

REVISITANDO AS SUPERFÍCIES DE APLAINAMENTO: NOVOS ENFOQUES E IMPLICAÇÕES PARA A GEOMORFOLOGIA GEOGRÁFICA

REVISITING PLANATION SURFACES: NEW APPROACHES AND IMPLICATIONS FOR GEOGRAPHIC GEOMORPHOLOGY

RESUMO

Superfícies topográficas de morfologia plana e com topos a altitudes concordantes constituem uma fisionomia conspícua do relevo continental das margens passivas. O desenvolvimento dessas formas através do tempo, como produto da denudação, tem sido um objeto de indagação de destaque para ciência geomorfológica, seja para reafirmar a base conceitual dos sistemas teórico-dedutivos que fundamentaram a disciplina desde o seu nascedouro, ou para abrir espaço à aplicação e testagem de novos métodos que confirmam um lastro empírico mais robusto à interpretação dos problemas de geomorfologia histórico-evolutiva. Ao longo das últimas décadas, o surgimento de um arcabouço metodológico em bases experimentais e intermediado pela instrumentação sofisticada tem aberto novas frentes de investigação sobre a origem das superfícies aplainadas, redefinindo de forma decisiva a maneira como as mesmas podem ser utilizadas como instrumento para interpretação da evolução do modelado. Este trabalho busca apresentar enfoques que apontem para caminhos e linhas de investigação em bases contemporâneas, trazendo exemplos de aplicações à Província Borborema, Nordeste do Brasil, para a origem do relevo em contextos plataformais. Por fim, sugere-se que o estudo das superfícies geomórficas necessita ser revisto de modo que essas formas sejam compreendidas, para além da erosão, como produtos da expressão mais externa da crosta, em constante transformação e altamente dependentes dos contextos geodinâmicos regionais.

Palavras-Chave: Geodinâmica. Megageomorfologia. Paradigmas Geomorfológicos. TFA – Traços de Fissão de Apatita. Cronologia da Denudação.

ABSTRACT

Levelled topographic surfaces and summits at accordant altitudes constitute a conspicuous aspect of passive margins continental relief. The development of these forms over time, as a product of denudation, has been a prominent object of inquiry for the geomorphological science, either to restate the conceptual basis of the theoretical-deductive systems that have accompanied the discipline from its cradle, or to open space for the application and testing of new methods that provide a more robust empirical basis for the interpretation of problems of historical-evolutionary geomorphology. Over the past decades, the emergence of a methodological framework on experimental bases, intermediated by sophisticated instrumentation, has opened new research fronts on the origin of planation surfaces, decisively redefining how they can be used as an instrument for the interpretation of landform evolution. This work seeks to present approaches that point to pathways and lines of investigation on a contemporary basis, bringing examples of applications to the Borborema Province, Northeast Brazil, for the origin of relief in platform contexts. Finally, it is suggested that the study of geomorphic surfaces needs to be revised so that these forms are understood, in addition to erosion, as products of the outermost expression of the crust, constantly changing and highly dependent on regional geodynamic contexts..

Keywords: Geodynamic. Megageomorphology. Geomorphological Paradigms. AFT - Apatite Fission Track. Denudation Chronology.

 Antonio Carlos de Barros Corrêa¹

 Kleython de Araújo Monteiro²

1- Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE-Brasil.

2- Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Maceió, AL-Brasil.

Correspondência:

Recebido em: 10-01-2021

Aprovado em: 26-01-2021



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons BY-NC-SA 4.0, que permite uso, distribuição e reprodução para fins não comerciais, com a citação dos autores e da fonte original e sob a mesma licença.



INTRODUÇÃO

O PROBLEMA CONCEITUAL

A dificuldade em interpretar os componentes da paisagem sujeitos à erosão prolongada, no contexto da cronologia da denudação, é particularmente evidente no caso dos topos concordantes (topos de mesma altitude). Estes sendo vistos por Davis, e seus discípulos, como representando peneplanos alçados e, assim, acreditava-se que pudessem fornecer os meios através dos quais os deslocamentos tectônicos da paisagem, em relação ao seu nível de base, poderiam ser estabelecidos. Inicialmente o modelo dos peneplanos sobre-elevados limitou-se a explicar a elevação constante de topos, em relevos relativamente planos (tabulares) em regiões tectonicamente quiescentes, no entanto, foi extrapolado até aos topos concordantes em topografia alpina ou nas Montanhas Rochosas (SUMMERFIELD, 2000). O fato da interpretação dos topos em altitudes semelhantes como remanescentes dissecados de uma paleo-superfície eminentemente plana persistir na literatura, traz implicações importantes para qualquer tentativa de se usar as evidências morfológicas para elucidar os processos de deformação que acometem a crosta e, por conseguinte, seu relevo. Isto se dá porque há outras explicações para a existência de topos concordantes, especialmente, quando representados por divisores de drenagem em cristas – caso da paisagem geomorfológica esculpida sobre embasamento cristalino do Nordeste do Brasil – os quais não permitem nenhuma estimativa direta do soerguimento tectônico ocorrido durante o desenvolvimento do modelado.

Embora não se possa descartar as indagações levantadas pelo professor Tarr (1898), contemporâneas ao surgimento da ideia de Peneplano, a maior parte das explicações alternativas para os topos concordantes foram propostas logo depois que Davis apresentou seu modelo do peneplano alçado, e ironicamente a mais notável foi apresentada por Nathaniel Southgate Shaler (SHALER, 1899), um dos mestres de Davis em Harvard. Shaler produziu um artigo acerca do espaçamento entre rios no Kentucky como uma reação direta à interpretação davisiana dos topos concordantes como remanescentes de superfícies alçadas originalmente niveladas ao nível do mar. Ele observou como os rios do Kentucky exibiam um espaçamento altamente regular, e notou que este fenômeno também tinha sido previamente reportado por Albrecht Penck

nos Alpes e nas Montanhas Rochosas. A partir daí o autor argumentou que os rios regularmente espaçados poderiam muito bem explicar “a origem das coincidências nas cristas montanhosas, que são geralmente usadas como indicadores da existência de antigos níveis de base erosivos que foram alçados acima do nível do mar e dissecados pelos rios”. Ele argumentou, ao contrário, em favor da “emergência de um padrão integrado de drenagem, cujos componentes regularmente espaçados exibiriam uma tendência à separação por divisores com topos concordantes”. A implicação clara deste simples argumento geométrico, de que o espaçamento do vale e de suas encostas pudessem, juntos, determinar o aprofundamento do vale e, por conseguinte, a elevação dos divisores, era que os topos largamente concordantes em áreas como os Apalaches e os Alpes, poderiam ter sido formados através de processos normais de erosão fluvial sem a necessidade de um peneplano alçado atuando como superfície de referência.

Shaler postulou ainda que as diferenças de altitude entre as unidades morfoestruturais que compõem os Montes Apalaches eram muito mais significativas do que se poderia supor meramente pela identificação visual dos topos em um trabalho de campo, e que a união desses topos em uma única paleo-superfície demandaria ajustes irreconciliáveis entre a elevação máxima das unidades morfológicas envolvidas, sem que as mesmas fossem amparadas por qualquer evidencia estratigráfica nas unidades de acumulação. Davis considerou a interpretação de Shaler interessante, mas somente aceitou-a como uma alternativa possível para os topos concordantes “iniciados pela dissecação após a peneplanização” (DAVIS, 1901).

Albrecht Penck havia previamente proposto uma explicação diferente para os topos concordantes, pela qual a elevação das cadeias montanhosas era limitada por taxas de denudação muito altas características das altas elevações que excederia os valores máximos de elevação crustal. Contudo em seu trabalho fundamental “Die Gipfelflur der Alpen”, de acordo com Büdel (1982), ele propunha uma explicação semelhante à de Shaler, sugerindo que as cristas são continuamente aguçadas à medida que o entrincheiramento dos vales progride nos terrenos alpinos. Portanto, seria desnecessário considerar estas cristas aguçadas como formas herdadas de um peneplano alçado; ao contrário, elas surgiriam como produto inevitável da erosão progressiva atuando sobre uma cadeia montanhosa em soerguimento.

