

ALOESTRATIGRAFIA E ANÁLISE DE FÁCIES: "REVOLUÇÕES" NA GEOLOGIA SEDIMENTAR E O ESTUDO DO QUATERNÁRIO*

Claudio Limeira Mello

Professor Assistente - Deptº de Geologia

ABSTRACT

A conceptual discussion is presented concerning some important aspects of the modern sedimentary geology as they are related to particularities of the Quaternary sedimentary record. This study intends to provide new elements for a most objective analysis of Quaternary deposits. The approach utilized is based on the purpose to integrate stratigraphic and sedimentologic analysis. The allostratigraphic perspective and the faciological analysis of events are hereby recommended. The association of geomorphology and stratigraphy is also emphasized as a basic aspect to studies of Quaternary deposits. Concerning this aspect, the identification of depositional surfaces is particularly important.

1 - INTRODUÇÃO

A evolução do conhecimento científico é marcada, fundamentalmente, pela geração de novos conceitos que, em geral, vêm se contrapor àqueles existentes (**revoluções científicas**, segundo Kuhn, 1962), muitas vezes constituindo um resgate de concepções anteriores, com uma ênfase modificada.

O pensamento geológico, aqui interessando especialmente a Geologia Sedimentar (adotando este termo no sentido defendido por Dott, 1988, em uma tentativa de reunificar a Estratigrafia e a Sedimentologia), tem experimentado profundas mudanças conceituais (ou "revoluções"), que, em última análise, têm colocado em discussão até mesmo o Uniformitarismo como princípio básico. Sem dúvida, tais mudanças estão inseridas em uma grande transformação no quadro científico-filosófico geral, e espelham a própria evolução da ciência Geologia segundo o mecanismo de geração e teste de paradigmas.

Nos estudos estratigráficos e sedimentológicos, mudanças significativas estão associadas ao conceito de **fácies sedimentar** e a um resgate da "lei de Walther de correlação de fácies" em uma perspectiva de reconhecimento de **sistemas deposicionais**; relacionam-se, também, à utilização crescente de **descontinuidades estratigráficas** como critério distintivo para a ordenação do registro sedimentar e, ainda, ao retorno de uma concepção de **sedimentação não-gradual**, sob um ponto de vista amplamente diferente.

Em particular, o desafio dos estudos de Estratigrafia do Quaternário é, além de incorporar estas transformações no raciocínio científico, superar dificuldades metodológicas específicas, basicamente relacionadas ao nível de precisão exigido para estes estudos e à sua interdisciplinaridade. Por outro lado, admitindo-se que os depósitos quaternários preservem

* Pesquisa Financiada pelo CNPq, através da concessão de bolsa de Mestrado.

grande quantidade de informações a respeito da história sedimentar, os estudos de Estratigrafia do Quaternário devem oferecer contribuições importantes para a comprovação de conceitos fundamentais, especialmente quanto à relação entre o registro sedimentar e a natureza dos eventos e processos deposicionais.

Neste contexto, busca-se, aqui neste estudo, discutir alguns aspectos importantes da Geologia Sedimentar moderna, como aqueles anteriormente citados, relacionando-os a um objetivo de análise estratigráfica/sedimentológica de depósitos sedimentares de idade quaternária, de modo a, ressalvadas as particularidades do registro sedimentar quaternário, apresentar novos elementos para a solução dos desafios existentes, entre os quais se encontra a sua mistificação na literatura geológica.

2 -A QUESTÃO METODOLÓGICA DA ANÁLISE DO REGISTRO SEDIMENTAR QUATERNÁRIO

A característica mais notável do Período Quaternário é a sua breve duração e, como consequência do curto intervalo de tempo geológico envolvido, o estudo dos depósitos sedimentares quaternários não pode prescindir de um nível de detalhamento desconhecido nos estudos de seqüências sedimentares mais antigas. Exatamente por este motivo, as abordagens tradicionalmente utilizadas na análise estratigráfica de seqüências sedimentares antigas apresentam sérias limitações quando aplicadas na análise de depósitos quaternários, embora os métodos e técnicas a serem utilizados sejam essencialmente os mesmos.

A definição de uma litoestratigrafia de real significado estratigráfico a uma análise de depósitos quaternários esbarra na natureza geralmente pouco espessa e na distribuição descontínua desses depósitos, marcados, ainda, por freqüentes similaridades e recorrência de fácies. Outras abordagens convencionalmente empregadas no estudo de seqüências antigas, como a bioestratigrafia e a cronoestratigrafia, enfrentam, ainda, um registro paleontológico inadequado a propostas de análise estratigráfica, caracterizado por uma pequena variabilidade evolutiva, e a reduzida disponibilidade de dados geocronológicos precisos.

Em síntese, as abordagens tradicionalmente utilizadas no estudo de seqüências sedimentares antigas não resultam, quando aplicadas na análise de depósitos quaternários, na identificação de marcadores estratigráficos e temporais significativos.

As objeções levantadas ao emprego das abordagens comuns a seqüências sedimentares antigas, como o resultado dos sérios impedimentos verificados, têm levado a uma procura de enfoques metodológicos mais específicos a seqüências quaternárias, que considerem as feições particulares do registro sedimentar quaternário (Bowen, 1978), nem sempre com os resultados esperados.

A reconhecida natureza climática do Período Quaternário estimulou o pensamento de que uma base lógica e natural para a análise estratigráfica de seus depósitos sedimentares seriam as variações climáticas inferidas a partir do caráter sedimentológico, fósseis e solos

(Richmond, 1959), levando à proposição de unidades climatoestratigráficas (Richmond, *op. cit.*) e geoclimáticas (A.C.S.N., 1961). Pelo próprio caráter interpretativo, implícito na definição destas unidades (variações climáticas inferidas), foram consideradas subjetivas demais para fundamentar uma classificação estratigráfica, sendo, por isso, abandonadas (N.A.C.S.N., 1983). Deve ser também considerado que a ênfase climática que tem dominado os estudos do Quaternário não pode levar a que muitos outros processos geológicos ativos e importantes, onde destacamos a tectônica, sejam, dessa forma, subestimados.

