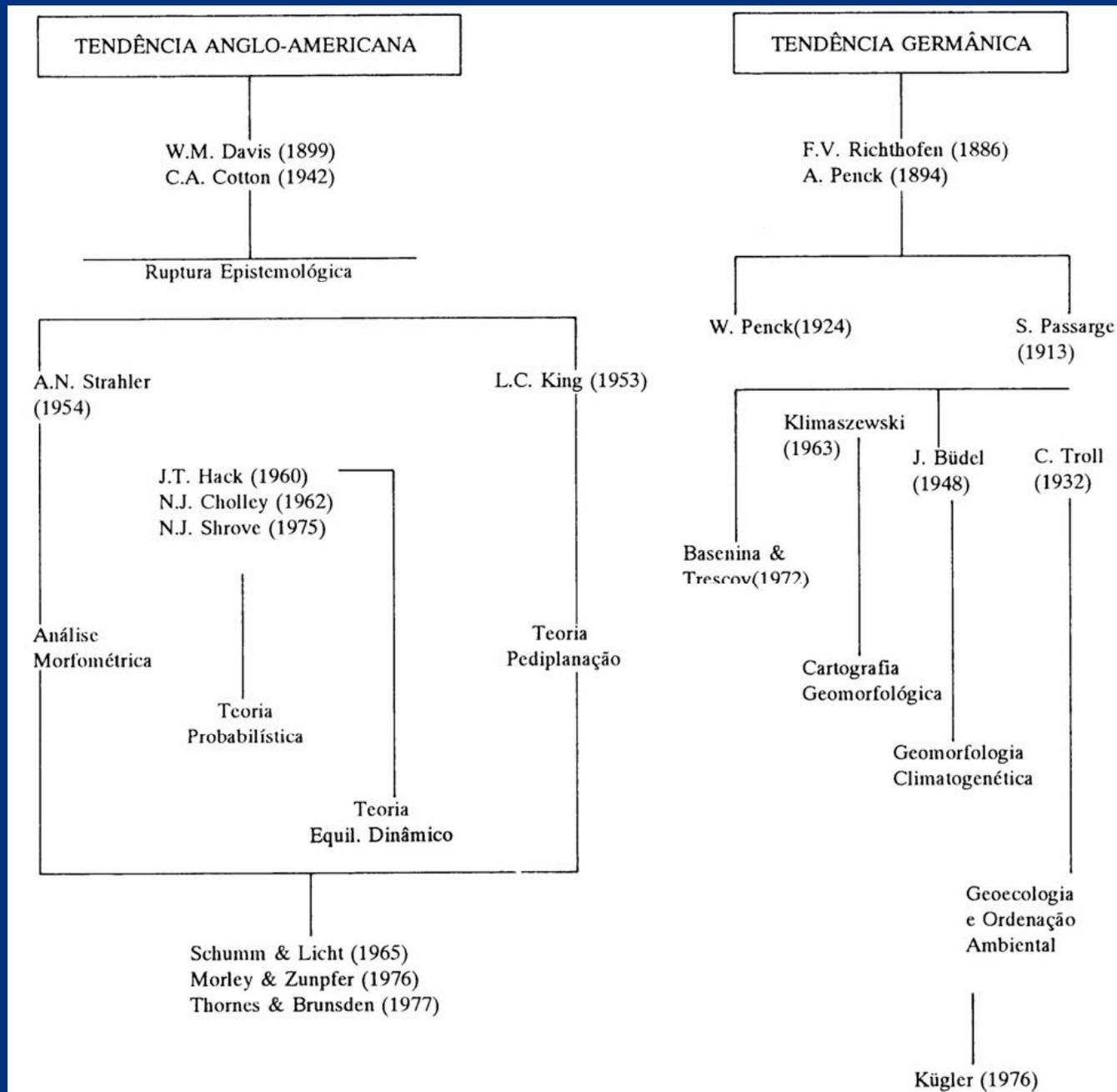
