

TEMPO E MAGNITUDE NOS PROCESSOS GEOMORFOLÓGICOS

Rodrigo de Freitas AMORIM¹

Antonio Carlos de Barros CORRÊA²

Danielle Gomes da SILVA³

Resumo

Apesar da ausência do emprego da escala de tempo em muitos trabalhos de geomorfologia, ela continua sendo uma variável central no entendimento dos processos morfodinâmicos. Com a adição de novas metodologias à análise do relevo, através de estudos geocronológicos, paleoclimatológicos e de neotectônica, empiricamente embasados, o conceito de tempo passou a adquirir uma perspectiva mais complexa, e voltada à elucidação de problemas geomorfológicos em escalas espaciais diferenciadas. No que tange à compreensão da própria ciclicidade dos eventos formativos, merecem destaque a emergência de ciclos em diversas periodicidades de recorrência: Ciclos tectônicos, Ciclos orbitais de Mylankovitch, Ciclos de Dansgaard Oeschger, Ciclo do ENOS, variação anual das estações. É importante considerar que o erro associado ao método seja levado em conta, como por exemplo, um erro de 10% em uma escala de tempo de 10^3 anos equivale a 10^2 anos do intervalo de confiança o que gera substanciais empecilhos à comparação com dados geocronológicos obtidos em uma escala de resolução de 10^2 anos. Uma das principais implicações da forma como o tempo é tratado na geomorfologia é sua repercussão sobre as noções de equilíbrio. No caso do ambiente semiárido a própria noção de equilíbrio transcende às escalas de observação temporais da geomorfologia.

Palavras-chave: Escala de tempo. Tempo randômico. Mudanças climáticas.

Abstract

Time and magnitude in geomorphological processes

Despite the absence of the usage of a time scale in several geomorphology works, it represents a pivotal variable on the understanding of morphodynamic processes. With the addition of new methodologies to landform analysis by means of geochronological, paleoclimatological and neotectonic empirically constructed studies, the concept of time acquired a more complex perspective, aimed at the elucidation of geomorphological problems at distinct spatial scales. Regarding the understanding of formative events cycles, the emergence of recurring periodic cycles must be addressed: tectonic cycles, Mylankovitch orbital cycles, Dansgaard Oeschger cycles, ENSO cycles, annual season variability. It is important to consider that the method inherent error must be taken into account, for instance, a 10% error in a time scale of 10^3 years is equivalent to 10^2 years of the safety interval, thus generating substantial hindrances to the comparison of geochronological data obtained within a 10^2 years resolution. One of the main implications regarding the way time is addressed in geomorphology is reflected on the equilibrium conceptions. In the case of semi-arid environments the very notion of equilibrium transcends the temporal observation scales of geomorphology.

Key words: Time scale. Random time. Climatic changes.

¹ Doutorando em Geografia pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE.
E-mail: rodrigofba@yahoo.com.br

² Dr. em Geografia, professor adjunto do curso de Geografia da UFPE.
E-mail: dbiase2001@terra.com.br

³ Dra. em Geografia, professora adjunta do curso de Geografia da UFPE.
E-mail: dannyalis@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

O emprego objetivo da escala de tempo nos trabalhos geomorfológicos tem sido um aspecto pouco abordado ou mesmo negligenciado pelos pesquisadores, o que resulta em produtos de investigação sem uma definição nítida do intervalo de tempo envolvido na explicação do processo ou feição em análise. Embora, a preocupação com o emprego do conceito de tempo seja reiterada pela geomorfologia dinâmica (SHUMM; LICHTY, 1965; THOMAS, 1994; GUTIÉRREZ, 2005; KNOX, 2006; CORRÊA, 2006; BRACKEN; WAINWRIGHT, 2008), poucos são os trabalhos que de fato trazem essa abordagem como elemento fundamental para interpretação do significado do objeto de estudo da ciência geomorfológica.

Davis (1899) ao apresentar a concepção do ciclo geográfico destaca que o “relevo é em função de três variáveis quantitativas: estrutura, processo e tempo”. Na perspectiva desse autor, o tempo era visto como elemento da “maior praticidade” para a construção das análises. No entanto, o mesmo era considerado como um evento cíclico, ocorrendo em períodos contínuos e imutáveis, expresso na paisagem por meio do soerguimento e da denudação ocorrendo em períodos de milhões de anos. Para o autor, intervalos de 10^1 e 10^2 anos são irrelevantes e, portanto, podem ser negligenciáveis no entendimento dos ciclos de denudação – ciclos geográficos –, uma vez que estes teriam sua duração expressa em grandes intervalos do tempo geológico, como o Cretáceo e o Terciário, por exemplo. Alguns contemporâneos foram veementes ao criticar o trabalho de Davis, tais como Walther Penck na Alemanha e Lester King na África do Sul, entretanto ambos seguiram a mesma linha de raciocínio no tocante à aplicação do conceito de tempo à abordagem geomorfológica.

Até a II Guerra Mundial, a visão davisiana de tempo lastreou o embasamento teórico da investigação geomorfológica (ABREU, 1983). No entanto, à medida que inovações técnicas e metodológicas foram adicionadas à análise do relevo, por meio de estudos geocronológicos, paleoclimatológicos e de neotectônica, empiricamente embasados, o conceito de tempo passou a adquirir uma perspectiva mais complexa, e voltada à elucidação de problemas geomorfológicos em escalas espaciais diferenciadas. No que tange à compreensão da própria ciclicidade dos eventos formativos, merecem destaque a emergência de ciclos em diversas periodicidades de recorrência: Ciclos tectônicos, Ciclos orbitais de Mylankovitch, Ciclos de Dansgaard Oeschger, Ciclo do ENOS, variação anual das estações (ADAMS, *et al.*, 1999; TURNEY *et al.*, 2004; THOMAS, 2004).

Para Shumm e Lichty (1965) nas diversas abordagens da geomorfologia a escala de tempo pode ser dividida em três intervalos: geológico (10^5 anos), moderno (10^2 anos) e recente. Essas três escalas têm implicações diretas na noção de equilíbrio (BRACKEN; WAINWRIGHT, 2008), bem como fornecem a base para aplicação desse relevante conceito em diferentes ramos do estudo geomorfológico.