Não há dúvida de que a quantidade de eventos climáticos registrados, especialmente nos sedimentos oceânicos (Emiliani, 1955; Shackleton & Opdyke, 1973; Berggren *et al.*, 1980), mais que o dobro dos glaciais e interglaciais distinguidos nos depósitos continentais, ressalta o contraste entre o Quaternário e os demais períodos de tempo geológico: não simplesmente a ocorrência de fases quentes e frias, mas a frequência e a amplitude das oscilações climáticas registradas dentro de um intervalo de tempo geológico bastante curto. No entanto, esse contraste está ligado, pelo menos em parte, à preservação (e reconhecimento) dos registros de flutuações climáticas no passado geológico, pois, como discutido por Fischer (1982), existem indícios de mudanças cíclicas de caráter regional na natureza sedimentológica e biológica do registro fanerozóico, só atribuíveis a mudanças globais no clima.

Fischer (1982) discute o papel das oscilações climáticas ocorridas em todo o tempo geológico, avaliando o registro estratigráfico de algumas seqüências marinhas paleozóicas, mesozóicas e cenozóicas. Este autor reconhece a existência de ciclos com magnitudes variadas. Os ciclos maiores, da ordem de 300 milhões de anos, corresponderiam a alternâncias entre fases caracterizadas pela cobertura quase que total da superfície da Terra por capas de gelo (*icehouse state*) e fases de perda total das calotas polares, aquecimento completo dos oceanos e enriquecimento da atmosfera em CO₂ (*greenhouse state*); durante o Fanerozóico, teriam se iniciado três desses ciclos: um no Pré-Cambriano Superior/Cambriano, outro no Carbonífero/Permiano e o último tendo se iniciado no Pleistoceno/Holoceno. Estaríamos, assim, em uma breve passagem por um período mais quente dentro de um ciclo glacial maior. Ciclos de menor magnitude, da ordem de 30 a 36 milhões de anos, corresponderiam a flutuações menores dentro dos ciclos maiores, ligadas, como os ciclos principais, a mecanismos ainda não bem distinguidos, possivelmente relacionados a fatores internos, como convecção mantélica, associados a causas externas, astronômicas. Os menores ciclos, da ordem de 500 mil anos, 100 mil anos, 50 mil anos e 20 mil anos, seriam equivalentes àqueles grandemente registrados durante o Quaternário, relacionados a perturbações orbitais da Terra, não estando, assim, restritos a este período, mas tendo afetado o clima da Terra através do Fanerozóico; poderiam ser explicados pela Teoria de Milankovitch, largamente aceita para explicar as oscilações climáticas quaternárias.

Para uma melhor avaliação do enfoque climático atribuído aos estudos do Quaternário, devemos considerar que as variações climáticas estão, inegavelmente, difundidas por todo o registro geológico e, embora o registro sedimentar quaternário esteja notavelmente marcado

pela frequência de oscilações climáticas, estas não devem ser utilizadas como base à sua análise estratigráfica; não é demais tornar a ressaltar que o caráter climático é eminentemente interpretativo.

Uma outra característica particular dos depósitos quaternários está no fato de que não se encontram restritos a bacias sedimentares *sensu strictu*, mas distribuídos sob as múltiplas formas do relevo, comumente em uma estreita relação genética com as feições morfológicas da paisagem. Disso resulta que uma análise estratigráfica de depósitos quaternários deve considerar os diferentes padrões de organização das paisagens - integração **Geomorfologia-Estratigrafia**.

A perspectiva morfoclimática adotada por Bigarella e colaboradores no estudo do Quaternário brasileiro (Bigarella & Andrade, 1965; Bigarella & Mousinho, 1965; Bigarella *et al.*, 1965), identificando superfícies geomorfológicas produzidas por eventos de erosão e seus depósitos correlativos, enquadra-se nesta abordagem integrativa, assim como no enfoque climático discutido anteriormente. Superfícies (e encaixamentos da drenagem posteriores) e sedimentos são interpretados em relação a variações climáticas, correlacionadas aos glaciais e interglaciais do hemisfério Norte. As superfícies de erosão estariam associadas a fases de clima seco, com chuvas concentradas, quando ocorreria a produção principal de sedimentos, correspondendo aos glaciais das regiões glaciadas, enquanto que os encaixamentos da drenagem por incisão fluvial, que levariam ao escalonamento das superfícies de erosão, estariam ligados a fases de clima úmido, interglaciais.

Embora esta perspectiva tenha representado um avanço importante nos estudos de Estratigrafia do Quaternário, o esquema representado por estes autores tem sido discutido como de difícil aplicação: o reconhecimento em campo das relações propostas não é fácil e, principalmente, não existe uma correlação cronogeológica bem definida (na realidade, parece envolver depósitos sedimentares terciários), além da possibilidade de que movimentos tectônicos quaternários tenham atuado no escalonamento das superfícies. A ênfase atribuída a superfícies erosivas e suas interpretações paeloclimáticas restringe a um caráter secundário a análise do registro sedimentar.

Um enfoque mais pragmático dentro dessa relação Geomorfologia-Estratigrafia na análise do registro sedimentar quaternário é representado pelas **unidades morfoestratigráficas** propostas por Frye & Willman (1962). Corresponderiam a corpos sedimentares identificáveis primariamente pela forma apresentada em superfície, distinguindo-se ou não pela litologia e/ou idade das unidades adjacentes. Pela definição, torna-se evidente uma subordinação demasiada da estratigrafia à percepção das formas de relevo, como alertado por Meis & Moura (1984), que sugeriram que o conceito fosse restrito às condições em que seja possível detectar, com base na estratigrafia, uma relação genética direta entre a forma topográfica e o depósito.

O entendimento das relações entre depósitos e formas de relevo é de real importância ao estudo do registro sedimentar quaternário (especialmente continental). O controle da

sedimentação quaternária continental é efetivamente realizado no âmbito de bacias de drenagem, que atuam, com as devidas restrições, como "bacias sedimentares". A ênfase em abordar **superfícies deposicionais** (unidades morfoestratigráficas segundo a concepção de Meis & Moura, 1984) resulta em um instrumento valioso de reconhecimento e mapeamento de depósitos quaternários.