Gilbert (1877) já havia tratado sobre estes ajustes quando propôs as leis de erosão. O mesmo considerou a declividade como sendo um fator que estabelece, empiricamente, o caminho para a unicidade das formas. Uma vez que a declividade, assim como os desníveis altimétricos, se apresenta de forma diferenciada a depender da interação entre os processos e os materiais, inicialmente condicionaria diferentes capacidades erosivas, sendo tanto maior a erosão quanto maior fosse o gradiente da superfície.

Na medida que áreas com maior potencial erosivo são rebaixadas pelos agentes do modelado a velocidades maiores que as outras, estas se aproximam rapidamente das demais, até que o relevo assuma um arranjo semelhante em termos de declividade e topografia. Entretanto, lembra Gilbert (1877), estas condições seriam dependentes da existência de um contexto climático e litológico semelhante, o que raramente é encontrado na natureza.

EVOLUÇÃO METODOLÓGICA

A necessidade de se estabelecer uma cronologia absoluta dos eventos de denudação/deposição formadores de relevo e, por conseguinte, das superfícies aplainadas, advém do fato de que nem sempre é possível determinar relações cronoestratigráficas nos interiores continentais, com base apenas nas propriedades diagnósticas das unidades sedimentares referidas a determinados níveis topográficos e compartimentos geomorfológicos.

A fim de solucionar este problema, alguns autores como Mabesoone, (2000) e Neumann e Mabesoone (1994), optaram por correlacionar as fases de elaboração do relevo (erosão/denudação) às fases de acumulação encontradas na plataforma submersa – exemplo da região Nordeste do Brasil a partir do Cretáceo. Essa homologia geomorfológica entre erosão/deposição é complexa, pois o relevo é, antes de tudo, um fenômeno de destruição, e a mesma não se detém após a produção de um nível deposicional correlato, mas sim, continua a evoluir de acordo com as leis do equilíbrio dinâmico de ajuste entre as formas, stocks litológicos e processos superficiais. A essas se acrescentam mais recentemente uma gama de fatores decorrentes da interação crosta/manto capazes de provocar deformações significativas continuadas da superfície tanto ao longo das margens passivas quanto no interior continental.

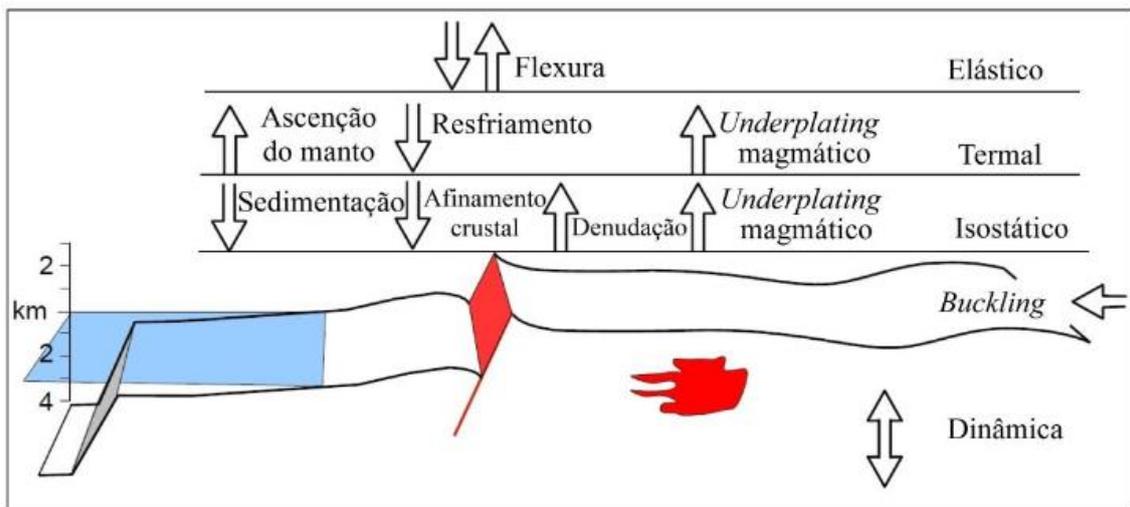
De fato, a denudação é um elemento chave de todo *rationale* geomorfológico, seja quais forem os processos envolvidos e a escala temporal de observação dos fenômenos superficiais. Assim como previsto nas ideias cíclicas sobre a elaboração erosiva dos relevos plataformais, a sedimentação é o reflexo e resultado inexorável da denudação (ORME, 2013). A ideia de reconstrução das dinâmicas superficiais com base no estudo dos depósitos correlativos aos processos erosivos permanece empiricamente válida, mas problemas operacionais emergem quando aplicada às escalas continentais e às dezenas de milhões de anos envolvidas na formação das sequências deposicionais que preenchem, sobretudo, as bacias de riftes ao longo das margens continentais passivas.

Por outro lado, Orme (2013) nos alerta que a ideia de aplainamento em si é muito mais complexa e empiricamente ambígua – senão impossível de ser testada – do que o próprio conceito de denudação em si, uma vez que pressupõe a redução das formas de relevo continental a um vasto plano ligeiramente acima do nível de base geral, elaborado em condições subaéreas. Assim como apontado por Willy Czajka para o Nordeste oriental do Brasil ainda na década de 1950 (CZAJKA, 1959), o reconhecimento de paleosuperfícies necessariamente demanda o aporte de modelos dedutivos apriorísticos de investigação da paisagem, uma vez que as correlações tentativas entre níveis de aplainamento e depósitos extrapola em larga escala o registro sedimentar continental e mesmo da plataforma adjacente. A única forma de solucionar esse problema seria, portanto, apelar para a contrafação conceitual davisiana que atribui uma idade hipotética aos conjuntos topográficos em função de sua morfologia e posição na paisagem.

Obviamente os modelos iniciais de evolução cíclica do relevo não dispunham das ferramentas geofísicas que hoje propõem uma morfologia dinâmica para as margens continentais passivas em sua evolução pós-rifte. Blenkinsop e Moore (2013) sintetizaram em um modelo gráfico os fatores que provocam deformações verticais nas margens passivas e interiores continentais. O modelo apresenta os fatores controladores em momentos diferentes da evolução de uma margem passiva, e não um dado estágio de sua evolução. Os autores agruparam esses fatores em elementos elásticos, térmicos, isostáticos, flexurais e dinâmicos. As respostas isostáticas derivam da sedimentação, adelgaçamento crustal, erosão e *underplating* magmático. Por outro lado, as respostas

elásticas se dão ao longo de falhas normais. Os efeitos térmicos incluem o aquecimento das fases iniciais do rifteamento, seguido por esfriamento. Uma topografia dinâmica, segundo os autores, é criada pelo fluxo mantélico que poderia gerar tensões verticais suficientes para manter a deformação da superfície continental por meio da propagação de eixos de flexura - buckling (Figura 01). Embora os fatores causais envolvidos com esses mecanismos ainda sejam alvo de debate, sua fundamentação empírica é mais robusta que os modelos denudacionais que, por si só, não conseguem demonstrar o aplainamento generalizado como seu produto final. Ao contrário, a evidência geológica cada vez mais aponta para a adaptabilidade da crosta às transferências de massa e energia que decorrem tanto da deformação pelos esforços tectônicos funcionais quanto da isostasia, mudanças glacio-eustáticas e variabilidade climática de longo prazo.

Figura 01. Processos que causam movimentação vertical em margens passivas e no interior continental.



Fonte: Adaptado de Blenkinsop e Moore (2013).

Outra contrafação, derivada da dificuldade de se obter dados objetivos das superfícies de degradação que compõem o relevo continental, surge da busca por evidências da ação de ciclos de erosão na paisagem; uma ideia que emana da abordagem hutoniana e que recebeu forte atenção da pesquisa geomorfológica até o último quartel do século XX. O conceito de ciclos recorrentes de erosão/aplainamento implicava em um certo grau de auto-regulação das superfícies, marcado pela contínua retomada de processos denudacionais, aqui subentendidos como formadores de superfícies planas, após episódios relativamente rápidos, mas especialmente generalizados de soerguimento. Assim como seu produto final, a superfície aplainada, os ciclos por si só

e sobretudo os longos episódios de estabilidade crustal associados às fases de erosão não se sustentavam em evidências concretas, ignorando os efeitos da isostasia e da deformação continuada mesmo que em contextos geológicos ditos “estáveis”, como já abordado acima. Por fim, o reconhecimento de sequências sedimentares cíclicas, decorrentes da ação dos forçantes cósmicos sobre os inputs climáticos operantes desde o paleozóico e repetidamente no cenozóico superior (ciclos glaciais/interglaciais do Quaternário) também não garantiam a estabilidade de condições ambientais, nem a duração, necessárias para a elaboração de extensos níveis aplainados. Os ritmos de deposição e as discordâncias erosivas recompostas nas sequências estratigráficas não encontraram de fato um correspondente direto na morfologia da paisagem, como a dedução putativa afirmara por tanto tempo.