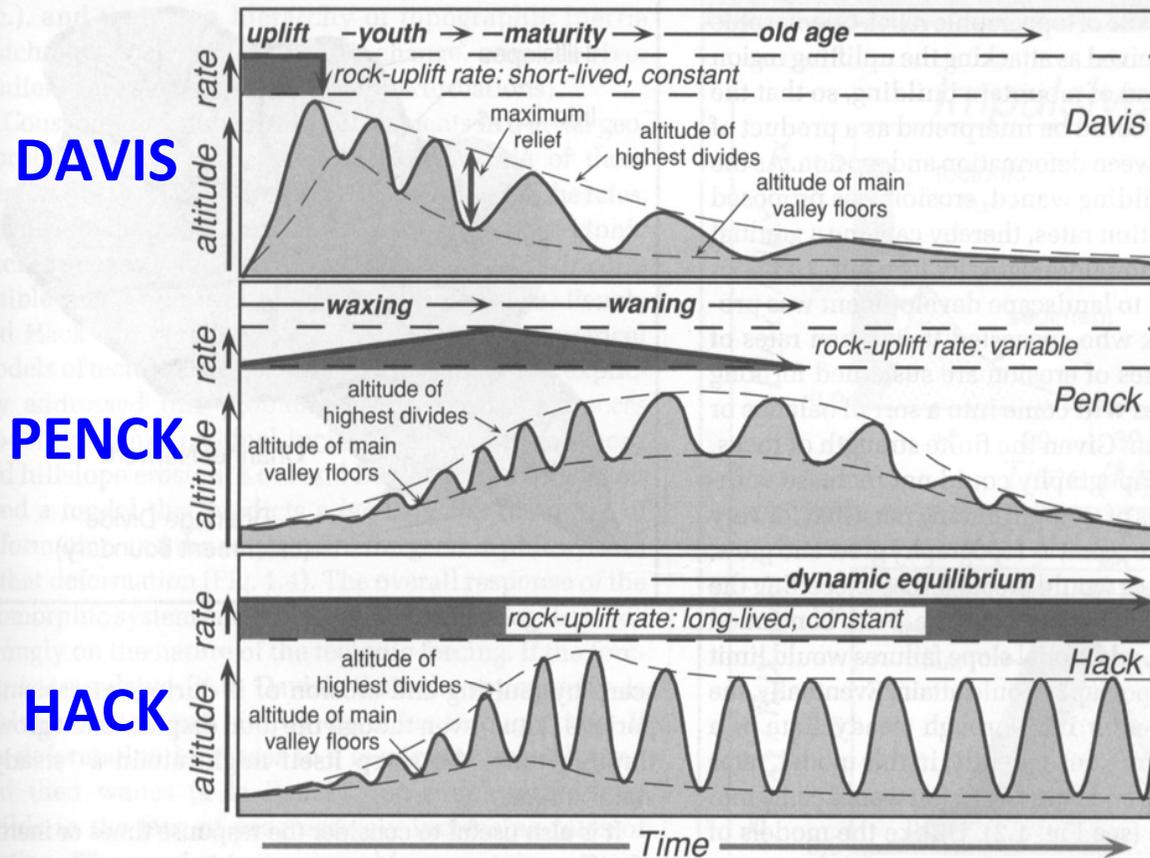