É necessário ressaltar, no entanto, que os argumentos fundamentais para a análise sedimentar de depósitos quaternários devem ser retirados do próprio registro sedimentar, para o que as abordagens tradicionais (lito-, bio- e cronoestratigrafia) já foram assumidas como bastante limitadas, em função do detalhamento exigido.

3 - ALOESTRATIGRAFIA E AS UNIDADES LIMITADAS POR DESCONTINUIDADES

Considerando a necessidade de uma base de classificação estratigráfica mais adequada às particularidades dos depósitos quaternários, o último Código Estratigráfico Norte-Americano (N.A.C.S.N., 1983) introduziu as **unidades aloestratigráficas**, dirigidas especialmente para a classificação de depósitos neocenozóicos, principalmente quaternários, ressaltando-se, porém, que sua validade também é assumida para o emprego a seqüências sedimentares mais antigas.

Uma unidade aloestratigráfica (do grego *állos* = outro, diferente) corresponde a um corpo sedimentar estratiforme, mapeável, definido pelo reconhecimento de **descontinuidades limitantes** (*discontinuity-bounded unit*). Distingue depósitos de litologia similar superpostos, contíguos ou descontínuos geograficamente, limitados por descontinuidades; permite distinguir, ainda, como unidade única, depósitos caracterizados por heterogeneidade litica, limitados por descontinuidades (Fig. 1).

A Aloestratigrafia enquadra-se, em um contexto mais amplo da Geologia Sedimentar, no que Walker (1990) define como "novas estratigrafias", baseadas em descontinuidades ou discordâncias limitantes. Todas seriam derivadas da Sismoestratigrafia (Vail & Mitchum, 1977) e, além desta, incluem-se entre as "novas estratigrafias" a Estratigrafia de Seqüências (Mitchum *et al.*, 1977; Van Wagoner *et al.*, 1990), a Seqüência Estratigráfica Genética (Galloway, 1989) e a Aloestratigrafia.

Para a proposta de estabelecer uma unidade limitada por descontinuidades, uma descontinuidade pode ser definida como uma superfície de erosão e/ou não-deposição entre corpos de rocha, documentando um hiato ou uma lacuna significativa em uma sucessão estratigráfica, causada por uma interrupção na deposição por um considerável espaço de tempo (I.S.S.C., 1987) - descontinuidades maiores ou discordâncias (*unconformity*). Termos como "significativa" e "considerável" têm significado relativo, mas relacionam-se certamente com a extensão atingida. Interrupções menores, de extensão limitada (diastemas), não se

constituem em uma base apropriada para o estabelecimento de unidades limitadas por discontinuidades.

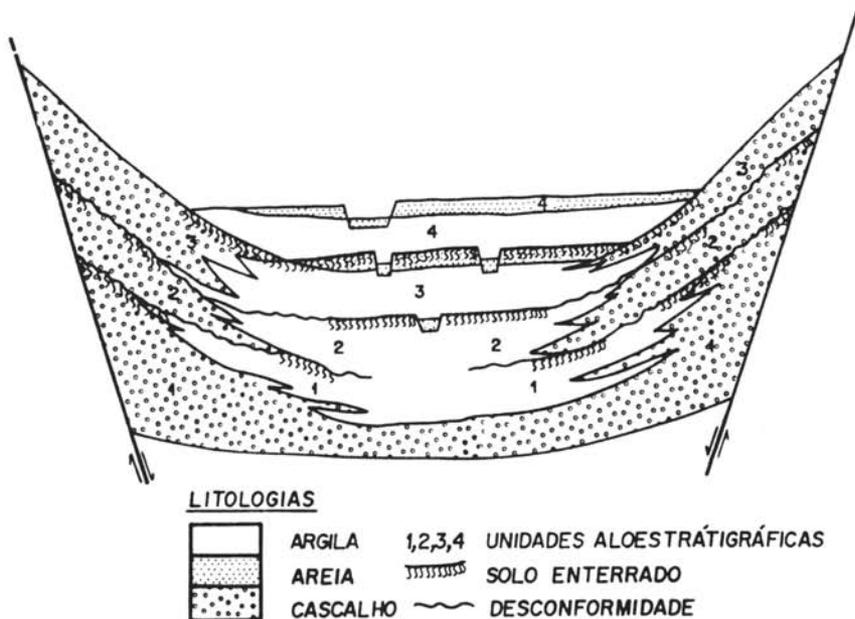


Figura 1: Esquema ilustrativo da utilização da perspectiva aloestratigráfica e da relação aloestratigrafia-litoestratigrafia: quatro unidades aloestratigráficas superpostas, definidas por discontinuidades lateralmente traçáveis (desconformidades e solos enterrados), reunindo duas classes litológicas principais (uma ou duas unidades litoestratigráficas). (Modificado de N.A.S.C.N., 1983)

A utilização de discontinuidades como base à definição de unidades estratigráficas já vem há muito sendo realizada, embora nem sempre assumida desta forma (Owen, 1987; I.S.S.C., 1987). Descontinuidades estratigráficas principais estão freqüentemente associadas a mudanças abruptas de litologia, quebras no registro fóssilífero e angularidade estrutural, representando feições das mais notáveis em uma sucessão estratigráfica; disso resulta que muitos dos sistemas da Escala Cronoestratigráfica Padrão foram, originalmente, unidades limitadas por discontinuidades (I.S.S.C., 1987).

