
Associação vertical de fácies e análise de elementos arquitecturais: concepções concorrentes e complementares na caracterização de ambientes aluviais

The vertical facies succession analysis and the architectural element analysis: concurrent and complementary concepts used for the characterisation of alluvial environments

PAULO D. FERREIRA JÚNIOR* - pdias@degeo.ufop.br (Dep. de Geologia, Univ. Federal de Ouro Preto, Brasil)
PAULO T.A. CASTRO - paulo@degeo.ufop.br (Dep. de Geologia, Univ. Federal de Ouro Preto, Brasil)

Resumo: O estudo de rochas sedimentares em afloramentos emprega duas formas distintas de análise, interpretação e codificação denominadas de sucessão vertical de fácies e análise de elementos arquitecturais. Os resultados da aplicação de metodologias distintas divergem, principalmente, no que diz respeito ao pormenor das informações obtidas. A aplicabilidade destes dois métodos foi testada na análise das rochas sedimentares da Formação Uberaba, Grupo Bauru, Neo-Cretáceo da Bacia do Paraná, na região sudeste do Brasil. A utilização em conjunto da sucessão vertical de fácies e análise de elementos arquitecturais permitiu definir o sistema deposicional responsável pela formação desta unidade como fluvial dominado por um complexo de canais entrançados marcados por uma alta mobilidade lateral.

A síntese das informações levantadas em campo e a busca pela padronização da linguagem técnica levou ao desenvolvimento do conceito de fácies que congrega aspectos físicos, químicos e biológicos de rochas sedimentares de diferentes tipos. A sucessão vertical de fácies e associação de fácies com relações genéticas e ambientais possibilita a definição de um sistema deposicional. A simples identificação de uma sucessão vertical de fácies, entretanto, não deve ser utilizada isoladamente na caracterização dos sistemas deposicionais.

Do mesmo modo, uma simples correlação com uma tabela preestabelecida com as principais fácies deve ser evitada, pois características menores, mas não menos importantes podem vir a ser ignoradas comprometendo uma descrição minuciosa e detalhada. A representação gráfica da sucessão vertical de fácies é dada em perfis estratigráficos ou sedimentológicos que trazem uma perspectiva bidimensional dos pacotes rochosos. Este método foi largamente empregue a partir da década de 1970, sendo amplamente utilizado com eficiência e fácil aplicação.

A sistematização das técnicas de descrição e análise de rochas sedimentares em afloramentos passou por um grande avanço na década de 1980 quando foi desenvolvido o conceito do Método de Análise de Elementos Arquitecturais.

Esta metodologia emprega o rico acervo de superfícies de descontinuidades que separa as fácies e associações de fácies e que era ignorado ou sub-utilizado pelo método da associação vertical de fácies. O princípio fundamental da técnica de análise arquitectural é a identificação de superfícies de descontinuidades físicas que subdividem uma sequência aluvial em pacotes geneticamente relacionados e hierarquicamente estruturados conhecidos com elementos arquitecturais e macroformas. Estas informações, associadas à direcção de migração das formas de leito, propiciam uma visão tridimensional

* Endereço postal/Address:

Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto - Cep 35400-000, Ouro Preto, MG, Brasil

Nota: a edição electrónica deste artigo pode disponibilizar actualizações e conteúdos multimédia
Note: check for updates and multimedia resources on the on-line edition of this paper

dos depósitos obtida a partir de secções aflorantes bidimensionais o que possibilita a determinação da geometria dos corpos sedimentares.

A análise arquitectural oferece vantagens sobre a associação vertical de fácies, pois possibilita a determinação da geometria dos pacotes arenosos e informações detalhadas sobre variações locais do estilo fluvial e da direcção de desenvolvimento das formas de leito que podem ser de grande importância em campanhas de prospecção em depósitos aluviais. No confronto entre a utilização do método de análise de elementos arquitecturais e da associação vertical de fácies, os dois se mostram concorrentes e complementares.

Este texto discorre sobre questões metodológicas relacionadas à aplicação da técnica dos perfis estratigráficos e análise de elementos arquitecturais apontando as vantagens e desvantagens dos métodos no estudo de depósitos aluviais.