Contemporaneamente, assume-se que a denudação de longo prazo – a combinação dos processos de superfície a diferentes taxas de atuação - e a mudança nos arranjos dos continentes em função da movimentação das placas litosféricas conduzem a algum tipo de aplainamento com capacidade de truncar litologias diversas e rebaixar o relevo regional (GREGORY, 2010; ORME, 2013). No entanto, estes cenários precisam ser compreendidos a partir de um paradigma que proponha a interação da mobilidade crustal e da variabilidade dos inputs atmosféricos, com momentos episódicos de estabilidade tectônica e climática, ainda que o resultado dessa interação permaneça esquivo e até mesmo imperscrutável mediante o arsenal de técnicas ora disponível.

Tratando das bacias de rifte marginal do Atlântico Sul, Brown et al (2000) afirmam que o seu registro sedimentar demonstra claramente uma história diversificada de aporte de siliciclastos continentais e erosão local, desde a abertura do oceano. A distribuição e os volumes totais de sedimentos indicam que a margem sul-americana e a africana sofreram uma quantidade substancial de denudação, cerca de 2 km, desde o Jurássico médio/Cretáceo inferior. No entanto, a cronologia e distribuição espacial da denudação no continente foram, muito provavelmente, altamente variáveis, dependendo de variações locais, da tectônica pós-separação, do desenvolvimento dos padrões regionais de drenagem e, consecutivamente, da estocagem de material, dos estilos de evolução geomórfica da paisagem, da heterogeneidade litológica e da variabilidade climática de longo prazo.

Outros estudos (SUMMERFIELD, 2000) apontam para uma relação muito mais complexa entre as áreas fontes, as armazenadoras de sedimentos, e as de transporte de material na paisagem, enfatizando relações de conectividades espaço-temporais extremamente variadas, controladas pela estrutura geológica herdada ou ativa, litologia e taxas de operação dos processos superficiais (morfogênese/pedogênese).

Na Província Borborema, dados geofísicos têm sido utilizados na tentativa de explicar a manutenção de topografias elevadas no setor oriental, especificamente na área do Planalto da Borborema. Oliveira e Medeiros (2012) utilizaram uma ampla rede de dados gravimétricos para demonstrar a espessura crustal da Província, indicando que duas áreas se destacam por apresentar maior espessura, a porção central do Planalto da Borborema, a leste, e o Planalto sedimentar do Araripe, no setor centro ocidental (Fig. 02). Estas são as áreas contínuas, topograficamente mais elevadas da região, atingindo cotas superiores aos 1.000m. Os autores atribuem a elevação do relevo e a maior espessura crustal à ocorrência de um *underplating* magmático estabelecido no cenozoico e ainda atuante sobre a manutenção dos níveis elevados.

Este fenômeno pode ter sido gerado por três possíveis causas: a ocorrência de uma pluma mantélica durante o deslocamento do continente, uma anomalia térmica ou a atuação de um mecanismo de *Edge Driven Convection*, que se configura como uma instabilidade que ocorre no limite de porções litosféricas de diferentes espessuras. As áreas menos espessas, e com reologia mais susceptível à deformação, foram prontamente afetadas pelo regime extensivo durante o processo de rifteamento do jurássico/cretáceo (LUZ et al., 2015) e hoje respondem em grande parte pelos setores mais baixos que margeiam o Planalto (Superfície Sertaneja e Piemonte da Borborema).

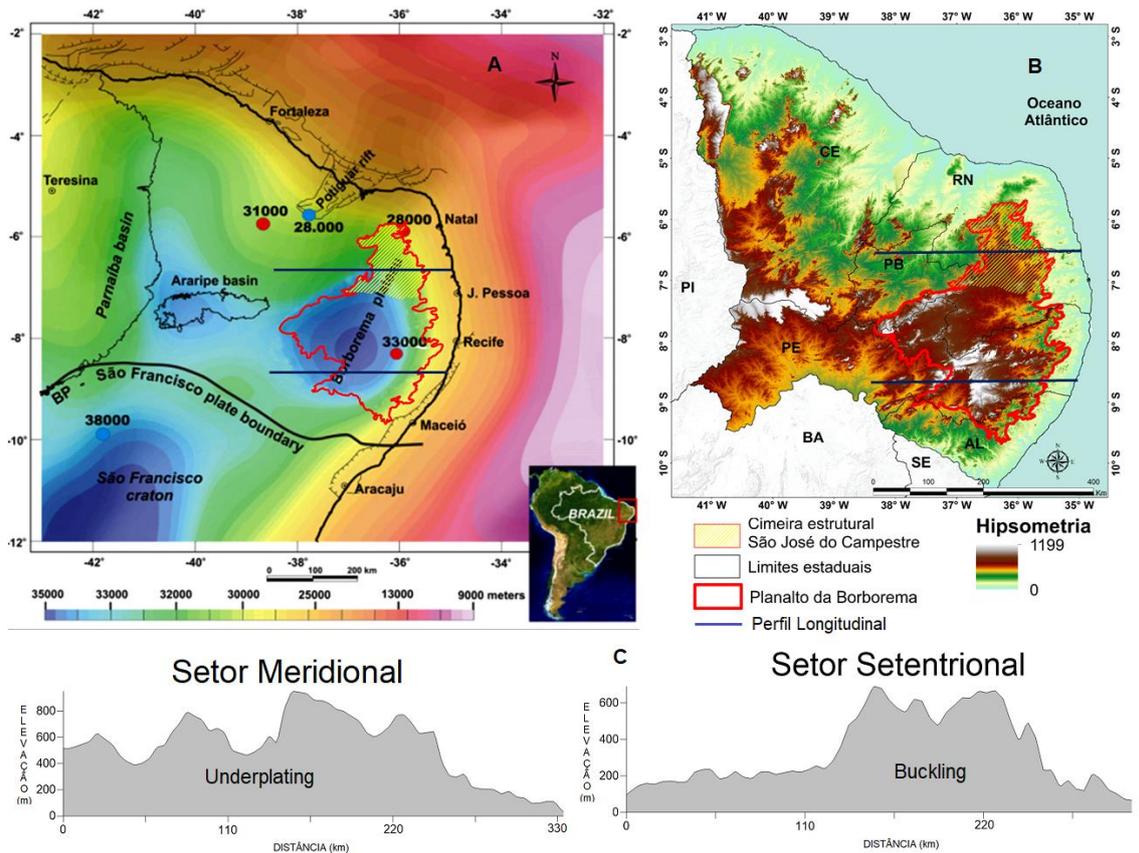
Entretanto, na porção setentrional do Planalto da Borborema, ao norte da Zona de Cisalhamento Patos, sobre uma crosta mais delgada, ainda assim as cotas topográficas se apresentam elevadas, com cimeiras em altitudes superiores aos 600m (Fig. 02). Neste caso, postula-se que a maior elevação resulte da ocorrência de um conjunto de zonas de cisalhamento proterozóicas, paralelas, de orientação geral NNE-SSW, reativadas a partir do estabelecimento de um regime compressivo, devido ao efeito do *ridge-push* e ao deslocamento da região para NW. Na superfície o resultado da movimentação da placa e da compressão é o soergimento do relevo, transversalmente à

direção do campo de forças regional, e eventualmente propiciando condições para a inversão estratigráfica, como no caso da sobrelevação de depósitos do paleógeno (Fm. Serra dos Martins) a altitudes de quase 800 m, em um processo semelhante ao observado no Planalto sedimentar do Araripe (MARQUES et al., 2014). A deformação da superfície pelo mecanismo acima descrito é referida na literatura atual como buckling (lit. empenamento).