Na perspectiva do tempo como uma variável randômica é mister destacar a necessidade de compreensão da importância dos eventos extremos, de alta magnitude e baixa recorrência, dentro ainda dos diversos contextos morfoclimáticos em diferentes escalas espaciais, de forma sistêmica, principalmente se considerado que essa dinâmica interfere na estabilidade geomorfológica da paisagem.

Na visão atual do papel do tempo sobre a morfogênese, na qual o mesmo deixa de ser o principal elemento responsável pela hierarquização concatenada das formas resultantes, percebe-se a importância dos eventos de baixa recorrência e alta magnitude, capazes de ajustar os níveis internos de estabilidade das paisagens, alçando-as a novos patamares de funcionamento (CORRÊA 2006, p. 42).

Incorporando a análise sistêmica na compreensão do problema, percebe-se uma relação não unívoca na interação de diferentes escalas. Neste sentido, observa-se que as dinâmicas geomorfológicas atuantes em longas escalas de tempo criam os espaços de acomodação que, sob a égide de eventos de menor intervalo de ciclicidade, poderão ser preenchidos por sedimentos remobilizados, sobretudo face à atuação de eventos de alta magnitude e baixa recorrência, geralmente de atuação catastrófica dentro da escala de tempo de operação dos processos e sobrevivência das formas envolvidas na paisagem.

Da mesma forma, as dinâmicas geomorfológicas que atuam em curtos espaços de tempo podem desenvolver espaços de acomodação que apenas serão preenchidos por sedimentos ao transcurso de dinâmicas de longo prazo (THOMAS, 2004). Assim, a conexão entre erosão e sedimentação, compreendida dentro de intervalos representados pelas mudanças no clima, são fundamentais para a ciência geomorfológica; apesar dos estudos terem evoluído muito mais no sentido da cronometragem das mudanças do clima do que nos impactos delas sobre os processos superficiais (THOMAS, 1994).

No tocante à representação cartográfica do tempo na paisagem, por meio das técnicas de mapeamento geomorfológico, merece destaque a publicação de Cailleux & Tricart (1956) *Le problème de la classification des faits géomorphologiques*, na qual se realiza uma correlação entre parâmetros espaciais e temporais, sendo proposta uma classificação taxonômica das formas do relevo, tendo o binômio tempo-espaço como o elemento norteador da tipologia. Os autores apresentam um espectro de tempo que varia de 1 a 10^9 anos, existindo sempre uma relação direta entre o tamanho da forma e a escala de tempo associada à sua residência na paisagem.

Diante do exposto, busca-se aqui discutir, em bases teóricas, como o conceito de tempo influência sobre as diversas leituras da paisagem geomorfológica, e quais as implicações deste no estudo dos processos envolvidos na elaboração das formas. Para tanto, realizou-se um resgate da evolução histórica do conceito e sua aplicação, destacando as influências da compreensão das mudanças ambientais na definição dos intervalos de tempo. Por fim, faz-se uma análise da importância do entendimento do conceito de tempo para o desenvolvimento dos estudos em geomorfologia.

CICLICIDADE E ESCALA DE TEMPO

A ideia de tempo cíclico, como colocado anteriormente, foi prontamente incorporada pela geomorfologia e ao longo da evolução dessa ciência ganhou novos arranjos, especialmente com a verticalização dos estudos sobre mudanças ambientais ao longo do Quaternário, principalmente. Merece destaque o avanço resultante das aplicações da geocronologia por meio dos métodos radiométricos de datação absoluta, que agregaram precisão à marcação cíclica do tempo, em diferentes escalas, sobretudo após a segunda grande guerra.

Gutiérrez (2005) destaca que nas escalas de curto prazo, dentro das aplicações geomorfológicas, nas quais o homem também aparece como um agente modificador da paisagem, as mudanças ambientais estão relacionadas à atuação combinada e/ou isolada de três dinâmicas: geológica, climática e antrópica. Todavia, é necessário compreender que essas dinâmicas não necessariamente se comportam como cíclicas, ou atuam isoladamente, bem como é necessário compreender o tempo como uma variável passiva, ou seja, que não adiciona nem remove matéria ou energia do processo geomorfológico.

Diversos ciclos de mudanças ambientais, e por conseguinte geomorfológicas, foram identificados por meio da contagem cronológica resultante da aplicação de métodos de datação absoluta, como no caso dos projetos GRIP and GISP2 (THOMAS, 2004), que utilizaram núcleos de gelos na Antártida, lago Vostok, (ADAMS, *et al.*, 1999) e fundo oceânico (DANSGAARD, *et al.*, 1993).

Diante deste novo cenário de compreensão da geocronologia cíclica, Adams *et al.* (1999) destacam nove importantes eventos na história do planeta ao longo dos últimos 10 milhões de anos: o início das glaciações no hemisfério norte, a revolução do Pleistoceno médio, o interglacial entre 410 e 125 Ka, os eventos cíclicos Heinrich e Dansgaard-Oeschger, a deglaciação e o evento Younger Dryas, os eventos ENOS e as oscilações no Atlântico Norte, e por fim, um futuro aquecimento global (Figura 1).