Fig. 1 - Filogênese da Teoria Geomorfológica (Simpl. de Abreu, 1983)

MODELOS CLÁSSICOS DE EVOLUÇÃO DA PAISAGEM

FIGURE 1.2. Classical models of tectonic forcing and landscape responses after the theories of Davis (top), Penck (middle), and Hack (bottom)

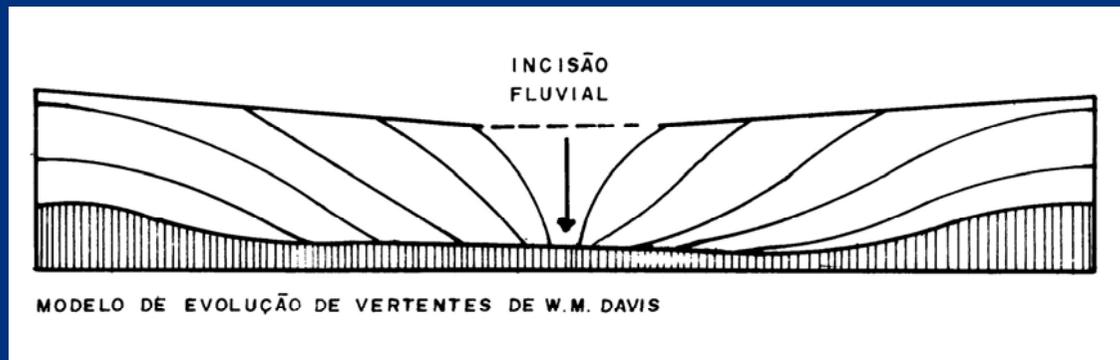


Note differences in the duration and rate of tectonic forcing (rock uplift) and the topographic response to different styles of rock uplift. Modified after Summerfield, 1991.

Sistema de Davis

- É fundamentado no conceito de nível de base. Dá ênfase ao processo denudacional iniciado a partir de uma rápida emersão da massa continental, onde o sistema fluvial responderia pelo forte entalhamento dos talwegues, originando *canyons*.
- O sistema entraria em equilíbrio quando a erosão não fosse maior que a deposição, e os processos denudacionais iniciariam o rebaixamento dos interflúvios. O rebaixamento do relevo seria de cima para baixo (*wearing down*) com a continuidade da estabilidade tectônica, bem como dos processos erosionais.
- Quando houvesse a total horizontalidade a morfologia estaria representada por peneplanos extensos e as formas residuais seriam denominadas de monadnocks. Os cursos meandantes dos rios estariam desenvolvidos como estágio final da evolução do relevo que sofreria, então, um novo soerguimento rápido, dando início a um novo ciclo.

Sistema de Davis: incisão da drenagem e a denudação, deixando formar residuais (monadnocks)



Serra do Rio do Rasto - SC
Foto: E. Salamuni



Chapada Diamantina - MG
Foto: E. Salamuni

Sistema de Penck: emersão e denudação são concomitantes

- Segundo Penck (1924) em caso de forte soerguimento crustal haveria uma incisão do talvegue com aceleração dos efeitos denudacionais em razão do gradiente da vertente. A emersão e a denudação acontecem ao mesmo tempo, ou seja, há importância dos efeitos processuais. O processo de evolução morfológica se daria pelo recuo paralelo das vertentes (*wearing-back*).
- Leva-se em conta a noção do nível de base local e a imediata correspondência entre a intensidade do entalhamento do talvegue e a forma das vertentes: quanto mais rápida mais convexa seria.
- As vertentes côncavas seriam resultado do decréscimo da intensidade da taxa de erosão e conseqüentemente o processo de ascensão crustal seria pequeno (fraca tectônica).
- O entalhamento do talvegue estaria correlacionado aos efeitos denudacionais, em função do comportamento crustal, que poderia se manifestar de forma intermitente e com intensidade variável.

Sistema de Penck: formas do entalhamento

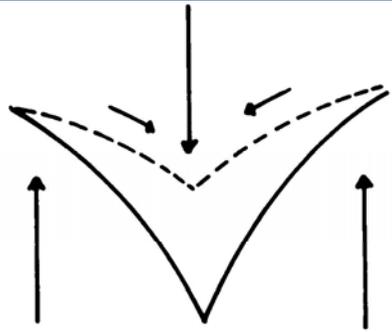


Fig. 7.1. Predomínio do entalhamento do talvegue em relação à denudação, responsável pelo desenvolvimento de vertentes convexas (aumento do ângulo da vertente)

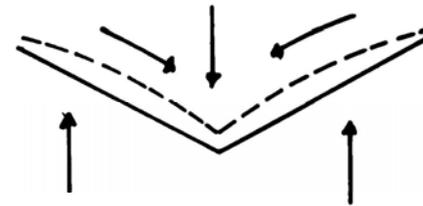


Fig. 7.2. Equilíbrio entre soerguimento-denudação, com formação de vertentes retilíneas (manutenção do ângulo da vertente)