No caso do setor norte do Planalto da Borborema, designado por Correa et al. (2010) por Cimeira Estrutural São José do Campestre, o relevo mais alto, a despeito da crosta mais delgada, também estaria associado ao controle subjacente do vulcanismo Macau do Mioceno. Desta forma, não apenas a estrutura crustal herdada, possivelmente ainda do proterozóico, mas o somatório do regime deformacional compressivo acrescido da ocorrência de eventos magmáticos ao longo do neógeno, responderiam pela manutenção de topografias elevadas em escala sub-regional e local.

A porção setentrional do planalto teria, portanto, soerguido posteriormente à porção centro-meridional, alçando sedimentos erodidos do núcleo sul durante o paleógeno. Mais tarde, a subida dessa área ao norte geraria os relevos tabulares com remanescentes da Fm. Serra dos Martins, que não seriam, portanto, depósitos correlativos de nenhuma superfície em particular, mas antigos sedimentos fluviais soerguidos por compressão regional.

Figura 02. A – Estimativa de espessura crustal da Província Borborema e áreas adjacentes. Pontos em vermelho e azul indicam aos locais onde as estimativas das espessuras crustais são conhecidas. B – Modelo hipsométrico regional evidenciando o Planalto da Borborema, como definido por Correa et al (2010), com destaque para a Cimeira Estrutural São José do Campestre, na porção Setentrional, também incluída na porção A da figura. C – Perfis topográficos elaborados a partir da interpolação de pontos cotados regionais em uma grade de 20km x 20km por quadrante. Os setores representados possuem as indicações dos prováveis processos geodinâmicos que os mantêm elevados



Fonte: A – Modificado de Oliveira e Medeiros (2012). B – Modificado de Correa et al (2010).

PROBLEMAS COM AS ABORDAGENS CLÁSSICAS DAS SUPERFÍCIES APLAINADAS

Dentre os modelos de elaboração de superfícies de aplainamento, o que teve suas premissas mais aceitas no Brasil foi o da pediplanação (regressão paralela das encostas sem rebaixamento considerável dos divisores e formação de pediplanos), aprimorado por King (1956, 1962). O autor, com base em suas observações iniciais na África do Sul e Austrália, propunha que os níveis de topos concordantes teriam se desenvolvido inicialmente como uma superfície aplainada formada por rampas rochosas (pedimentos) suavemente inclinadas, com uma cobertura delgada de detritos de origem aluvial. Os pedimentos seriam o resultado da erosão não canalizada por meio do escoamento

superficial difuso, o sheet-flow. A coalescência dos pedimentos formaria um pediplano, uma superfície final de erosão de geometria pluri-côncava, em oposição à superfície multi-convexa dos estágios finais do modelo davisiano. De fato, para King o surgimento de convexidades na encosta estaria relacionado à renovação do ciclo por soerguimento epirogenético e retomada da erosão (OLDROYD, 2013).

Os principais parâmetros, de difícil verificação empírica, propostos por esse modelo, foram apontados por Helgren (1979):

- os continentes estão sujeitos ao alçamento episódico generalizado;
- todas as encostas sofrem recuo paralelo por longas distâncias;
- os “knick points” dos rios recuam continente adentro por longas distâncias;
- superfícies de baixo relevo, extensas, só se formam em relação a um nível de base comum: o nível do mar.

ATUALIZAÇÃO DOS CONCEITOS E O MÉTODO DOS TRAÇOS DE FISSÃO DA APATITA (TFA)

As maiores espessuras de denudação, geralmente registradas nas proximidades das margens continentais por TFA (SUMMERFIELD, 2000), quando comparadas àquelas do interior continental implicam em uma resposta flexural isostática que tende a manter a topografia elevada paralela à costa. No nível de detalhe, escalas mesorregionais, o alçamento isostático realça controles lito-estruturais, gerando relevos epigênicos e ajuste da drenagem às estruturas por sobreposição. Variações regionais e locais sobre a quantidade de denudação pós-separação continental, por TFA, sugerem que o papel da tectônica provavelmente está associado à reativação de antigas estruturas crustais. No entanto, se a isostasia compensa a denudação, e o equilíbrio dinâmico mantém as formas positivas de relevo, assim permitam os stocks litológicos, até que se ultrapasse um patamar geomórfico, superfícies de fato não se formam após um episódio erosivo regional, mas antes se mantém como feições dinâmicas da paisagem, perdendo matéria, e em constante evolução.

As técnicas disponíveis para a datação de materiais superficiais, estruturadores do relevo, geralmente integram dados na escala de 10^3 a 10^6 anos, por outro lado a

técnica dos TFA fornece dados sobre a história denudacional na escala de 106 a 108, sobretudo para relevos de margens passivas (BIERMANN & CAFFEE, 2002). A preservação da estrutura superficial da paisagem está diretamente relacionada ao padrão e à taxa pela qual o material que a compõe é erodido. No entanto, as medidas de exumação baseadas unicamente nos TFA e integradas para a escala do tempo geológico, não podem ser facilmente relacionadas à dinâmica de formas de relevo individuais e superfícies geomorfológicas em escalas locais. Talvez elas se situem na mesma escala de detalhe que as analogias entre denudação e deposição propostas por Mabesoone (2000), para a formação das cunhas sedimentares e discordâncias erosivas na Plataforma Continental. A diferença é que os TFA, se especializados, podem evidenciar o comportamento individual de blocos como resposta aos inputs tectônicos, e não mais integram dados regionais tomando por base a premissa de um alçamento generalizado e simétrico do continente, empiricamente não corroborado.

A integração entre dados mais antigos e dados oriundos de técnicas que resgatam a temporalidade de eventos ainda estruturadores das feições contemporâneas, faz-se, portanto fundamental para a elucidação completa da história da paisagem.

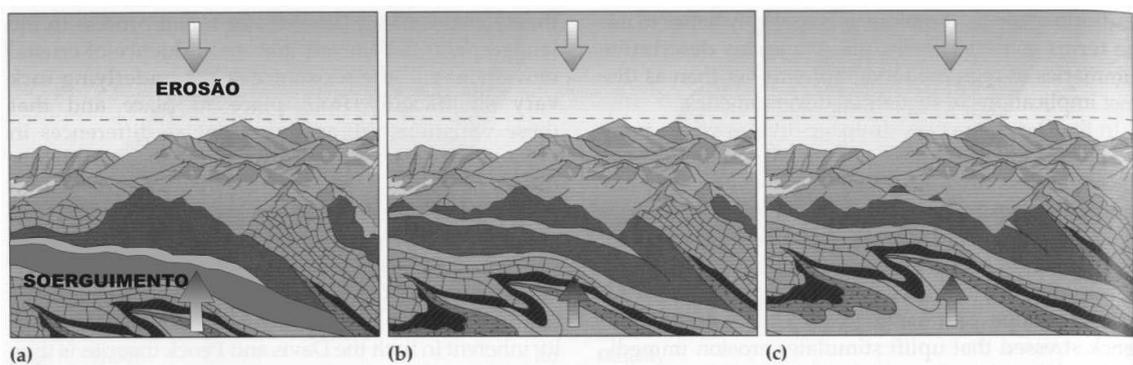
EVIDÊNCIAS MORFOLÓGICAS ORIUNDAS DOS TFA

A correspondência entre as escarpas em Margens Passivas e as anomalias magnéticas e gravimétricas (SUMMERFIELD, 2000), indicam uma relação espacial entre a estrutura crustal e a localização da escarpa o que implica no predomínio de processos crustais sobre os denudacionais no controle de sua localização. Se um recuo contínuo e substancial das escarpas houvesse ocorrido nas margens passivas as idades de TFA deveriam diminuir desde a costa em direção ao interior, mas esta tendência não se observa. De uma forma geral os dados de traços de fissão nas margens passivas não apontam para o recuo paralelo das escarpas, mas sim na sua manutenção como feição positiva da paisagem, reafirmando a Teoria do Equilíbrio Dinâmico das Formas (HACK, 1960), sendo que neste caso, a isostasia e os controles crustais atuam como mantenedores da forma.