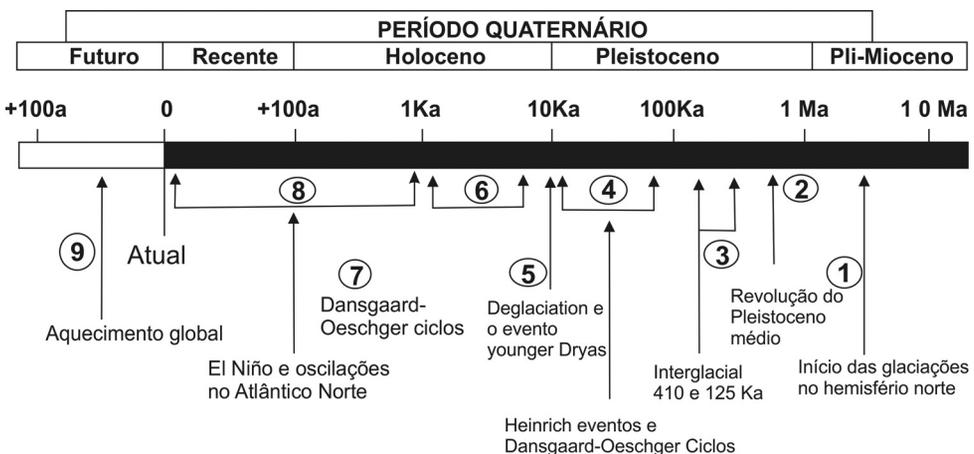


Figura 1 – Arranjo de mudanças climáticas em intervalos de tempo no Quaternário

Fonte: adaptado de Adams *et al.* (1999).

Em uma análise dos ciclos descritos por Adams *et al.* (1999) e Thomas (1994), destacam-se cinco, os quais ocorrem em escalas distintas e apresentam um intervalo de tempo que varia de 10^7 a 10^{-1} anos. São eles: Ciclos tectônicos, Ciclos orbitais de Milankovitch, Eventos Dansgaard Oeschger, Ciclo do ENOS e o ciclo anual.

Os ciclos tectônicos são responsáveis pela formação das maiores feições terrestres, tais como placas tectônicas e cadeias de montanhas, com duração acima de 10 milhões de anos (SELBY, 1985). Os processos envolvidos na dinâmica desses ciclos estão relacionados à migração das placas tectônicas e o seu resultado só é observado na escala de milhões de anos.

Os ciclos de Milankovitch encontram-se relacionados às variações no formato da órbita da terra e inclinação do eixo de rotação do planeta em relação ao sol, sendo o ciclo maior representado pela excentricidade da órbita da terra, com aproximadamente 100 ka (ADAMS, *et al.*, 1999). Os subciclos de Milankovitch apresentam dois intervalos de tempo, o primeiro de 41 ka (obliquidade) e o segundo variando entre 24 e 18 ka (precessão) (DANSGAARD, *et al.*, 1993; ADAMS, *et al.*, 1999).

Os ciclos de Dansgaard Oeschger têm ocorrido ao longo dos últimos 120.000 anos com intervalos de aproximadamente 1.470 anos e ciclos de 15.000 anos, tendo

sido registrados 25 eventos ao longo desse período (DANSGAARD, *et al.*, 1993; ADAMS, *et al.*, 1999). Os "Dansgaard-Oeschger Events" são eventos representados por subidas abruptas da temperatura entorno de 5° a 10°C com duração de 10 a 15 anos, o último evento registrado ocorreu no Pleistoceno Superior, por volta de 15.000 anos A.P (ADAMS, *et al.*, 1999; NCDC/NOAA, 2014).

Antes de abordar a ciclicidade do El Niño-Oscilação Sul (ENOS), é necessário esclarecer que a literatura meteorológica trata esse fenômeno como uma anomalia atuando na modificação do padrão climático, conforme pode ser observado em Alves & Repelli (1992), Aragão (1998), Nóbrega & Santiago (2014). Por outro lado, a literatura geomorfológica visualiza esse fenômeno como um sistema de circulação perturbada que vem atuando de forma cíclica na escala de décadas com evidências de sua ocorrência remontando ao pleistoceno inferior (ADAMS, *et al.*, 1999; MOY, *et al.*, 2002; TURNEY *et al.*, 2004).

No que tange ao início do período de atuação do ENOS, ainda que permaneça controverso, alguns trabalhos apontam para uma operação desde o Pleistoceno Superior, últimos 130.000 anos (TURNEY *et al.*, 2004; SARACHIK; CANE, 2010). Para Adams *et al.*, (1999) o início de atividade do ENOS coincide com as oscilações no Atlântico Norte há aproximadamente um milhão de anos.

Tal como a difícil definição do início de atuação do ENOS, o intervalo dos seus ciclos é variável, e talvez esse seja ainda um dos grandes desafios para a paleoclimatologia tropical. Para Sarachik e Cane (2010) o ENSO apresenta oscilações de 2 a 7 anos, embora Adams *et al.* (1999) mostrem variações de 3 a 5 anos, e ciclos de 2 a 8 anos sejam apresentados por Moy *et al.* (2002).

Adams *et al.* (1999) destacam três possíveis causas para atuação dos ciclos milenares e de menor duração: primeiro, no caso dos ciclos milenares, a harmonia da força astronômica; já para os ciclos decadais ou seculares, a atuação de fenômenos relacionados à circulação secundária, como o ENOS ou Oscilações do Atlântico Norte; e terceiro lugar, a atuação de um novo mecanismo itinerante ainda não completamente compreendido. Os autores ainda destacam que quase nada é conhecido sobre as mudanças na escala de décadas no passado geológico recente. Essa falta de informação está relacionada, principalmente, à escala dos métodos de datação e seus respectivos intervalos de confiança.

O ciclo anual é resultado da variação de inclinação da terra ao longo do ano, resultando em alteração do balanço de energia no planeta. Essa ciclicidade é a mais frequente e menos oscilante, em termos de variação e muda em razão da latitude.

A ideia da existência de uma ciclicidade funcional, não atrelada a uma escala de tempo definida, na evolução da paisagem aparece na proposta de Knox (1972) (Figura 2). A ocorrência desses ciclos obedece a um padrão de resposta da cobertura vegetal e dos processos geomorfológicos relacionados às mudanças climáticas repetitivas, mas não necessariamente obedecendo a uma sequência de intervalos de igual duração.

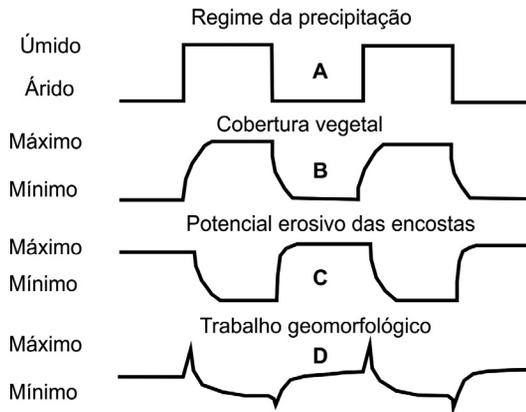


Figura 2 – Modelo cíclico de processo de modificação na paisagem

Fonte: adaptado de Knox (1972).