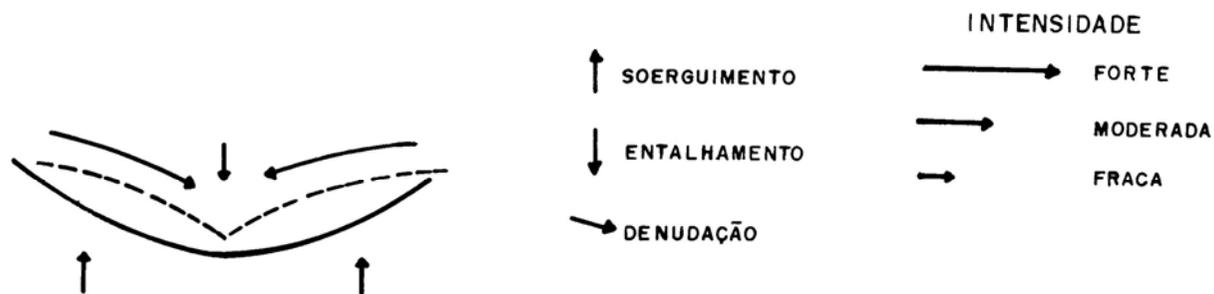


Fig. 7.3. Predomínio da denudação sobre o entalhamento do talvegue, que implica na concavização da vertente (redução do ângulo da vertente)

Concepções de Penck (A – primärrumpf) e Davis (B - peneplano)

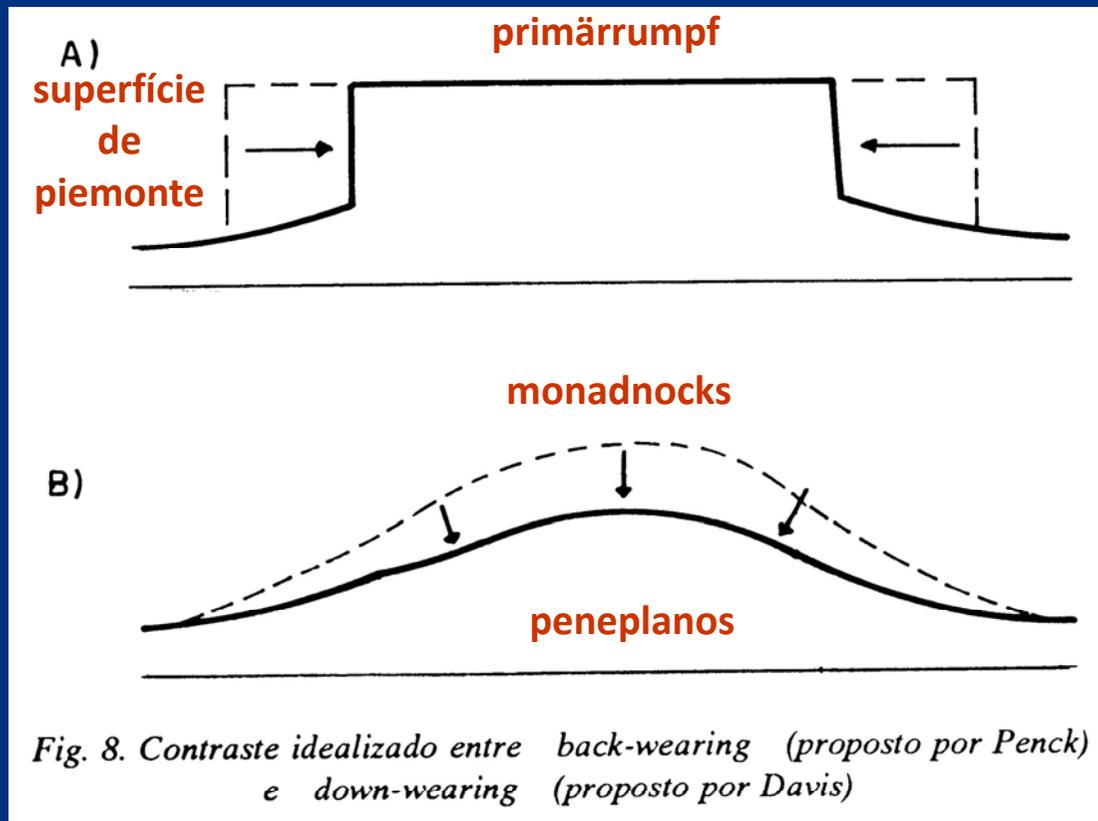


Fig. 8. Contraste idealizado entre *back-wearing* (proposto por Penck) e *down-wearing* (proposto por Davis)