Unidades limitadas por discontinuidades possuem, sem dúvida alguma, um potencial bastante significativo de utilização, comprovado pelas muitas formas como vêm sendo propostas e utilizadas, desde a definição de "seqüência" de Sloss *et al.* (1949) até os "ciclos agradacionais pontuados" (PACs) de Goodwin & Anderson (1985):

- seqüências, como definido por Sloss *et al.* (1949 *apud* I.S.S.C., 1987), correspondem a associações de estratos separadas por marcadas descontinuidades no registro sedimentar cratônico, que podem ser traçadas e correlacionadas por grandes distâncias, em bases objetivas de quebras litológicas e faunísticas e na continuidade na distribuição de fácies; são reconhecidas como unidades litológicas (associações de formações e grupos), sem significado temporal específico;
- Mitchum *et al.* (1977) definem como uma seqüência deposicional uma unidade estratigráfica composta de uma sucessão relativamente concordante de estratos geneticamente relacionados, limitada no topo e base por discordâncias e concordâncias correlativas; onde limitadas por concordâncias, seus limites são tidos como isócronos, tornando-se, com efeito, uma unidade cronoestratigráfica (I.S.S.C., 1987);
- Van Wagoner *et al.* (1990) restringem o conceito de seqüência deposicional (denominada simplesmente de seqüência) em função da alteração do conceito de discordância, que passa a significar, para esses autores, uma relação estratigráfica envolvendo necessariamente truncamento erosivo;
- Goodwin & Anderson (1985) definem PAC como ciclos finos, *shallowing upward*, de extensão bacinal, limitados por superfícies produzidas por levantamentos relativos do nível de base geologicamente instantâneos (*punctuation events*); a hipótese estabelece que PACs são ciclos finos, lateralmente extensos, limitados por superfícies isócronas, sendo considerados como unidades estratigráficas com significado cronoestratigráfico (*time-stratigraphic units*).

Diacrônicas por definição, embora as seqüências deposicionais de Mitchum *et al.* (1977), as seqüências de Van Wagoner *et al.* (1990) e os PACs de Goodwin & Anderson (1985) tenham conotação cronoestratigráfica, as unidades limitadas por descontinuidades possuem, no entanto, um forte significado temporal, por individualizarem eventos sedimentares de magnitudes variadas (descontinuidades = "planos de tempo"). Podem, dessa maneira, ser consideradas como uma base importante para uma cronoestratigrafia.

Outro aspecto notável das unidades limitadas por descontinuidades é que podem envolver uma grande variação litológica, lateral e verticalmente, representando, respectivamente, à luz do conceito de sistemas deposicionais, "gradações" entre ambientes contíguos e evolução de paleoambientes. Tornam-se, assim, um instrumento mais apropriado a análises paleoambientais que as formações, comumente utilizadas.

A ordenação estratigráfica do registro sedimentar através da definição de unidades limitadas por descontinuidades, sintetizada por Dott (1988) como "estratigrafia de seqüências", pode fornecer, dessa forma, um quadro estratigráfico mais próximo do "empilhamento" natural da história sedimentar, permitindo ainda um grau de refinamento (por uma hierarquização das descontinuidades estratigráficas) que pode ser adequado em função dos objetivos do estudo (escalas e quantidade de informações) de maneira mais simples do que pela utilização de

unidades litoestratigráficas, como, por exemplo, a hierarquização concebida por Goodwin & Anderson (1985): PAC, seqüências de PACs e grandes eventos de pontuação.

Somando-se a este potencial que apresentam para a interpretação da história sedimentar, as unidades limitadas por discontinuidades constituem, de modo particular, uma abordagem não-convencional bastante adequada como resposta ao desafio metodológico representado pela análise do registro sedimentar quaternário, descontínuo no espaço e no tempo. A importância das discontinuidades estratigráficas para a análise dos depósitos quaternários está no fato de que o reconhecimento dessas feições documenta variações nos processos deposicionais freqüentemente não evidenciadas pelo caráter litológico, comumente caracterizado por similaridades composicionais e recorrência de fácies em um pequeno intervalo deposicional. Moura & Meis (1980), por exemplo, buscando definir uma litoestratigrafia para depósitos de encosta na região do médio vale do rio Paraíba do Sul (MG-RJ), reconhecem os contatos entre as unidades como associados sempre a discontinuidades erosivas, sendo estas as principais feições observadas, constituindo, ainda, uma base importante para correlação.

A Aloestratigrafia, segundo Walker (1990), surge entre as "novas estratigrafias" como o melhor esquema descritivo (emprego do conceito de discontinuidades à classificação estratigráfica menos dependente de relações interpretativas), sendo passível de aplicação a depósitos sedimentares de qualquer idade e contexto geológico, e em qualquer escala. Sua validade para a aplicação a depósitos sedimentares antigos é, assim, confirmada, ao lado do grande potencial que apresenta como abordagem não-convencional para a análise estratigráfica do registro sedimentar quaternário.

4 - ANÁLISE DE FÁCIES E SISTEMAS DEPOSICIONAIS: MODELOS ATUALÍSTICOS

Uma conseqüência importante que resulta da conceituação apresentada de unidades limitadas por discontinuidades é que estas unidades representariam, pela extensão lateral de suas discontinuidades limitantes, um espectro paleoambiental contínuo, envolvido em um evento sedimentar único (Goodwin & Anderson, 1985). Neste contexto, o instrumento mais adequado à reconstituição paleoambiental, o que tem se constituído em uma preocupação cada vez maior da Geologia Sedimentar (Dott, 1988), está fundamentado nos conceitos de **fácies sedimentar** e **sistema deposicional**, intimamente relacionados.

O termo *fácies* (do latim *facia* ou *facies*, significando aparência externa) tem sido utilizado de formas variadas desde a sua introdução na Geologia por Steno (1669 *apud* Walker, 1984), que definia como *fácies* o aspecto total de uma parte da superfície da Terra durante um certo intervalo de tempo geológico. O uso moderno do termo *fácies* foi introduzido por Gressly (1838 *apud* WALKER, 1984), implicando no somatório total dos aspectos litológicos e paleontológicos de uma unidade estratigráfica.

O conceito de fácies sedimentar é aqui assumido como representando um conjunto concreto de aspectos litológicos, estruturais (estruturas sedimentares) e orgânicos, verificados objetivamente, no campo, pela análise de um corpo sedimentar (Middleton, 1978). Deve ser ressaltado que uma fácies sedimentar reflete, efetivamente, um processo sedimentar particular (Reading, 1986), devendo assim ser interpretada. A relação fácies-ambiente não é tão direta; na sua grande maioria, processos refletidos por fácies sedimentares distintas não podem ser considerados como exclusivos de determinados ambientes; a chave para a interpretação paleoambiental é considerar o conjunto de fácies sedimentares (Walker, 1984), refletindo o conjunto de processos sedimentares que define um ambiente deposicional.

Em uma escala mais ampla de análise, associações de fácies interrelacionadas refletiriam um conjunto de ambientes deposicionais interrelacionados, fundamentando o conceito de sistemas deposicionais.