A INTERFERÊNCIA DO CONHECIMENTO NA DEFINIÇÃO DA ESCALA DE TEMPO

É sempre difícil remover a subjetividade sobre o conceito de tempo inerente a cada pesquisador, uma vez que ele é influenciado pelo seu conhecimento a cerca do fenômeno natural estudado (MEYERHOFF, 1960 *apud* THORNES; BRUNSDEN, 1977). Para os geomorfólogos esse é um dos desafios a ser enfrentado na construção do encadeamento dos processos que compõem a história evolutiva da paisagem, bem como no discernimento da magnitude dos processos associados.

Apesar de constituir um dos pilares da análise geomorfológica, a escala de tempo tem sido pouco utilizada como paradigma norteados dos trabalhos de geomorfologia ambiental. A emergência dos problemas ambientais e a difusão da necessidade de conhecer, em maior profundidade, o meio no qual os seres humanos habitam tem levado a uma profusão de estudos em geomorfologia ambiental. Por outro lado, observa-se uma carência no aspecto metodológico no que concerne à definição do papel do tempo no entendimento dos processos envolvidos.

O fato é que esses estudos desprezam uma gama importante de informações, começando pelo posicionamento do evento formativo dentro da sua temporalidade genética, apenas a partir da qual seria possível destacar seu grau de aleatoriedade face ao ritmo climático considerado, bem como a abrangência de sua magnitude em escala espacial.

É evidente que uma encosta com ocupação pode apresentar níveis distintos de susceptibilidade a deslizamentos, porém, encostas sob vegetação natural ou secundária também são acometidas por processos de reafixamento climaticamente condicionados. Assim sendo, nem o aspecto histórico da paisagem, nem a dimensão de tempo deve ser negligenciável no estudo geomorfológico (SHUMM; LICHTY, 1965).

Ao fazer uma análise epistemológica, é possível observar a emergência da geomorfologia no pós-guerra que valorizava excessivamente o espaço e as relações entre os processos em operação no presente, por conseguinte, renegava as considerações temporais, uma vez que estas eram julgadas comprometidas com o paradigma davisiano (ABREU, 1983).

Observa-se, hodiernamente, em muitos trabalhos de geomorfologia que abordam a questão ambiental o emprego do conceito de tempo, tal como foi proposto por Davis, imutável e contínuo. É fato que muitos estudos trazem afirmações sobre a ideia de risco ambiental e definição de intensidade de processo, avaliando apenas as condições do tempo sinótico e da estrutura geomorfológica.

Entretanto, quando o estudo é confrontado com a teoria geomorfológica subjacente fica evidente a necessidade de definir com maior rigor a escala temporal utilizada. "É aparentemente impossível excluir o tempo e uma consideração histórica da formação de unidades geomorfológicas, exceto durante estudo unicamente empíricos de relações entre variáveis, as quais podem ou não refletir casualidades" (SHUMM e LICHTY, 1965).

A INTENSIDADE DOS PROCESSOS E ESCALA DE TEMPO

A intensidade dos processos é uma prerrogativa das mudanças nos padrões ambientais, as quais, por sua vez, só são entendidas dentro da compreensão dos parâmetros médios de funcionamento da paisagem. "O conceito de rápidas mudanças ambientais só tem sentido quando a escala de tempo é conhecida ou entendida" (THOMAS, 2004).

Só é possível afirmar que um evento ou um período tem sido intenso, no que tange aos processos geomorfológicos, se for conhecido o intervalo de tempo ao qual a unidade geomorfológica de estudo foi formada (KNOX, 2006). Ou seja, deve ser feita uma comparação entre o intervalo relativo ao fenômeno estudado e o tempo de formação da unidade geomorfológica que lhe serve de suporte.

Se faz mister destacar que a comparação da intensidade dos eventos formativos em diferentes intervalos de tempo é realizada mediante o uso de dados provenientes de diferentes técnicas de aferição cronológica, o que insere dificuldades no estabelecimento de correlações, especialmente em razão dos erros associados aos métodos de datação, que por fim constituem um obstáculo ao deslinde do sincronismo espaço-temporal (ADAMS, *et al.*, 1999; WALQUER, 2005).

Desta forma, traz-se à baila a inquietação com algumas interpretações relativas à temporalidade dos fenômenos geomorfológicos construídas com base em dados provenientes de diferentes fontes e métodos. Nesse sentido, é importante que o erro associado ao método seja levado em conta, como por exemplo, um erro de 10% em uma escala de tempo de 10^3 anos equivale a 10^2 anos do intervalo de confiança o que gera substanciais empecilhos à comparação com dados geocronológicos obtidos em uma escala de resolução de 10^2 anos. No caso das repostas ambientais decorrentes de pulsações do regime climático, ressalta-se, por exemplo, que mudanças nos padrões térmicos, entre períodos frios e quentes, podem ocorrer em intervalos extremamente curtos, com duração de algumas décadas ou menos (ADAMS, *et al.*, 1999).

PROCESSOS DE CURTO PRAZO

Em uma cadeia hierárquica de entendimento da temporalidade dos fenômenos formativos em geomorfologia, têm-se os sistemas de erosão como subclasses dos processos de curto prazo, os quais, por sua vez estão relacionados à atuação da dinâmica climática regional média, atuando sobre diferentes unidades de relevo.