As escarpas recuam mais ativamente em áreas onde os fluxos superficiais estão ativos do que nos interflúvios, o que sugere que sua sinuosidade aumenta com o tempo. A taxa de aumento da sinuosidade vai depender diretamente do número de cursos que

dissecam a escarpa e da sua energia. A utilização da técnica dos isótopos cosmogênicos de Be e Al permite definir taxas evolutivas diferentes ao longo dos “knick points” dos rios e dos divisores, o que sugere que o método permite avaliar taxas diversas de evolução geomorfológica entre compartimentos de relevo de geometria distinta. Essa metodologia permite testar a hipótese de evolução das encostas por aumento de sua sinuosidade, pelo aprofundamento das reentrâncias ao longo dos eixos de drenagens principais e preservação de divisores convexos. Em algumas paisagens como na Namíbia, estudada por Biermann & Caffee (2002) as taxas de erosão encontradas pelos TFA e isótopos cosmogênicos foram similares, atestando o equilíbrio morfológico do relevo desde sua formação no Cretáceo. O uso de diversas técnicas geocronológicas permite testar hipóteses distintas de evolução do relevo: evolução unidirecional com incremento da erosão diferencial entre áreas de diferentes litologias e gradientes iniciais; ou se a região esta em equilíbrio dinâmico com manutenção indefinida das formas (Figura 03).

Figura 03. O conceito do equilíbrio dinâmico é ilustrado nesta seção em transecto dos Alpes suíços, que demonstra que a erosão consome o relevo com a mesma velocidade que o soerguimento eleva a superfície. Desta maneira a elevação das montanhas se mantém constante ao longo do tempo. As rochas superficiais são substituídas continuamente pelo processo do soerguimento e denudação, mas a forma da superfície permanece aproximadamente a mesma, uma vez que a remoção e o soerguimento encontram-se em equilíbrio.



Fonte: Modificado de McKnight & Hess (2002).

Os dados oriundos de técnicas contemporâneas põem em cheque as interpretações que tratam do desenvolvimento do relevo em superfícies. Como se pode determinar a idade de uma superfície geomórfica se cada superfície é uma feição dinâmica que perde massa vagarosamente e muda de forma?

Como afirmou Hack (1960), o desgaste vagaroso das rochas, em equilíbrio dinâmico, preserva a forma geral da paisagem embora remova indefinidamente os materiais constituintes de sua superfície.

OS PERFIS DE INTEMPERISMO

A abordagem que busca identificar tipos de intemperismo remanescentes na paisagem foi, no entanto, diversas vezes utilizada de forma ancilar à perspectiva da formação das superfícies de erosão, sob a ótica de preparação das superfícies para o aplainamento (CASTRO, 1977; MABESOONE & CASTRO, 1975), via remoção dos diversos tipos de mantos de alteração.

No domínio continental, Brown et al. (2000) alertam que não é fácil utilizar determinados depósitos como marcadores cronológicos dados os inúmeros fatores, além do tempo, que podem influenciar suas propriedades químicas, físicas e mineralógicas. Assim, perfis de intemperismo e crostas com características semelhantes são mais indícios do mosaico de intemperismo e regimes denudacionais, do que um diagnóstico absoluto e confiável da idade de uma superfície à qual estejam associados.

Tratando da relação das coberturas latossólicas microagregadas, Queiroz Netto (2000) concluiu que estas podem ocorrer ubiqüamente sobre a paisagem, e não apenas recobrando as cimeiras relacionadas às superfícies de aplainamento terciárias, o que inviabiliza sua vinculação temporal necessária a períodos de quiescência morfogenética, contidos entre os eventos de aplainamento ativo.

Almeida (1964) já alertava para o fato de que os depósitos lateríticos, como os do Planalto de Poços de Caldas e dos campos de Ribeirão Fundo, têm idades diversas, achando-se ainda em formação na primeira região e recobrando o relevo que não é mais os das superfícies originais. O autor chama atenção para o terreno da especulação, em que se pode resvalar, ao tentar-se atribuir uma origem comum a essas superfícies. O mesmo afirma que trechos da Superfície Neógena (Superfície Velhas ou Pd1) podem ter evoluído independentemente um dos outros, evidenciando a ação de ciclos locais, não necessariamente simultâneos ou correlatos. Na Serra da Bocaina, por exemplo, estas superfícies sequer seriam discerníveis sobre estrutura em horst erodido sob processo ativo de sorguimento.

Braucher et al (1998) interpretaram a dinâmica evolutiva de solos lateríticos na Bahia e no Mato Grosso a partir das concentrações de Be¹⁰ cosmogênico. Os autores

constatarem que a velocidade de desenvolvimento de uma cobertura laterítica por sobre uma cascalheira (*stone-line*) pode ser o resultado de processos muito diversos: ora o soterramento contínuo e lento de fragmentos de um veio de quartzo, por exemplo; ou a deposição rápida de um fluxo de detritos, em seguida recoberto por depósitos coluviais maciços. Nas duas situações o tempo provável de formação das coberturas lateríticas não se coaduna ao tempo teoricamente aceito para o desenvolvimento de superfícies aplainadas, sendo que no caso do Mato Grosso, os materiais analisados foram depositados, provavelmente, nos últimos 500.000 anos.

Beauvais et al. (1999) analisaram coberturas lateríticas mal estratificadas no oeste da África através de sondagens por tomografia de resistividade elétrica bidimensional, e concluíram que, no caso de terrenos graníticos, as coberturas lateritizadas no domínio das encostas resultam de erosão e intemperismo atuando sobre materiais retrabalhados, levando mesmo à formação de ferricretes a partir das relações geométricas e hidrológicas de cada compartimento de relevo com sua cobertura pedológica. Os autores ainda aventaram a hipótese de que a deposição dos mantos de colúvio é decorrente de mudanças climáticas regionais.

Em ambos os casos, verificou-se que a participação ativa dos processos superficiais, nas encostas atuou no sentido de remobilizar as coberturas residuais, resultando em depósitos sobre os quais a pedogênese tem atuado no sentido da lateritização. De fato, estas coberturas vêm evoluindo em diversos setores da paisagem e não devem sua gênese apenas a situações de cimeira topográfica, associada a possíveis superfícies erosivas, remanescentes do Cenozóico inferior e médio.

Dentro desta perspectiva a aplicação de modelos de evolução do relevo ao Nordeste do Brasil sempre combinou a extensa base de dados de observação de campo, a um arcabouço teórico-interpretativo clássico: elaboração das superfícies de erosão. Tal esquema permaneceu preocupado com a explicação das grandes formas regionais como chave para a cronologia dos eventos de deposição, ainda que alguns autores já apontassem para a interferência de outros componentes, além da regressão das escarpas, como atuantes no modelado (CZAJKA, 1959). O estudo de compartimentos isolados do relevo regional, como as cimeiras do Planalto da Borborema, traz à tona alguns desses componentes que podem ser tomados não mais como auxiliares, mas como determinantes na gênese dos conjuntos morfológicos regionais, tais como: as diversas

fases de intemperismo e a remoção dos mantos de alteração. Por fim percebe-se que se os paradigmas tradicionais deram conta da história geomorfológica numa escala de trabalho regional, um enfoque voltado para compartimentos meso- ou sub-regionais necessita de um arcabouço teórico ajustado às diversas peculiaridades locais. No caso das cimeiras da Borborema a etchplanação, por exemplo, surge como uma alternativa bastante promissora.

GEOMORFOLOGIA E GEOCRONOLOGIA: AS DIVERSAS ESCALAS DE ANÁLISE

A paisagem contemporânea tem se desenvolvido através do Terciário e do Quaternário, e freqüentemente retém a impressão de processos subaéreos e marinhos. Estes operaram sobre uma variedade de regimes ambientais, diferentes daqueles presentemente observáveis, e relacionados a diferentes condições de níveis de base, controlados por mudanças eustáticas, tectônicas e isostáticas na elevação relativa do relevo ou do nível do mar. A Geomorfometria desenvolveu um ramo cujo objetivo é a identificação e a correlação dos remanescentes de superfícies erosivas e deposicionais outrora mais extensas associadas com estes processos, a fim de fornecer uma base quantitativa para a reconstrução da história geomorfológica de uma área.