Walther (1894 *apud* Walker, 1984), em sua "lei da correlação de fácies", enfatizou este reconhecimento de seqüências estratigráficas como o resultado de ambientes deposicionais espacialmente relacionados, afirmando que somente podem ser superimpostas primariamente, sem uma quebra, aquelas fácies e seqüências de fácies que podem ser observadas atualmente em associação lateral umas com as outras. Middleton (1973) ressalta a necessidade de seqüências contínuas, isto é, sem quebras maiores, para a validade deste princípio; Della Fávera (1984) admite que, com as devidas restrições, a lei de Walther continue válida para a interpretação de seqüências estratigráficas pontuadas por descontinuidades menores.

De qualquer forma, aplicada ao registro sedimentar, a lei de Walther sugere que, em uma seqüência vertical, uma transição "gradacional" de uma fácies a outra implica que as duas fácies representam condições deposicionais que atuavam lateralmente adjacentes. Dessa maneira, o registro estratigráfico deixa de ser tomado como um simples empilhamento de unidades litológicas, sendo, a partir de então, possível uma interpretação genética mais próxima das (inter)relações ambientais observadas em sistemas sedimentares atuais. A lei de Walther pode ser tomada, assim, como a base elementar do conceito de sistemas deposicionais.

O conceito de sistema deposicional tem provocado mudanças significativas no raciocínio estratigráfico, promovendo a necessidade de uma grande revisão nos quadros estratigráficos já estabelecidos e, conseqüentemente, nas interpretações da história sedimentar resultantes.

Tal "revolução" pode ser tomada como uma conseqüência de uma observação lúcida do atual, resultante de uma preocupação em se formular **modelos deposicionais** baseados no estudo de ambientes de sedimentação atuais. A validade dessa abordagem pode ser comprovada pelas inúmeras contribuições produzidas, devendo-se, no entanto, evitar que conduza a uma proliferação exagerada de "modelos deposicionais" (Dott, 1988), fugindo ao conceito preconizado por Walker (1984) de que um modelo deposicional deve representar um resumo geral de um ambiente sedimentar, simplificações idealizadas que atuem como **norma** para propostas de comparação, **guia** para futuras observações, **previsor** para novas situações e **base** para a interpretação ambiental. A ênfase em ambientes atuais, embora possa ser discutida,

é explicada por Walther (1893 *apud* Middleton, 1973) quando afirma que as interpretações genéticas mais satisfatórias de eventos antigos são alcançadas por analogia com processos geológicos atuais.

Este raciocínio atualístico, que representa a aplicação de um princípio básico do pensamento científico (Princípio da Uniformidade: o raciocínio científico baseado na analogia de casos examinados para casos não-examinados - Albritton, 1967; Shea, 1982) aos estudos geológicos, pode ainda ser comprovado como uma base fundamental à elucidação da história geológica, mesmo devendo ser admitido que, se os processos atuais podem ser utilizados para explicar eventos antigos, nem todos os processos passados são observados atualmente.

Isto não deve significar, no entanto, que uma visão gradualista de uma evolução geológica a taxas constantes deva subsistir, e, na realidade, o gradualismo como princípio fundamental tem sido duramente questionado (Ager, 1980; Seilacher, 1982; Shea, 1982; Dott, 1983; Hsü, 1983; Della Fávera, 1984; Goodwin & Anderson, 1985; entre outros), a partir de evidências detectadas pela análise detalhada do registro sedimentar.

5 - A NATUREZA EPISÓDICA DO REGISTRO SEDIMENTAR

O registro sedimentar é constituído por depósitos produzidos de maneira essencialmente episódica, ou, pelo menos, pelo grande predomínio destes, associados a eventos "raros", de grande magnitude, implicando em que grande parte do tempo geológico envolvido em uma determinada coluna sedimentar corresponde a períodos de não-deposição e erosão (Fig. 2). Dott (1983) propõe a denominação "sedimentação episódica" como uma definição mais adequada para esta sedimentação não-gradual, rejeitando o termo "catastrófica" por considerá-lo muito associado à filosofia criacionista, ligada a causas sobrenaturais.

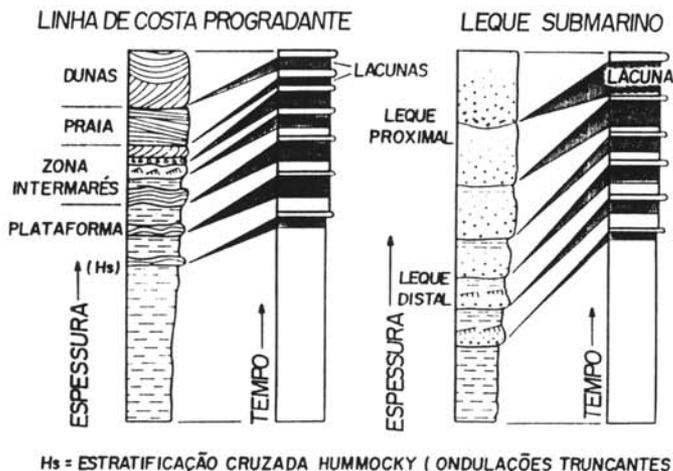


Figura 2: Perfis comparativos da espessura do registro sedimentar e do tempo envolvido em sua construção (in Dott, 1983). Considerável espaço de tempo é representado por

não-deposição e erosão - sedimentação episódica; observe-se também os diferentes intervalos de tempo associados às diferentes unidades deposicionais.

Estudos discutindo a totalidade do registro estratigráfico (Sadler, 1981; Crowley, 1984; Anders *et al.*, 1987; entre outros) têm, de uma certa maneira, demonstrado tal fato: o registro estratigráfico é documentado como incompleto, a partir da constatação de que, enquanto as taxas de sedimentação em ambientes atuais são relativamente elevadas, taxas de acumulação estratigráfica são muito mais lentas, sugerindo uma grande frequência de hiatos deposicionais de magnitudes variadas. Crowley (1984), através de uma análise do registro estratigráfico modelada por uma simulação matemática, reconhece-o, ainda, como dominado por eventos raros de grande magnitude; eventos deposicionais de baixa magnitude seriam removidos do registro sedimentar pela atuação de três "filtros": um primeiro filtro estaria ligado à própria natureza do depósito, existindo poucas estruturas sedimentares para preservar as informações características de um evento deposicional; um segundo filtro é resultado da própria inércia dos ambientes, sendo preservados somente os eventos de duração maior que o tempo de resposta do meio; o terceiro, e principal filtro, com potencial para remover a maioria das informações a respeito do regime deposicional e horizontes de tempo, é resultado das disparidades entre taxas de acumulação e retrabalhamento.