A epígrafe “escala de tempo curto” necessita ser ajustada à dimensão da forma e do fenômeno estudado, assim, por exemplo, quando empregada enquanto referência aos processos geomorfológicos que atuam sobre as encostas do ambiente semiárido do Nordeste do Brasil, pode-se estimar intervalos de tempo da ordem de centenas de anos, com subdivisões decadais. Nesse caso em particular, a utilização dessa divisão reside no objetivo de buscar compreender a temporalidade dos processos de formação de pequenos pacotes sedimentares, na ordem de centena de m³, dentro da unidade de encosta e pacotes de sedimentos depositados na rede de drenagem. Dentro dessa escala é possível também avaliar como a intervenção antrópica tem interferido nas taxas dos processos denudacionais e deposicionais, tanto no tocante ao aspecto de alteração do tempo de residência do material inconsolidado sobre a encosta, quanto no aumento do tempo de residência dos sedimentos na rede de drenagem.

Nesta perspectiva, aplicando o modelo de sedimentação em cascata (CORRÊA, 2001; 2006; BURT; ALLISON, 2010; GURGEL, 2012; SILVA, 2013) na interpretação da sedimentação em curta escala de tempo, pode-se interpretar a movimentação dos sedimentos originados nos compartimentos mais elevados da encosta em direção aos canais de drenagem, através da flutuação estocástica de eventos remobilizadores, onde o tempo de residência dos materiais vai depender das características de declividade e morfologia da encosta; assim como da frequência dos eventos de precipitação de alta magnitude.

Pacotes sedimentares rasos e de pouca expressão espacial são inicialmente depositados em canais de ordem zero e de primeira ordem (hollows), como também na base de cabeceiras de drenagem em escala de tempo na ordem de 10 anos (KIRCHNER, 2001). Esses depósitos podem ser completamente evacuados em eventos de precipitação episódicos de grande intensidade, dificultando assim, o estudo dos processos sedimentares em escalas curtas, uma vez que o registro final da deposição resulta intensamente truncado e espacialmente fragmentado.

As características episódicas da deposição e evacuação dos depósitos em escala curta de tempo, ao longo dos canais de primeira ordem, e na base de cabeceiras de drenagem, dificultam a mensuração da frequência e intensidade das taxas de sedimentação, podendo ainda adicionar erros quando se busca datar superfícies inumadas pelo método dos isótopos cosmogênicos (KIRCHNER, 2001).

Nos canais de drenagem a sedimentação de escala curta ocorre, principalmente, através da formação de bancos aluviais ao longo da planície (BRIERLEY; FRYIRS 2005). Os bancos e as barras arenosas ocorrem onde a declividade permite a sedimentação. Todavia, esses pacotes sedimentares não chegam a formar unidades com longos intervalos de tempo de residência, pois os eventos episódicos modificam constantemente sua morfologia e distribuição (AZAMBUJA, 2013).

A sedimentação sazonal nos canais ocorre com a deposição dos sedimentos na forma de bancos ao longo das margens, havendo a remobilização do material em eventos máximos. Porém, não se conhece claramente o efeito residual da remobilização sazonal dos sedimentos nos rios dentro de escalas de tempo longo (MEADE 1988). Estima-se, entretanto, que a remoção completa dos sedimentos depositados nas planícies aluviais requiera intervalos de tempo na ordem de milhares de anos ou mesmo mais longos (LEOPOLD *et al.* 1964 *apud* MEADE 1988).

A partir de uma perspectiva voltada à compreensão do papel do clima sobre os processos erosivos, o máximo de trabalho geomorfológico em uma paisagem ocorre ao longo do intervalo de resiliência da transformação na cobertura vegetal quando do aumento na quantidade de precipitação (KNOX, 1972; SELBY, 1985; THOMAS 1994, CORRÊA 2001, SILVA, 2012), podendo estas mudanças estarem relacionadas a eventos de ordem natural ou antrópica. Em escala curta, as mudanças de natureza antrópica

ocorrem principalmente no tempo de residência dos sedimentos nos diferentes compartimentos da encosta.

Souza (2014) destaca que em ambientes semiáridos o escoamento superficial é naturalmente complexo, variando no espaço e tempo, dependendo das flutuações sazonais da precipitação, e variação espacial da vegetação, alertando ainda que essa complexidade tem se agravado com as modificações recentes no uso da terra. Azambuja (2012), estudando uma bacia semiárida, identificou que o uso do solo se configura como a principal forma de mudança, em nível local, de patamares formativos no interior dos canais.

Perez Filho e Quaresma (2011) verificaram uma reativação significativa de cabeceiras de drenagem e intensificação de processos erosivos relacionados às alterações no nível de base local, em um intervalo de tempo de 40 anos, como sendo resultado de alteração na escala de tempo dos processos geomorfológicos.

A partir do exposto acima, pode-se enquadrar a intervenção antrópica na sedimentação em curta escala temporal de duas formas: a primeira, relacionada à intensificação da mobilização de sedimento; e a segunda, vinculada à formação de novos espaços de acomodação de sedimentos, as chamadas "armadilhas de aprisionamento de sedimentos" - barramentos dos cursos hídricos destinados ao armazenamento de água, os quais também acumulam sedimentos em canais de diferentes ordens.

Um elemento importante a ser considerado na intensificação da denudação, corresponde ao fato de que a taxa de erosão não necessariamente cresce de forma exponencial ao longo do tempo, podendo haver uma redução abrupta na perda de sedimento dentro de um intervalo de 10 anos. Ferreira (2012) estudando a sedimentação na bacia do Saco, semiárido pernambucano, encontrou elevadas taxas de sedimentação entre o período de 1927 a 1957, coincidindo com o momento de maior exploração agrícola da região, seguida de uma forte diminuição no volume de sedimentos depositados no açude nos anos seguintes.

Não obstante, a instalação de barramentos hídricos em canais de diferentes ordens tem tornado possível a mensuração de taxas de sedimentação em curtos intervalos de tempo. Na medida em que se tem uma intensificação do transporte de sedimento dentro do sistema hidrográfico, há naturalmente a perda de material de determinadas áreas e o seu acúmulo em outras. Sendo assim, é importante destacar que, os depósitos estudados não fornecem necessariamente evidências das taxas dos processos erosivos atuais, tendo em vista que a mobilização dos sedimentos nos diferentes compartimentos da bacia tem seu tempo de residência associados com eventos de magnitude superior ao do período de estocagem, passando assim a exigir o entendimento tanto das escalas relacionadas à formação dos depósitos quanto àquelas relativas à sua evacuação.