Análises e medidas das elevações das superfícies consideradas discordantes com a estrutura geológica desenvolveu-se inicialmente como um elemento essencial da cronologia da denudação, a qual estava preocupada com superfícies erosivas elevadas de origens subaéreas e marinhas. Contudo, em relação aos métodos de coleta e análise de dados, e o valor da interpretação, uma grande distinção deve ser feita entre os estudos das feições erosivas mais altas, mais velhas, degradadas e descontínuas associadas à erosão no Quaternário médio e inferior e no Terciário, e as feições mais jovens, mais baixas, mais contínuas, frequentemente deposicionais e menos erodidas associadas ao Quaternário Superior. Essas feições também incluem terraços fluviais formados em sedimentos de preenchimento de vales do Quaternário, os quais fornecem evidência fragmentaria das antigas superfícies da planície aluvial e frequentemente preservam em sua superfície a morfologia de páleo-canais que podem ser utilizadas para reconstruir o antigo regime de descarga do vale. Remanescentes de superfícies deposicionais claramente fornecem maior potencial para a interpretação geocronológica através das estruturas sedimentares, evidências paleoecológicas, e materiais datáveis que contenham.

FORNE DE DADOS

As maiores dificuldades em definir uma superfície de aplainamento provem da interpretação dos dados em relação ao método de amostragem. Superfícies são inicialmente definidas com base em mapas topográficos, tomando-se como evidencia o maior espaçamento entre as linhas de contorno. Dados de elevação de mapas topográficos podem ser utilizados para definir superfícies de erosão diretamente, apesar da diversidade de métodos, o mais utilizado é aquele que amostra pontos cotados, elevações mais altas, a partir do traçado de uma grade. Neste caso, a amostragem também é problemática, e à medida que aumenta a escala espacial da análise maior o número de pontos necessários para a reconstrução da superfície devido a maior proximidade altimétrica entre as superfícies. Um maior e mais diversificado acesso a produtos de Sensoriamento Remoto e de Sistemas de Informações Geográficas, nos últimos anos, tem facilitado e acelerado a obtenção e manipulação de dados altimétricos para tais objetivos.

APRESENTAÇÃO DOS DADOS E ANÁLISE

Vários autores (CLARKE, 1966; PANNEKOEKE, 1967 E DEFFONTAINES, 1987) após analisarem dados hipsométricos clinográficos e altimétricos concluíram que uma amostragem baseada em pontos de maior altitude é a mais apropriada para a definição dos níveis de erosão. Outra abordagem clássica é a da sobreposição de diversos perfis topográficos. Ambas abordagens são qualitativas e sujeitas a erros do operador. Abordagens quantitativas foram testadas por Svensson (1956) e King (1969), aplicando uma reta de tendência aos pontos de cimeira das Ilhas Lofoten e dos Peninos Centrais. No entanto este modelo pode ser criticado, pois a concordância de topos de cristas não se refere necessariamente a um modelo de aplainamento com dissecação subsequente, mas também permite a proposição de um modelo de elevação uniforme das bacias de drenagem com espaçamento constante entre os interflúvios, como proposto por Hack (1960).

No caso de superfícies deposicionais, como terraços aluviais, diagramas de diferença de altitude foram comumente utilizados para expressar a correlação entre fragmentos separados de terraços. Este método requer a projeção da localização dos fragmentos em direção ao centro do vale e construção de um gráfico de altura dos

fragmentos em relação a distância do canal. A correlação entre fragmentos baseia-se numa suposta continuidade da antiga superfície de acumulação do vale, e é geralmente influenciada por modelos estabelecidos a priori sobre a morfologia do canal.

A utilização do método de páleo-superfícies proposto por Deffontaines, (1987) permite o cruzamento de dados da geologia, feições lineares e padrões da rede de drenagem para a reconstrução da paisagem geomorfológica, evidenciando, assim, possíveis controles tectônicos, litológicos e erosivos sobre a distribuição das superfícies topográficas contemporâneas, e sua relação com a densidade da rede hidrográfica. O método de páleo-superfícies, assim definido, visa reconstruir a paisagem geomorfológica a partir da movimentação relativa dos blocos tectônicos. Tomando-se como base a seleção de determinado número de pontos cotados, e sua digitalização, pode-se restabelecer o comportamento das superfícies de cimeira de blocos adjacentes, antes que sobreviesse a dissecação contemporânea.

A escolha de critérios de seleção dos pontos é essencial para a aplicação do método e todos os resultados dependerão dela. Logo, a seleção dos pontos cotados representa um limite intrínseco imposto pelo próprio método de páleo-superfícies.

Johansson (1999) utilizou a análise de dados digitais de elevação para o estudo das páleo-superfícies no sudoeste da Suécia. A principal premissa adotada pelo autor, a fim de definir superfícies discretas, tectonicamente controladas, foi a definição de um comportamento divergente das cimeiras justapostas, para tanto ele recorreu ao uso das superfícies de tendência, sobrepostas aos níveis de páleo-superfícies determinados pela computação das cotas de cimeiras locais. Desta forma o autor concluiu que uma mesma superfície pode, de fato, representar um somatório de fragmentos, com atitudes superficiais distintas, estando a evacuação do material a mercê da evolução da rede de drenagem, cujo comportamento é diretamente afetado pelos rearranjos dos blocos tectônicos justapostos.

Em geomorfologia os estudos das superfícies de aplainamento não são novidade, os mesmos utilizaram a noção de superfície de tendência para testar a hipótese da existência das superfícies propriamente ditas, além de instrumento para extrapolação dos níveis aplainados por sobre áreas disjuntas, vide os trabalhos de King (1969) e Heikkinen (1975). No entanto, Johansson (1999) utilizou as superfícies de tendência de

forma descritiva, para a análise das superfícies topográficas atuais e, portanto, sem buscar uma extrapolação geo-histórica das superfícies definidas. Padrões regionais e sub-regionais do relevo são melhor descritos por superfícies de tendência de baixa ordem, daí o autor (JOHANSSON, 1999) haver optado pelo uso das superfícies planares para uma adequação mais realista às formas do relevo. A superfície planar é uma superfície média que equilibra as observações de pontos cotados situados acima ou abaixo desta média, a partir da consideração do seu desvio padrão. Se cruzados com os dados de lineamentos geológicos e com as superfícies de tendência de isodenudação, obtidas pela espacialização das taxas de exumação determinadas por métodos geocronológicos como os TFA, os dados de páleo-superfícies e de superfícies de tendência podem contribuir com a identificação de blocos tectonicamente diferenciados, e cujo comportamento das cimeiras, em relação à vaga erosiva, tenha permanecido constante ou não ao longo do Mesozóico-Cenozóico. Este procedimento auxilia ainda na verificação da continuidade espacial das superfícies e permite definir melhor o comportamento de blocos adjacentes com superfícies de tendência com caimentos divergentes.

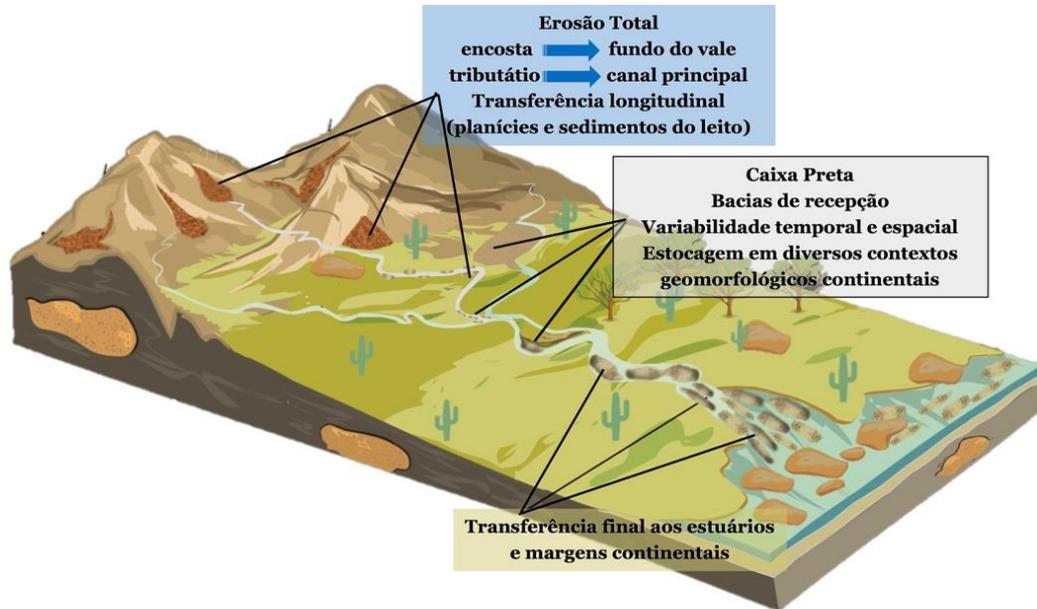
EM BUSCA DE UMA ILUMINAÇÃO

A questão das superfícies de erosão sempre foi abordada a partir da conexão direta entre sua elaboração com a deposição de sequências sedimentares, continentais ou marinhas. O problema da conexão direta entre um evento e outro reside no raciocínio “a priori” de que cada unidade deposicional, ou conjunto de unidades, delimitada por uma discordância regional, seguida de hiato deposicional, atestaria uma fase de elaboração de relevo continental, ao menos no contexto das margens passivas, vide Neumann & Mabesoone (1994).