A grande frequência de superfícies abruptas e descontinuidades estratigráficas detectada em análises detalhadas de seqüências sedimentares, fundamentando, inclusive, uma ordenação lógica do registro sedimentar (Goodwin & Anderson, 1985, por exemplo), está, realmente, em desacordo com o gradualismo estratigráfico. Do mesmo modo, depósitos como turbiditos, tempestitos, inunditos e outros semelhantes, apresentados por Seilacher (1982) e Della Fávera (1984), por exemplo, reforçam os argumentos a favor de uma sedimentação principalmente episódica.

É importante que venha a ser discutido quão raros (e intensos) poderiam ser tais episódios deposicionais, devendo ser rejeitadas conotações "catastróficas", na medida em que essa dinâmica sedimentar tem sido identificada como comum a determinados ambientes de sedimentação. Torna-se necessário, por este motivo, distinguir-se claramente as escalas temporal e espacial de análise, considerando-se que observações de curta ou longa duração (ou abrangência) representarão, com toda certeza, espectros distintos de toda uma grande variabilidade de processos, em termos de magnitude e frequência; do mesmo modo, para ambientes deposicionais diferentes, processos episódicos de grande magnitude ou processos graduais podem predominar. Reading (1986), reconhecendo que a distinção entre sedimentação "normal" e episódica em geral não é simples, especialmente porque são os produtos que são observados, não os processos, propõe que os depósitos sejam reconhecidos como raros ou abundantes, e que a interpretação com relação a processos "normais" e episódicos seja feita pela análise de uma seqüência estratigráfica, ressaltando-se as relações de contato.

A interpretação do registro sedimentar como produto de eventos deposicionais marcadamente episódicos, em contraste com uma visão gradualista de uma sedimentação contínua, pontuada por breves hiatos deposicionais, constitui uma mudança filosófica de grande significado, devendo trazer modificações de grande alcance na forma de considerar a história geológica, especialmente por uma reformulação dos modelos deposicionais existentes de forma a acomodar as muitas descontinuidades presentes (Dott, 1983).

Tal "revolução" tem sido acompanhada em outros segmentos do raciocínio científico, como ilustrado pela "teoria do equilíbrio pontuado na evolução biológica" (Eldredge & Gould, 1972), demonstrando ser um reflexo de uma transformação maior no pensamento científico-filosófico geral.

Nos estudos geomorfológicos, novos conceitos de tempo (*cyclic, graded e steady time* - Schumm & Lichty, 1965) e de "equilíbrio" (*episodic erosion, geomorphic thresholds e complex response* - Schumm, 1973; 1975) foram incorporados, resultando no entendimento da evolução da paisagem não mais como um ciclo contínuo, mas como sujeita a alterações significativas em diferentes escalas temporais e com respostas diferenciadas. O conceito de *thresholds*, por exemplo, definindo limites críticos para o rompimento de estados de equilíbrio, enfatiza, de uma maneira bastante significativa, uma evolução geomorfológica marcadamente episódica (Fig. 3). A partir desta constatação, Schumm (1975) sugere que um registro estratigráfico essencialmente descontínuo seria o esperado, como o resultado de uma erosão fundamentalmente episódica nas bacias de drenagem e, assim, uma produção descontínua de sedimentos.

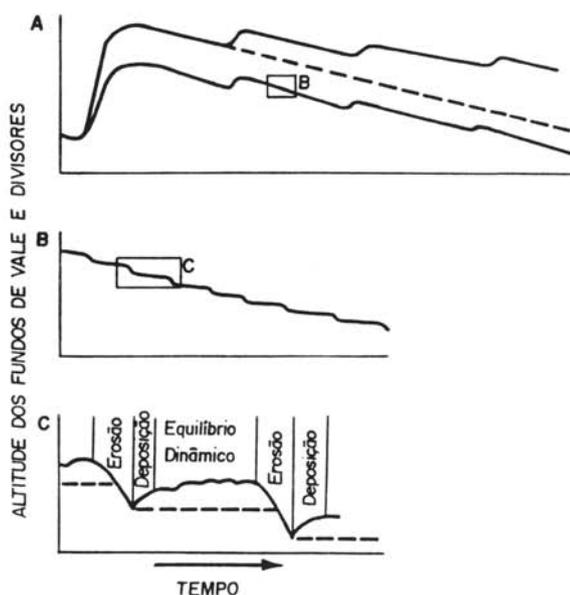


Figura 3: Ciclo geomorfológico de Davis (linha tracejada) modificado para ajustar-se ao conceito de erosão episódica, associada a rompimentos de estados de equilíbrio em

limites críticos (*thresholds*), reproduzíveis em várias escalas (A, B e C) - in Schumm (1975).

Dentro desse contexto, a análise dos depósitos quaternários, registro de eventos atuais e do passado geológico recente, pode se constituir em um elo fundamental para a avaliação do caráter sedimentar dos eventos deposicionais (gradual X episódico), podendo fornecer informações mais completas, especialmente em termos de magnitude, frequência, natureza sedimentológica e preservação.

6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos relacionados à ordenação estratigráfica do registro sedimentar quaternário podem ser divididos em dois ramos principais de pensamento, distinguindo entre aqueles que não vêem razão para considerá-lo diferente de outros períodos de tempo geológico e, ao contrário, aqueles que, por considerarem a existência de feições distintivas nos depósitos quaternários, defendem a utilização de uma abordagem especial. Sem dúvida, existem características particulares que devem ser analisadas, principalmente quando verificamos o caráter fragmentário do registro e admitimos que a natureza cíclica dos episódios climáticos tem produzido, em um curto intervalo temporal, ambientes similares recorrentes, não existindo, ainda, seqüências datadas com a precisão necessária.