PROCESSOS DE LONGO PRAZO

No estudo geomorfológico as escalas longas estão associadas às mudanças climáticas em nível global, principalmente em razão dos períodos glaciais e interglaciais com intervalos de 10^5 anos. Assim sendo, presume-se que as magnitudes dos eventos em longa escala sejam muito superiores aos dos eventos máximos de agora. Esses eventos foram capazes de deixar os seus vestígios como depósitos por muito tempo na paisagem, e apesar da existência de eventos de grande intensidade capazes de promover a evacuação dos depósitos de escalas longas, as feições formadas em escalas de longo prazo conseguem permanecer.

As oscilações climáticas de milhares de anos têm sido amplamente estudadas e percebidas como fundamentais na reconstrução das mudanças ambientais ocorridas ao longo do Pleistoceno/Holoceno (DANSGAARD, *et al.*, 1993; ADAMS, *et al.*, 1999; STOTT *et al.*, 2002; MOY, *et al.*, 2002; THOMAS, 2004). Essas mudanças ocorrem em escala global, porém com um atraso de tempo em algumas regiões, bem como podendo repercutir em intensidades distintas.

Para Thomas (1994) as escalas longas estão principalmente relacionadas às movimentações na crosta terrestres, que promovem deformações, soerguimentos e subsidências – tendo seus processos refletidos na circulação atmosférica e nível dos oceanos. Na mesma perspectiva, enfatiza-se que a geomorfologia tradicional foca na sequência e natureza dos eventos envolvendo a atual configuração da superfície da terra através do tempo geológico (GUTIÉRREZ, 2005).

Thomas (1994) ao abordar o problema de definição das regiões climáticas, destaca que as mudanças climáticas de longo prazo variam entre 10^6 e 10^7 anos, acompanhando a deriva continental e a alteração no nível dos oceanos. Essas alterações, por sua vez, refletem de forma complexa variações na circulação atmosférica do planeta. Nesse contexto, as mudanças de médio prazo estariam situadas entre 10^3 e 10^4 anos, e teriam sua relação vinculada às mudanças climáticas regionais.

A padronização de uma escala em longo, médio ou curto prazo pode estar atrelada, também, à técnica empregada na evidencição dos processos geomorfológicos que se quer estudar. Walker (2005), por exemplo, emprega o termo longo prazo para se referir a eventos que ocorrem em uma amplitude de tempo da ordem de 10.000 a 100.000 anos, destacando a necessidade de escolha adequada da técnica empregada às características dos dados a serem datados.

O TEMPO COMO UMA VARIÁVEL RANDÔMICA

A compreensão do tempo em geomorfologia é cada vez mais estocástica, fato esse que adiciona mais complexidade na definição do melhor intervalo para o estudo dos processos (THOMAS, 2004). Por outro lado, é necessário entender que a aleatoriedade também pode ser compreendida dentro de intervalos de tempo.

Thomas (2004) demonstra que ao contrário do que a geomorfologia tradicional coloca, os pulsos climáticos na escala de décadas, dentro de um intervalo de 10^3 proporcionam reafeiçoamentos na paisagem incompatíveis com os dados médios das condições do clima de todo o período (Figura 3).

É sempre importante posicionar o tempo randômico dentro de uma escala maior para se ter a real ideia de sua significância nas alterações do sistema de paisagem estudado, pelo fato de ele, também, está relacionado a uma auto organização, em resposta ao arranjo interno dos sistemas geomorfológicos. Desta forma, a estocasticidade temporal não tem, necessariamente, um caráter formativo de unidades de paisagem. A formação de calcretes está associada as fases mais secas do Pleitoceno, entretanto dependendo das condições intrínsecas dos sistemas, por exemplo, dentro de cacimbas nas regiões mais secas do semiárido brasileiro, é possível verificar a ocorrência de calcretes em períodos menos secos, como no Holoceno inferior, em virtude das características intrínsecas do subsistema morfológico analisado.

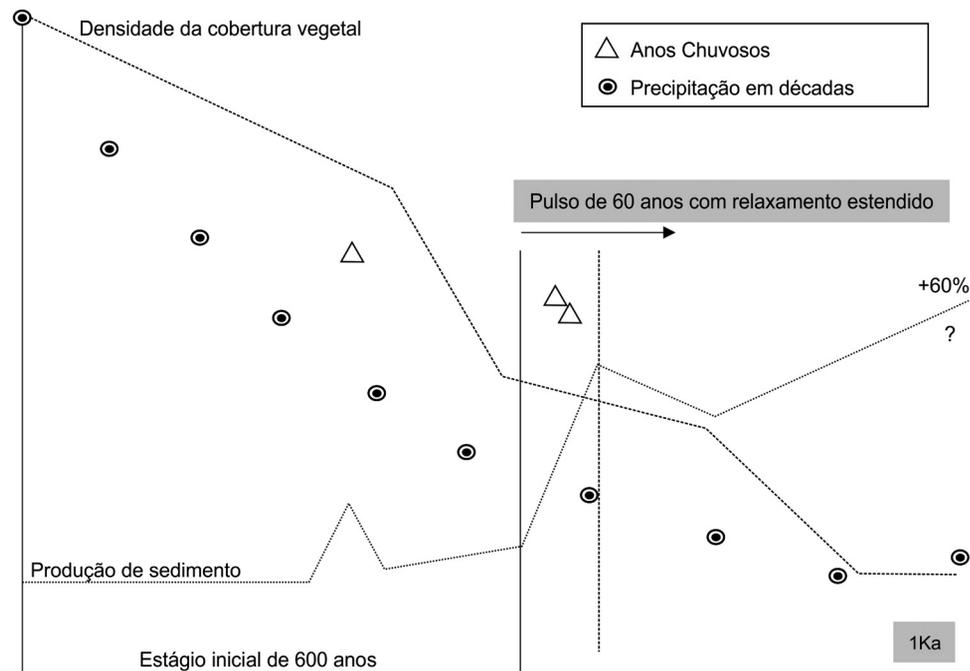


Figura 3 – Modelo de atraso de resposta na encosta – sistema de sedimentação oriundo de mudanças na vegetação e clima durante 1Ka

Fonte: adaptado de Thomas (2008).