Esta assertiva encontra diversas limitações empíricas, sendo que uma delas é a dificuldade de se estabelecer taxas de fornecimento de sedimentos coerentes para a paisagem como um todo. O fornecimento de sedimento é agregado (Fig. 04), não distingue clima de tectônica e, portanto, as correlações genéticas, meramente estabelecidas com base na relação entre depósitos de plataforma e níveis de cimeira concordantes, não reconstroem a história climato-tectônica denudacional de uma área, pois simplifica ao máximo a relação entre elaboração de formas e chegada de sedimentos em um nível de base geral (os oceanos), sem considerar as rotas espaciais de

transferência e estocagem de material na paisagem, e as diversas temporalidades envolvidas no processo.

Figura 04. Esquema demonstrando o nível de incerteza (caixa preta) acerca da gênese e armazenamento dos sedimentos na paisagem



Fonte: Adaptado de stock.adobe.com

A partir do que foi exposto acima, surgem as seguintes considerações e questionamentos, que vinculam erosão total ao tamanho das bacias receptoras e ao tempo de residência dos materiais na paisagem. Muitas das respostas permanecem em aberto e são proposições a serem elucidadas pelo estado da arte atual da pesquisa geomorfológica.

1. O fornecimento de sedimento é diretamente proporcional ao tamanho da bacia receptora (área de estocagem)?
2. Quais são as taxas de controle, rotas, e período de permanência dos estoques de sedimento na paisagem?
3. Problema geomorfológico: compreensão da natureza da transferência de sedimentos na paisagem, sua conectividade com a elaboração do relevo. Quais parâmetros controlam a produção de sedimentos? Quais suas rotas na paisagem, áreas de estocagem e temporalidade da permanência? Como

os diversos caminhos seguidos pelo sedimento se interconectam na paisagem (problema para os estudos de erosão e modelagem)?

Como iluminar a caixa preta?

Como foi dito antes, o fornecimento de sedimento na superfície da terra é agregado, isto é, não distingue os mecanismos desencadeadores, nem fatores intrínsecos à cada compartimento geomorfológico (diferença de litologia, taxas de formação do regolito, exposição da encosta, etc). A partir desta premissa, estabelece-se alguns princípios norteadores e sintéticos para a pesquisa geomorfológica em bases empíricas, na tentativa de associar, quando possível, a denudação com a formação dos depósitos correlativos.

Problemas: O que ocorre sobre a paisagem?

- Sobreposição espacial de eventos de diversas magnitudes;
- Proveniências distintas dentro de uma mesma bacia deposicional – problemas de mudança de área fonte;
- Padrão erosivo truncado com áreas de maior fornecimento convivendo lado a lado com áreas pouco afetadas. Controles geométricos sobre a deposição. Formação de superfícies justapostas com grande dessimetria temporal.

Possível Solução:

- Definição de áreas fontes a partir do uso de geo-indicadores (*tracers*), datação dos depósitos sedimentares por métodos absolutos e caracterização de suas propriedades intrínsecas;

Problema: Sobreposição temporal e espacial

- Eventos de grande magnitude e baixa recorrência - climáticos ou tectônicos - sobrepondo-se e truncando eventos de baixa intensidade;
- Grau de resolução da informação temporal oriunda de fonte geomorfológica (neocatastrofismo vs. atualismo). Importância dos controles locais (clima, cobertura vegetal, geometria das encostas) como condicionadores da aleatoriedade da distribuição espacial da informação geomorfológica.

Possível Solução: Formas de Identificação das Áreas de Estocagem de Sedimentos e Superfícies Geomorfológicas

- Avaliação visual (sensores remotos, controle de campo);

- Levantamento de seções verticais (macro e mesofábrica dos sedimentos);
- Experimentos em micro-escala (análises sedimentológicas e pedológicas);
- Metodologias sobre origem de área fonte (uso de minerais geo-indicadores, ex: Sm/Nd);
- Datação de sedimentos por diversos métodos, diretos e indiretos, absolutos e relativos.
- Datação das superfícies de cimeira e obtenção das taxas de denudação de longo prazo pelo método dos isótopos cosmogênicos e TFA.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os perigos da interpretação baseada unicamente em informação morfológica são bem conhecidos: Morfologia e relações morfológicas apenas são evidências pobres de idade relativa e, portanto, constituem um fundamento fraco para correlações genéticas. Outro problema fundamental é que o mecanismo de aplainamento é raramente identificável apenas em bases geomorfológicas – peneplanos e pediplanos resultam em formas finais de difícil discernimento.

Na Província Borborema, por exemplo, os dados geofísicos que apontam para um controle crustal e tectônico sobre a distribuição hodierna das formas de relevo em diversas elevações, definindo a existência de uma topografia dinâmica, em processo de contínuo reajuste, oferecem uma interpretação empiricamente robusta que não necessita do paradigma erosivo para explicar a origem das superfícies posicionadas a altitudes semelhantes. Emerge assim uma ideia de paisagem como palimpsesto de idades e materiais, que obviamente não deixa de submeter-se à ação dos processos superficiais em diversas magnitudes de atuação, tão somente a extensão espacial e temporal de sua resolução geomórfica se processa em outras escalas de observação e tratamento dos dados oriundos dos sistemas processo-resposta.

No momento, qualquer que seja a resposta que se possa dar à questão das formas finais de evolução dos relevos plataformais, é importante ter em mente que essa levantará obrigatoriamente aspectos importantes para a pesquisa geomorfológica, tais como o estabelecimento de relações entre as formas de relevo e a sedimentação, e como essas revelam a interação entre a dinâmica crustal e mantélica e as transferências de

matéria e energia induzidas pelos componentes climáticos sob a forma de processos superficiais.

As evidências sedimentológicas e estratigráficas oriundas do domínio fluvial enfatizam as limitações dos dados de altitude e gradiente, e apontam para os problemas da cronologia da denudação baseada em superfícies erosivas. O gradiente de uma superfície de agradação fluvial varia com o padrão local do canal e o calibre dos sedimentos trazidos pelos tributários, assim a correlação de fragmentos tomando-se por base a simples continuidade morfológica é perigosa.

Uma cronologia denudacional para remanescentes erosivos não pode ser mais do que um modelo hipotético sem dados geocronológicos empíricos para suportá-lo. Há pouca justificativa para visão de que remanescentes espacialmente disjuntos, de mesma altitude, são isócronos, uma vez que a flexura e o rebaixamento por erosão diferencial terão destruído essa correlação para superfícies cada vez mais velhas. Da mesma forma, o potencial de se encontrar depósitos que possam estabelecer uma base mais firme para a interpretação também diminui à medida que os mesmos também vêm a ser erodidos com o passar do tempo.

As discussões acima parecem apontar para um ressurgimento do papel da macro- ou mega-geomorfologia como um caminho e, por conseguinte, uma proposta de treinamento do profissional geomorfólogo, a ser trilhado por meio da construção de uma base mais sólida de conhecimentos geofísicos, sedimentológicos e geocronométricos para a disciplina, uma abordagem que, a exemplo da proposta de Summerfield (2000), considere o papel da morfotectônica global como prioritário para o estudo do relevo.