A associação Geomorfologia-Estratigrafia tem sido demonstrada como uma abordagem fundamental para o reconhecimento dos depósitos quaternários, sendo um instrumento valioso para uma ordenação preliminar do registro quaternário; uma perspectiva morfoestratigráfica que enfatize superfícies deposicionais deve se constituir em um elemento básico para o mapeamento e a correlação das unidades deposicionais quaternárias. No entanto, para o esclarecimento em detalhe da história evolutiva da paisagem (reconstituição paleoambiental), são indispensáveis argumentos mais concretos, somente obtidos a partir da análise do registro sedimentar.

Neste sentido, a relevância da abordagem aloestratigráfica tem sido documentada para a identificação e classificação dos eventos deposicionais quaternários (Moura & Meis, 1986; Moura & Mello, 1991), sendo considerada bastante conveniente como resposta à questão metodológica representada pela fragmentação espacial e recorrência e similaridade de fácies que caracterizam o registro quaternário, ressaltando a importância das descontinuidades estratigráficas no estudo do registro sedimentar quaternário e mais antigo.

A incorporação de análises faciológicas detalhadas, à luz do conceito de sistemas deposicionais, é necessária, permitindo o estabelecimento de quadros mais claros e objetivos de reconstituição paleoambiental, sendo aspecto importante para a avaliação de questões referentes à magnitude e frequência dos processos, para o que considera-se os estudos do Quaternário como indispensáveis.

A partir da discussão conceitual apresentada, propõe-se que os estudos do registro sedimentar quaternário não sejam distanciados das recentes modificações introduzidas na

Geologia Sedimentar, enfatizando a necessidade de uma análise sedimentar integrada, baseada em uma "estratigrafia de seqüências" (representada pela Aloestratigrafia) e em uma análise sedimentológica de eventos. Ao contrário, entende-se que o estudo de depósitos quaternários deve servir como parâmetro para avaliação destes conceitos fundamentais, assumindo-se a maior preservação de informações. Estas abordagens modernas do registro sedimentar devem ser incorporadas às observações geomorfológicas, pedológicas e palinológicas, cuja importância para os estudos do Quaternário vem de encontro à superação dos desafios metodológicos representados pelas particularidades deste período de tempo geológico.

Agradecimentos: Este trabalho foi elaborado dentro de um plano de estudos de Mestrado, realizado no Programa de Pós-Graduação em Geologia do IGEO/UFRJ, contando com o apoio financeiro do CNPq, através da concessão de bolsa de Mestrado. Durante as etapas de seu desenvolvimento, contou com a colaboração sincera dos amigos integrantes do Grupo de Estudos em Geomorfologia e Estratigrafia do Quaternário, do Departamento de Geografia (IGEO/UFRJ), coordenado pela Profª. Dra. Josilda Rodrigues da Silva de Moura, aos quais agradeço. Agradeço à Profª. Josilda, em especial, seu estímulo e o aprendizado proporcionado como orientadora, levantando discussões importantes ao aprimoramento do trabalho realizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGER, D.V. *The nature of the stratigraphical record*. 2. ed. New York, John Wiley, 1980. 122 p.
- ALBRITTON, C.C. Uniformity, the ambiguous principle. In: ----- ed. *Uniformity and simplicity. A Symposium on the Principle of the Uniformity of Nature*. Geol. Soc. Am. Spec. Papers, New York, 89, 1967. p. 1-2.
- AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE - A.C.S.N. Code of Stratigraphic Nomenclature. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, Tulsa, 45(5): 645-65, may. 1961.
- ANDERS, M.H.; KRUEGER, S.W.; SADLER, P.M. A new look at sedimentation rates and the completeness of the stratigraphic record. *J. Geol.*, Chicago, 95(1):1-14, jan. 1987.
- BERGGREN, W.A.; BURCKLE, L.H.; CITA, M.B.; COOKE, H.B.S.; FUNNELL, B.M.; GARTNER, S.; HAYES, J.D.; KENNETT, J.P.; OPDYKE, N.D.; PASTOURET, L.; SHACKLETON, N.J.; TAKAYANAGI, Y. Towards a new Quaternary time scale. *Quat. Res.*, New York, 13(3):277-302, may. 1980.
- BIGARELLA, J.J. & ANDRADE, G.O. Contribution to the study of the Brazilian Quaternary. In: WRIGHT, H.E. Jr. & FREY, D.G. eds. *International Studies on the Quaternary*. Geol. Soc. Am. Spec. Papers, New York, 84. 1965. p. 433-51.
- BIGARELLA, J.J. & MOUSINHO, M.R. Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvios e várzeas. *B. Paran. Geogr.*, Curitiba, 16/17:153-97, jul. 1965.
- BIGARELLA, J.J.; MOUSINHO, M.R.; SILVA, J.X. Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. *B. Paran. Geogr.*, Curitiba, 16/17:117-51, jul. 1965.