ACOPLAGEM EM DIFERENTES ESCALAS

Quando uma paisagem é visualizada, o que está em evidência são unidades espaciais as quais evoluem em escalas distintas e ao mesmo tempo, estão sendo impostas a uma mesma escala de tempo. Uma bacia hidrográfica, por exemplo, tem todas as suas unidades evoluindo dentro de escalas de tempos longos, por outro lado, quando visualizados de forma independentes, as unidades estão sujeitas a modificações de processos de intensidades distintas. Uma barra sedimentar pode se modificar de um ano para outro, porém o terraço do rio como um todo só irá mudar suas características a partir da ação de eventos máximos que atuam em escala de milhares de anos (BRIERLEY; FRYIRS, 2005).

Segundo Corrêa (2001) "o modelo em cascata considera que o sedimento se move como uma onda em direção à baixa encosta, preenchendo parcialmente as depressões no terreno. Com o progresso da erosão novas áreas de estocagem na baixa encosta são preenchidas, resultando nas unidades mais novas". O autor ainda chama a atenção para o fato da distribuição espacial e temporal desigual dos depósitos nas encostas, que nem sempre confirmam a eficiência completa desse modelo. Este só poderia ser aplicado integralmente se os sistemas morfoclimáticos promovessem a evacuação completa dos sedimentos até o nível de base local/regional.

Nesta perspectiva, as encostas podem ser entendidas como o resultado de uma complexa interação de processos geomorfológicos distintos. Esses processos

podem hodiernamente serem identificados através das paleosuperfícies encontradas nos colúvios. Para Corrêa (2001) a interpretação desse material requer uma compreensão de suas posições em paisagem antiga.

É mister destacar que, para que ocorra mobilização de uma grande quantidade de sedimentos é necessário que se encontre no sistema material disponível. Deste modo, os processos pedogenéticos são fundamentais para produção de sedimento, promovendo a integração pedogênese/morfogênese.

Quando analisado dentro de uma escala temporal, o sedimento em uma bacia hidrográfica, por exemplo, encontra-se em trânsito sendo a erosão o responsável pelo afeiçoamento geral das áreas de cabeceiras e encostas. O material transportado pelos diferentes tipos de erosão tem um tempo de residência na paisagem normalmente associado aos eventos de longo prazo. Segundo Thomas (1994), muitas vezes os depósitos formados nas escalas longas são simplisticamente interpretados como originados em decorrência das condições ambientais atuais. Todavia, seu entendimento demanda a reconstrução geomorfológica do material em bases cronológicas e dinâmicas, que buscam reconhecer, no longo prazo, a ação de fenômenos desencadeadores de grande magnitude.

Um compartimento geomorfológico individualizado dentro da estrutura da paisagem é o resultado de uma história evolutiva, a qual carrega características espaço-temporais de intensidades distintas. Essa história evolutiva pode ser denominada de cronologia dos eventos geomorfológicos, passível de ser recontada por meio do emprego de métodos de datação. Segundo Walker (2005), se o objetivo é a elucidação de um determinado episódio formativo ou estimar as taxas de operação de processos geomorfológicos, faz-se necessário estabelecer uma cronologia para os eventos.

A maioria dos processos de datação existentes só foi descoberta recentemente através, principalmente, de avanços na contagem da carga radioativa de minerais encontrados na natureza. Os mais significativos avanços em cronologia, especialmente do Quaternário, ocorreram após a Segunda Guerra Mundial com a descoberta do decaimento da atividade radioativa de alguns materiais, possibilitando o desenvolvimento de uma gama significativa de métodos de datação com intervalos que variam de um e milhões de anos (NOLLER *et al.*, 2009).

Contemporaneamente há uma gama significativa de métodos empregados na definição da cronologia dos processos geomorfológicos. Aitken (1998) chama a atenção para a quantidade de técnicas disponíveis, todavia, o mesmo ressalta que cada técnica apresenta um intervalo de confiança em sua aplicação, tornando necessário o conhecimento adequado da técnica a ser utilizada para cada evento que se pretende datar. Com os avanços tecnológicos voltados para as datações, esses intervalos têm se aquilatado, o que possibilita uma maior precisão na reconstrução de dinâmicas geomorfológicas de curto prazo, como por exemplo, 10^2 anos.

É necessário visualizar o encadeamento das diferentes escalas de tempo e sua sobreposição eventual sobre a magnitude das respostas geomorfológicas. Assim, é fundamental visualizar como o tempo cíclico se materializa nas mudanças ambientais, de forma sistêmica, para que se possa compreender como se dá sua imbricação com os eventos em diferentes ordens cronológicas, até mesmo aqueles não cíclicos e aleatórios.

Um exemplo dessa interação pode ocorrer entre os ciclos de origem cósmica (Mylankovitch), com os ciclos planetários (Dansgaard Oeschger, ENSO, e anual). A acoplagem desses ciclos pode promover uma intensificação nos eventos inferiores ou uma diminuição na sua intensidade, dependendo das características intrínsecas aos sub-sistemas espaciais envolvidos.

É necessário visualizar, também, o intervalo de tempo no qual as respostas às mudanças climáticas se propagam no espaço (THOMAS, 2004), um mesmo evento cíclico não atua homogeneamente sobre o planeta em um mesmo espaço de tempo, bem como com a mesma intensidade.

Um fato importante na consideração sobre integração de diferentes escalas é observar que os eventos cíclicos que ocorrem em escalas regionais podem desencadear eventos randômicos em outras regiões o que implica na necessidade de observação do seu desdobramento no espaço. Por exemplo, a expansão de uma camada de gelo sobre o Atlântico Norte, na escala de milhares de anos, pode resultar em alteração na Corrente do Golfo (ADAMS, *et al.*, 1999) e, por sua vez, promover mudanças no regime de precipitações, no ambiente tropical na escala de centenas de anos. Esse lapso de tempo é justamente o tempo de resposta do sistema às mudanças ocorrendo em diferentes escalas espaciais e temporais.