- **Primärrumpf** → (1) Ascensão lenta gerando uma superfície primária; (2) porção central eleva-se mais do que as bordas que são erodidas, criando superfícies de piemonte.
- **Peneplano** → (1) Rápido soerguimento; (2) calma tectônica; (3) erosão e rebaixamento do relevo continental por meio de canais fluviais; (4) regularização dos desníveis topográficos gerando uma planície (peneplano).

Correlação de evolução: Penck x Davis

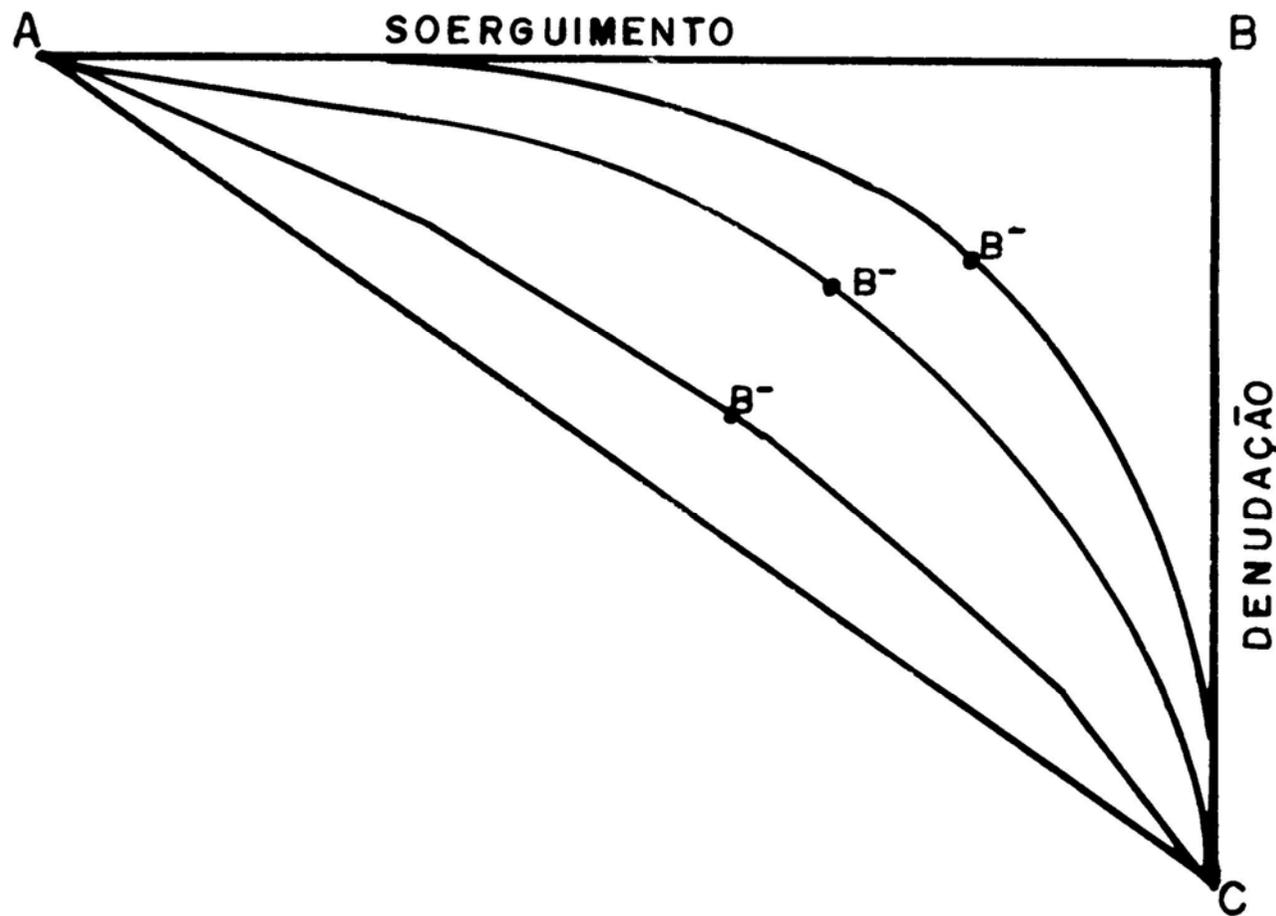


Fig. 5. Relação soerguimento-denudação apresentado por Davis (ABC) e Penck (AB'C). Cfr. Carson & Kirkby (1972)

Sistema de King: teoria da pediplanação

- Há períodos rápidos e intermitentes de soerguimento crustal separados por longos períodos de quiescência e estabilidade tectônica.
- Faz uma junção do modelo de Davis, no que tange à estabilidade tectônica com admissão das compensações isostáticas, com o modelo de Penck ao utilizar o recuo paralelo das vertentes para a evolução morfológica.
- O recuo aconteceria a partir de um determinado nível de base, e a forma resultante é denominada de pedimento. A evolução do recuo por um período de tempo de relativa estabilidade tectônica possibilitaria a formação de extensos **pediplanos**.
- Portanto, enquanto Davis chamava as grandes extensões horizontalizadas, no estágio senil, de **peneplos**, King (1955) as considerava como **pediplanos**, cujas formas residuais foram denominadas de *inselbergs*.

Evolução da paisagem segundo King

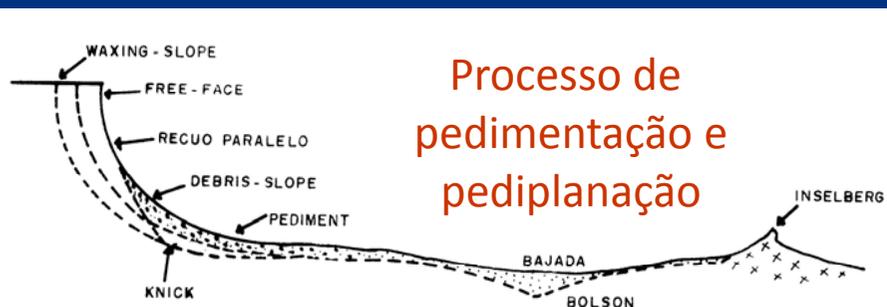