- BOWEN, D.Q. *Quaternary Geology: a stratigraphic framework for multidisciplinary work*. London, Pergamon Press, 1978. 221p.
- CROWLEY, K. D. Filtering of depositional events and the completeness of sedimentary sequences. *J. Sediment. Petrol.*, Tulsa, **54**(1):127-36, mar. 1984.
- DELLA FÁVERA, J.C. Eventos de sedimentação episódica nas bacias brasileiras. Uma contribuição para atestar o caráter pontuado do registro sedimentar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais ...* Rio de Janeiro, SBG, 1984. v.1, p. 489-501.
- DOTT, R.H.Jr. Episodic sedimentation - how normal is average? How rare is rare? Does it matter? *J. Sediment. Petrol.*, Tulsa, **53**(1):5-23, mar. 1983.
- DOTT, R.H.Jr. Something old, something new, something borrowed, something blue - a hindsight and foresight of sedimentary geology. *J. Sediment. Petrol.*, Tulsa, **58**(2):358-64, mar. 1988.
- ELDRIDGE, N. & GOULD, S.J. Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In: SCHOPF, T.J.M. ed. *Models in paleobiology*. San Francisco, Freeman, 1972. p.82-115.
- EMILIANI, C. Pleistocene temperatures. *J. Geol.*, Chicago, **63**(6):538-78, nov. 1955.
- FISCHER, A.G. Long-term climatic oscillations recorded in stratigraphy. In: *Studies in geophysics: climate in Earth history*. Nat. Acad. Press, 1982. p. 97-104.
- FRYE, J.C. & WILLMAN, H.B. Morphostratigraphic units in Pleistocene stratigraphy. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, Tulsa, **46**(1):112-13, jan. 1962.
- GALLOWAY, W.E. Genetic stratigraphic sequence in basin analysis I; architecture and genesis of flooding-surface bounded depositional units. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, Tulsa, **73**:125-42. 1989.
- GOODWIN, P.W. & ANDERSON, E.J. Punctuated aggradational cycles: a general hypothesis of episodic stratigraphic accumulation. *J. Geol.*, Chicago, **93**(5):515-33, sep. 1985.
- HSÚ, K.J. Actualistic catastrophism. *Sedimentology*, London, **30**(1):3-9, feb. 1983.
- INTERNATIONAL SUBCOMMISSION ON STRATIGRAPHIC CLASSIFICATION - I.S.S.C. Unconformity-bounded stratigraphic units. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Boulder, **98**(2):232-37, feb. 1987.
- KUHN, T.S. *The structure of scientific revolutions*. Chicago, University of Chicago Press, 1962. 210 p.
- MEIS, M.R.M. & MOURA, J.R.S. Upper Quaternary Sedimentation and Hillslope Evolution: Southeastern Brazilian Plateau. *Am. J. Sci.*, New Haven, **284**(3):241-54, mar. 1984.
- MIDDLETON, G.V. Johannes Walter's law of the correlation of facies. *Geol. Soc. Am. Bull.*, Boulder, **84**(3):979-88, mar. 1973.
- MIDDLETON, G.V. Facies. In: FAIRBRIDGE, R.W. & BOURGEOIS, J. eds. *Encyclopedia of Sedimentology*. Stroudsburg, Hutchinson and Ross, 1978. p. 323-25.
- MITCHUM, R.M.; VAIL, P.R.; THOMPSON, S. III. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 2: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: PAYTON, C.E. ed. *Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 26, Tulsa, 1977. p. 53-62.
- MOURA, J.R.S. & MEIS, M.R.M. Litoestratigrafia preliminar para os depósitos de encostas do Quaternário Superior do Planalto SE do Brasil (MG-RJ). *R. bras. Geoc.*, São Paulo, **10**(4):258-67, dez. 1980.
- MOURA, J.R.S. & MEIS, M.R.M. Contribuição à Estratigrafia do Quaternário Superior no médio vale do rio Paraíba do Sul - Bananal, SP. *An. Acad. bras. Ciênc.*, Rio de Janeiro, **58**(1): 89-102, mar. 1986.

- MOURA, J.R.S. & MELLO, C.L. Classificação aloestratigráfica do Quaternário superior na região de Bananal (SP/RJ). *R. bras. Geoc.*, São Paulo, **21**(3):236-254, set. 1991.
- NORTH AMERICAN COMMISSION ON STRATIGRAPHIC NOMENCLATURE - N.A.C.S.N. North American Stratigraphic Code. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, Tulsa, **67**(5):841-75, may. 1983.
- OWEN, D.E. Usage of stratigraphic terminology in papers, illustrations, and talks. *J. Sediment. Petrol.*, Tulsa, **57**(2):363-72, mar. 1987.
- READING, H.G. *Sedimentary environments and facies*. 2 ed. Oxford, Blackwell Scientific Publications. 1986. 615 p.
- RICHMOND, G.M. Application of stratigraphic classification and nomenclature. *Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull.*, Tulsa, **43**(3):663-75, mar. 1959.
- SADLER, P.M. Sediment accumulation rates and the completeness of stratigraphic sections. *J. Geol.*, Chicago, **89**(5):569-84, sep. 1981.
- SCHUMM, S.A. Geomorphic thresholds and complex response of drainage systems. In: MORISAWA, M. ed. *Fluvial Geomorphology*. London, Allen & Unwin, 1973. Cap. 13, p. 299-310.
- SCHUMM, S.A. Episodic erosion: a modification of the geomorphic cycle. In: MELHORN, W.N. & FLEMAL, R.C. eds. *Theories of landform development*. London, Allen & Unwin, 1975. p.69-85.
- SCHUMM, S.A. & LICHTY, R.N. Time, space and causality in geomorphology. *Am. J. Sci.*, New Haven, **263**(2):110-119, feb. 1965.
- SEILACHER, A. General remarks about event deposits. In: EINSELE, G. & SEILACHER, A. eds. *Cyclic and event stratification*. New York, Springer Verlag, 1982. p. 161-74.
- SHACKLETON, N.J. & OPDYKE, N.D. Oxygen isotope and paleomagnetic stratigraphy of equatorial Pacific cores V28-238: oxygen isotope temperatures and ice volumes on a 10 year and 10 year scale. *Quat. Res.*, New York, **3**(1):39-55, jan. 1973.
- SHEA, J.H. Twelve fallacies of uniformitarianism. *Geology*, Boulder, **10**(9):455-50, sep. 1982.
- SLOSS, L.L.; KRUMBEIN, W.C.; DAPPLES, E.C. Integrated facies analysis. In: LONGWELL, C.R. chairman. *Sedimentary facies in geologic history*. Geol. Soc. Am. Mem., New York, 39. 1949. p. 91-124.
- VAIL, P.R. & MITCHUM, R.M. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 1: overview. In: PAYTON, C.E. ed. *Seismic stratigraphy - applications to hydrocarbon exploration*. Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem., 26, Tulsa, 1977. p. 51-52.
- VAN WAGONER, J.C.; MITCHUM, R.M.; CAMPION, K.M.; RAHMANIAN, V.D. *Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies*. Tulsa, Am. Assoc. Petrol. Geol., Methods in Exploration Series 7. 1990. 55 p.
- WALKER, R.G. *Facies Models*. 2 ed. Toronto, Geoscience Canada, Reprint Series 1. 1984. 317 p.
- WALKER, R.G. Facies modeling and sequence stratigraphy. *J. Sediment. Petrol.*, Tulsa, **60**(5):777-86, sep. 1990.