CONCLUSÕES

Diante do que foi discutido até aqui, pode-se propor algumas indagações voltadas ao esclarecimento da importância e aplicação do entendimento do tempo em geomorfologia.

Utilizando o princípio do efeito em cascata (ou reação em cadeia) para a compreensão da ação do clima sobre o relevo, têm-se nas escalas longas processos cósmicos de modificação da circulação atmosférica acontecendo em intervalos de centenas de milhares de anos. Por outro lado, essas mudanças influenciam as escalas menores, especialmente os padrões de circulação dos climas regionais. Estes, por sua vez, repercutem no trabalho dos sistemas de erosão que operam em escalas menores, criando um sistema de reações complexas em cadeia.

Nesta perspectiva, se o tempo for imaginado como uma onda, os picos maiores seriam as mudanças climáticas de longo termo e as ondas intermediárias seriam as mudanças em escalas inferiores. Por tanto, fica o questionamento: será que as mudanças climáticas em escalas menores são reverberações das mudanças de longo termo? Se essa linha de raciocínio for verdadeira, quais seriam os motivos desencadeadores dos eventos randômicos?

É fato que o paradigma geomorfológico atual demanda o entendimento do conceito de tempo em seus diferentes significados. O âmago dessa discussão gira entorno da aplicação do conceito de tempo de forma a permitir, de maneira clara, a delimitação do intervalo temporal necessário para a formação de uma determinada feição geomorfológica. Por outro lado, é importante compreender o tempo também como uma variável randômica, que nem sempre vai permitir a visualização dos processos desencadeadores como respostas a entradas cíclicas, logo recorrentes, de energia no sistema.

Uma das principais implicações da forma como o tempo é tratado na geomorfologia é sua repercussão sobre as noções de equilíbrio. No caso do ambiente semiárido a própria noção de equilíbrio transcende às escalas de observação temporais da geomorfologia, sendo o próprio conceito criticado, quanto à sua utilidade para a interpretação da paisagem por autores como Abreu (1983), Bracken & Wainwright (2008), Brunsden (2001), Thomas (2004).

Por fim, em geomorfologia o estudo do processo, da forma, do sistema ambiental ou da paisagem desvinculados de uma preocupação genuína com o conceito de

tempo conduz a um entendimento incompleto do processo evolutivo e dinâmico do seu objeto de estudo.

REFERÊNCIAS

- ABREU, A. A de. A teoria geomorfológica e sua edificação: análise crítica. **Rev. IG**, São Paulo, v. 4. p. 5-23, 1983.
- ADAMS, J., MASLIN, M.; THOMAS, E. Sudden climatic transitions during the Quaternary. **Progress in Physical Geography**, v. 23, 1999. p. 1 - 36.
- AITKEN, M. J. **An introduction to optical dating**: the dating of Quaternary sediments by the use of photo-stimulated luminescence. New York: Oxford University Press Inc., 1998. 267 p.
- ALVES, J. M. B; REPELLI. C. A. A variabilidade pluviométrica no setor norte do Nordeste e os eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS). **Rev. Brasil. de Meteorologia**, v. 7, n.2, p. 583-592, 1992.
- ARAGÃO, J. O. R de. O impacto do ENSO e do Dipolo do Atlântico no Nordeste do Brasil. **Bull Inst. Fr. Études Andines**, v. 27, p. 839-844. 1998.
- BRACKEN, L. J.; WAINWRIGHT, J. Equilibrium in the balance? Implications for landscape evolution from dryland environments. **Geological Society of London**, Special Publications, v.296, p. 29-46. 2008.
- BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management**: Applications of the River Styles Framework. Oxford: Blackwell publicações, 2005.
- BURT, T. P.; ALLISON, R. **Sediment cascades**: an integrated approach. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.
- BRUNSDEN, D. A critical assessment of the sensitivity concept in geomorpholog. **Catena**, v. 42, n. 2-4, p. 99-123, 2001.
- CORRÊA, A. C. B. **Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil**. Tese (Doutorado), Rio Claro, IGCE, UNESP, 2001. 386p.
- MOY, C. M.; SELTZER, G. O.; RODBELL, D. T.; ANDERSON, D. M. Variability of El Niño/Southern Oscillation activity at millennial timescales during the Holocene epoch. **Nature**, v. 420, p. 162-165, 2002.
- NOAA, National Climatic Data Center/National Oceanic and Atmospheric Administration. [citado em 2014 Set 11]. Disponível em: <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/abrupt/data3.html>.
- THOMAS, M. F. **Geomorphology in the Tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes**. Chichester, John Wiley & Sons, Ltd., 1994.
- THOMAS, M. F. Landscape sensitivity to rapid environmental change – a Quaternary perspective with examples from tropical areas. **Catena**, v. 55, 2004. p. 107 - 124.
- THORNES, J. B.; BRUNSDEN, D. **Geomorphology and Time**. Methuen, London, 1977.
- TURNEY, C. S. M.; KERSHAW, P.; CLEMENS, S. C.; BRANCH, N; MOSS, P. T.; FIFIELD, L. K. Millennial and orbital variations of El Niño/Southern Oscillation and high-latitude climate in the last glacial period. **Nature**, v. 428, p. 306-310, 2004.

SARACHIK, E. S.; CANE, M. A. **The EL NIÑO–Southern oscillation phenomenon**. New York: Cambridge University Press, 2010.

SELBY, M. J. **Earth's changing surface**. London: Clarendon, 1985.

SHUMM, S. A.; LICHTY, R. W. Time, space and causality in Geomorphology. **American Journal of Science**, v. 263, p. 110-119, 1965.

STOTT, L; POULSEN, C; LUND, S; THUNELL, R. Super ENSO and Global Climate Oscillations at Millennial Time Scales. **Science**, v. 297, p.222-226, 2002.

Recebido em dezembro de 2014

Aceito em abril de 2015