Fig. 9. Destruição dos pontos elevados por recuo (desagregação mecânica) e conseqüente entulhamento de depressões (elevação do nível de base), proporcionando a pediplanação



Andes - Chile

Foto: E. Salamuni

Evolução da paisagem inicia de um soerguimento em escala regional. Os processos erosivos se instalam a partir de cada novo ciclo, segundo a sequência:

(1) incisão fluvial; (2) recuo paralelo das encostas, criando pedimentos; (3) rastejo do regolito junto aos relevos aplanados; (4) pedimentos se unem nos estágios finais do ciclo de erosão; (5) as vertentes se unem lateralmente, reduzidas a saliências rochosas.

As saliências dominam uma área formando paisagem multicôncava (união das suaves concavidades dos pedimentos provenientes de várias direções).

Pugh: mesma hipótese de King

- Pugh (1955) admite que há compensação isostática quase que imediata em relação ao abaixamento vertical da paisagem por erosão lateral.
- O início da compensação ocorre somente quando há início de denudação.
- Considera-se o mesmo como um evento intermitente: havendo recorrência, novas escarpas e novas superfícies pediplanares são formadas (embutimentos).
- O cálculo do levantamento pela isostasia, segundo Gunn (1949), é dado pela seguinte relação:

$$h = B/A \cdot r$$

(Sendo: **h** = altura da compensação isostática; **B** = densidade das rochas superficiais removidas; **A** = densidade do material assentado; **r** = espessura da camada superficial retirado)

Ciclo ideal de evolução da paisagem (considerar cíclico no tempo para Davis, considerar contínuo para Penck, considerar finalístico para King)