Esse estado de coisas, já apontado como situação problema para o avanço da geomorfologia por Twidale (1996) devido à inerente dualidade entre os enfoques temporais e espaciais característicos da sua origem, ou por Mabesoone (2000) que postulava a necessidade da disciplina ser praticada preferencialmente por geólogos, aparentemente indica um declínio da geomorfologia geográfica em contraposição a uma conduzida primordialmente por geofísicos. Por outro lado, o próprio Summerfield (2005) defende a necessidade da manutenção de um olhar integrador na geomorfologia, que busque a recomposição das paisagens como um todo e que, portanto, permanece essencialmente geográfico.

Alguns autores como Baker e Twidale (1991) chegaram a perceber um desencanto com as possibilidades de renovação das abordagens dentro da geomorfologia, e mesmo de sua prática, tanto na geografia quanto na geologia. Para eles, essa situação era fruto de uma disciplina que se tornara enfatuadamente teórica, dominada por modelos ou, ao contrário, demasiadamente aplicada, voltada aos estudos dos processos vigentes e às prementes demandas ambientais. Dessa forma, propuseram a necessidade de um “reencantamento” por uma geomorfologia centrada na paisagem, que inicialmente deve nos inspirar admiração e grandeza, enfim um objeto de estudo muito além das idealizações que lhe tentamos impor.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, F.F.M. Fundamentos geológicos do relevo paulista. Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo, Boletim 41, 1964. p. 167–263.
- BAKER, V. R.; TWIDALE, C. R. The reenchantment of geomorphology. *Geomorphology*, 4(2), 1991. p. 73-100. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(91\)90021-2](https://doi.org/10.1016/0169-555X(91)90021-2)
- BEAUVAIS, A. et al. Analysis of poorly stratified laterite terrains overlying granitic bedrock in West Africa, using 2- D electrical resistivity tomography. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 173, 1999. p. 413 – 424.
- BIERMAN, P. R.; CAFFEE, M. Cosmogenic exposure and erosion history of Australian bedrock landforms. *GSA Bulletin*, 2002.
- BLENKINSOP, THOMAS G.; MOORE, A. Tectonic geomorphology of passive margins and continental hinterlands. In: Shroder, John F. ed. *Treatise on Geomorphology*, Vol. 5. London: Academic Press, 2013. p. 71-92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00083-X>.
- BRAUCHER, R.; BOURLÈS, D.L.; COLIN, F.; BROWN, E.T.; BOULANGÉ, B. Brazilian laterite dynamics using in situ produced ¹⁰Be. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 163, 1998. p. 197 –205.
- BROWN, R. W.; GALLAGHER, K.; GLEADOW, A. J. W.; SUMMERFIELD, M. Morphotectonic evolution of the South Atlantic margins of Africa and South America. In SUMMERFIELD, M. A. *Geomorphology and Global Tectonics*. 2000. p. 255-281, Wiley.
- BÜDEL, J. *Climatic Geomorphology*. Princeton: Princeton University Press, 1982.
- CASTRO, C. *Morfogênese X Sedimentação: evolução do relevo do Nordeste e seus depósitos correlativos*. Recife, 1977. 48p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco.
- CLARKE, J. I. Morphometry from maps. In: DURY, G. H. *Essays in Geomorphology*. 1966. p. 235 – 274, Heinemann.

- CORRÊA, A. C. B.; TAVARES, B. A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L. C. S.; LIRA, D. R. Megamorfologia e Morfoestrutura do Planalto de Borborema. *Revista do Instituto Geológico*, 2010. p. 35-52.
- CZAJKA, W. Estudos geomorfológicos no nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 20, 1959. p.135-180.
- DAVIS, W. M. *Penepains of Central France and Britany*. *Bulletin of the Geological Society of America*. v. 12, 1901. p. 481-483.
- DEFFONTAINES, B. *Mouvements recents du Graben Rhenan et de ses abords. Etude comparee de methodes Morpho-Neotectoniques*, Bureau de Reserches Geologiques Et Minieres-Service Geologiques National,1987.
- GILBERT, K.G. *Report on the geology of the Henry Mountains (Utah)*. U.S.Geogr. Geol. Survey Rocky Mtn. Region (Powell). 1877. p, 18-98.
- GREGORY, K. J. *The earth's land surface: Landforms and processes in geomorphology*, 2010. SAGE Publications Ltd, <https://www.doi.org/10.4135/9781446251621>.
- HACK, J. T. Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. *American Journal of Science*. v. 258, 1960. p. 80 – 97.
- HEIKKINEN, O. A trend surface analysis of relief in Sipoo, southern Finland. *Fennia*, v. 141, 1975. p. 1 – 47.
- HELGREN, D. M. *Rivers of diamonds: an alluvial history of the Lower Vaal Basin*. University of Chicago, Department of Geography, Research Paper, 1979. p.185.
- JOHANSSON, M. Analysis of digital elevation data for palaeosurfaces in south-western Sweden. *Geomorphology*, v. 26, 1999. p. 279 – 295.
- KING, L. C. A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*. 18:2, 1956. p. 147-265.
- KING, L. C. *The Morphology of the Earth*. Edinburgh: Ollier & Boyd, 1962.
- KING, L. J. *Statistical Analysis in Geography*. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1969.
- LUZ, R. M. N.; JULIÀ, J.; DO NASCIMENTO, A. F. Crustal structure of the eastern Borborema Province, NE Brazil, from the joint inversion of receiver functions and surface wave dispersion: Implications for plateau uplift, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 2015. p. 3848–3869. <https://doi.org/10.1002/2015JB011872>.
- MABESOONE, J. M. Ciclicidade e relevo. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. V. 1, 2000. p. 68 – 72.
- MABESOONE, J. M.; CASTRO, C. Desenvolvimento Geomorfológico do nordeste brasileiro. *B. Soc. Geol. Núcleo Nordeste*, v.3, 1975. p.5-36.
- MARQUES, F.O., NOGUEIRA, F.C.C., BEZERRA, F.H.R., DE CASTRO, D.L. The Araripe Basin in NE Brazil: an intracontinental graben inverted to a high-standing horst. *Tectonophysics* 630, 2014. p. 251–264. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2014.05.029>.
- MCKNIGHT, T. L.; HESS, D. *Physical Geography: a landscape appreciation*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002.

- NEUMANN, V. H.; MABESOONE, J. M. Relief correlated sediments on land and under the sea. In: 4th International Sedimentological Congress, Recife, Brazil. Abstracts, 1994. p. 59 – 60.
- OLIVEIRA, R. G.; MEDEIROS, W. E. Evidences of buried loads in the base of the crust of Borborema Plateau (NE Brazil) from Bouguer admittance estimates. *Journal of South American Earth Sciences*, 2012. p. 60-76.
- OLDROYD, D. R. *Geomorphology in the First Half of the Twentieth Century*, Editor(s): John F. Shroder, Treatise on Geomorphology, Academic Press, 2013. p. 64-85. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00005-1>.
- ORME, A. R. Denudation, Planation, and Cyclicity: Myths, Models, and Reality, Editor(s): John F. Shroder, Treatise on Geomorphology, Academic Press, 2013. p. 205-232. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00012-9>.
- PANNEKOEKE, A. J. Generalized contour maps, summit level maps and streamline surface maps as geomorphological tools. *Zeitschrift für Geomorphologie*, v. 11, 1967. p. 169 – 182.
- QUEIROZ NETO, J. P. Geomorfologia e Pedologia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 1, 2000. p. 59-67.
- SHALER, N. S. Spacing of Rivers with reference to hypothesis of baseleveling. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 10, 1899. p. 262-276.
- SUMMERFIELD, M. A. *Geomorphology and Global Tectonics*, London: Wiley, 2000, 281 p.
- SVENSSON, H. Method for exact characterizing of denudation surfaces, especially peneplains, as to the position in space. *Lund Stud. Geog. Ser. V.* 8, 1956. p. 1 – 5.
- TARR, R.S. The peneplain. *American Geologist* 21, 1898, p. 351–370.
- TWIDALE, C. R. Derivation and Innovation in Improper Geology, aka Geomorphology. In: *The Scientific Nature of Geomorphology: Proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology held 27-29 September 1996*. Edited by Bruce L. Rhoads and Colin E. Thorn. 1996, John Wiley & Sons Ltd.