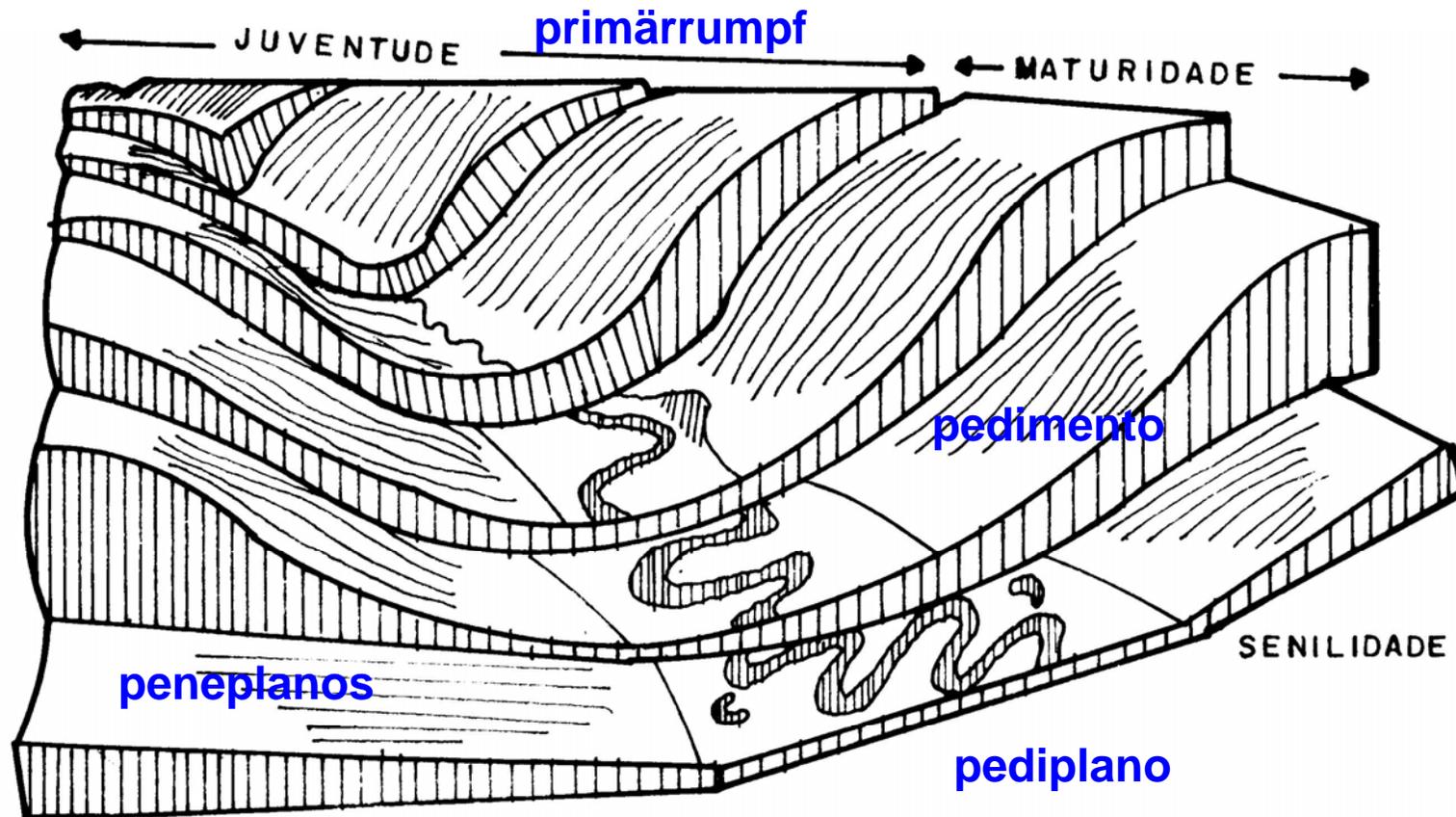


Fig. 4. Ciclo ideal com um relevo real moderado (Cfr. Rice, 1982)

Sistema de Hack

- As taxas de deformação e de erosão são mantidas em equilíbrio dinâmico por longos períodos, assim como a paisagem.
- Em função da finita resistência das rochas a amplitude topográfica não aumenta indefinidamente, mesmo que as forças tectônicas persistam por longos períodos.
- O relevo enérgico cria forças excedentes que farão as encostas entrarem em colapso. A continuidade da ascensão da crosta permite que escorregamentos adicionais limitem a altura que a topografia atingirá.
- Diferença para os modelos de Davis e Penck: não há necessidade das taxas de deformação tornarem-se negligenciáveis. Igualmente, após atingir uma topografia máxima sustentada, não haveria a evolução da topografia até a reativação das forças tectônicas.

Evolução da paisagem segundo Hack

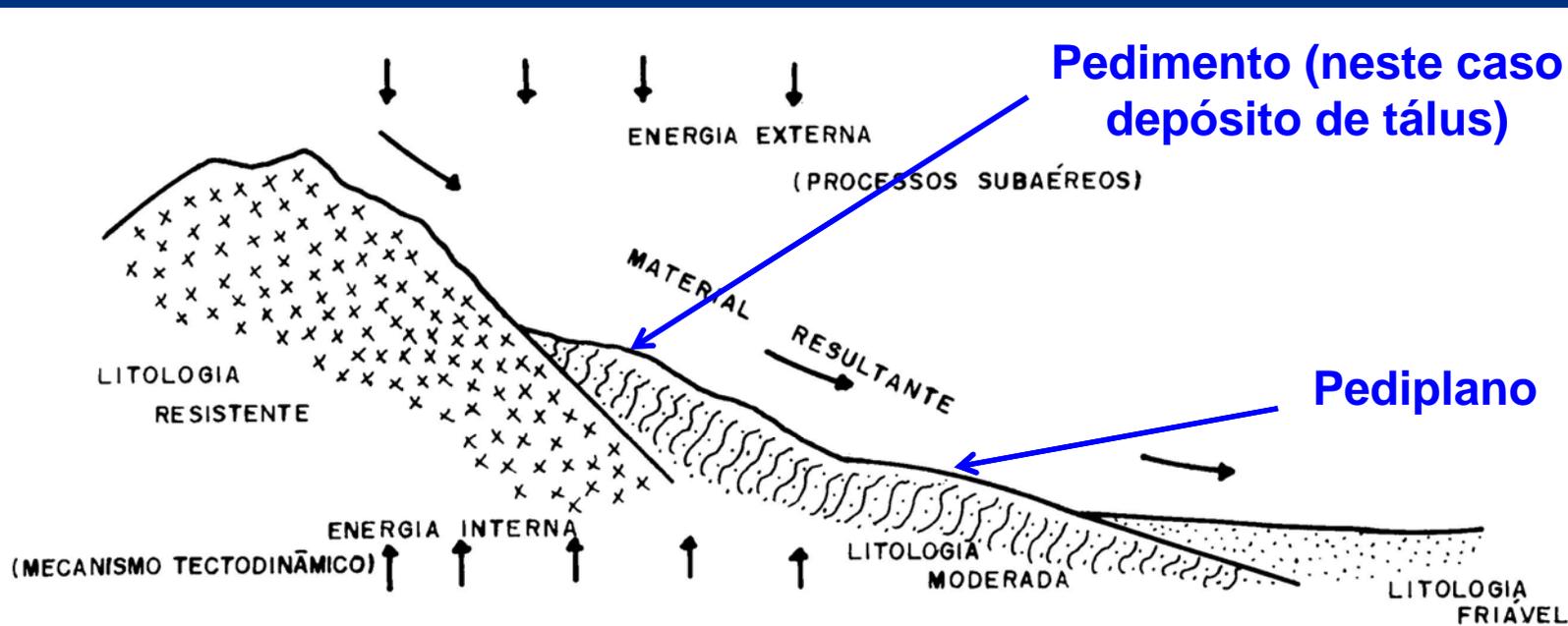


Fig. 10. Equilíbrio dinâmico mantido nos diferentes panoramas topográficos, determinado pela resistência diferencial litológica, que proporciona, mesmo com declives fortes, um volume de material correspondente



Serra do Rio do Rasto - SC
Foto: E. Salamuni