Palavras-Chave: Fácies, elemento arquitectural, macroforma, aluvial, modelo deposicional

Abstract: There are two ways to study sedimentary rocks in outcrops: the vertical facies succession analysis and the architectural element analysis. The main difference between them is related to how detailed the results are. This paper deals with methodological aspects of both methods, trying to point out the advantages and disadvantages of using each one in alluvial rocks. In order to make this research it was selected as fieldwork object the Neocretaceous sedimentary rocks from Uberaba Formation, Bauru Group, of Paraná Basin, Southeast Brazil. From using both methods we can define these rocks as formed by a braided fluvial system with a high mobility channel complex.

When the vertical facies succession analysis is used, several steps must be used from outcrop analysis to depositional system interpretation. The collect of outcrop data and the necessity of an useful technical language are the base over which the facies concept was established. The vertical facies succession and facies association based on their genetic and environmental relations are used to define depositional systems. However, the establishment of vertical succession of facies by itself can not be used to characterise a depositional system.

In the same way, comparison among facies groups from outcrops and those presented as summary tables of each depositional systems that appear in several publications must be avoid because they simply ignore some characteristics of each example. Vertical successions of facies are usually showed as bidimensional graphic logs, being wide used since the 1970's.

In 1980, the establishment of the architectural element analysis method improved the sedimentary rock description and analysis of outcrops. Instead of using only sedimentary rock aspects (facies) this method pays attention on the discontinuity surfaces such as set boundaries that usually occurs in outcrops. The main goal of architectural element analysis method is to identify discontinuity surfaces that can be used to limit and identify genetically related sedimentary bodies in alluvial rocks. These sedimentary bodies, hierarchically ordered are known as architectural elements and macroforms.

It is possible to obtain a tridimensional perspective of sedimentary rocks and consequently their geometry by using architectural elements and macroforms defined in outcrops associated with paleocurrent measurements of bedforms.

The Architectural elements analysis offer more advantages to the user when compared with vertical facies succession analysis. This is mainly because architectural element analysis turns possible to determine sandy body geometry, local variation of the alluvial depositional style and the direction of sedimentary growing and/or developing. These informations are useful in mineral deposit prospection such as in placer deposits and in petroleum prospection also.

When compared, both the vertical facies succession and architectural element analysis methods they seem to be competing and complementing at the same time.

Keywords: Facies, architectural elements, macroform, alluvial, depositional models

INTRODUÇÃO

INTRODUCTION

Os estudos de rochas sedimentares em afloramento sofreram um grande avanço nos últimos 30 anos, em função da sistematização e aperfeiçoamento das técnicas de descrição e da aplicação do conceito de fácies. Em particular, o reconhecimento de padrões de ocorrência de fácies em ambientes aluviais e a criação de um sistema de códigos, permitiu a agilização dos processos descritivos, otimizando a documentação dos resultados e facilitando a comunicação entre os geólogos. Por exemplo, as associações verticais de fácies têm nos perfis estratigráficos sua representação gráfica mais abrangente e significativa em termos das definições dos ambientes deposicionais, a partir dos preceitos da Lei de Walther.

Na década de 80 foi desenvolvida, principalmente por Miall (1985, 1988a), uma nova metodologia que permite a visão tridimensional dos pacotes rochosos a partir de secções aflorantes com expressiva continuidade lateral, as assim chamadas secções bidimensionais. A análise de elementos arquitecturais, denominação dada a esta última técnica, é um grande salto qualitativo que, entretanto, dá os seus primeiros passos contando com um número reduzido de trabalhos.

Tanto o estudo das sucessões verticais de fácies quanto a análise de elementos arquitecturais não são meramente descritivos. O entendimento da natureza e origem das rochas sedimentares envolve procedimentos descritivos - imprescindíveis no estabelecimento do arranjo e da distribuição de diferentes aspectos das rochas sedimentares de uma dada sequência - e procedimentos interpretativos que visam elucidar o ambiente aluvial em que se deu a sedimentação e suas condições de controlo, tais como o clima e relevo. No procedimento interpretativo, deve-se usar a analogia com modelos modernos observados directamente na natureza ou frutos de experimentação ou teorias. A busca da relação entre as acções descritivas e interpretativas é que, em última instância, norteará os métodos de análise das rochas sedimentares.

Este texto discorre sobre questões metodológicas relacionadas a aplicação da técnica de perfis estratigráficos visando estabelecer as associações verticais de fácies e a análise de elementos arquitecturais, apontando as suas vantagens e desvantagens no estudo de depósitos aluviais. Entende-se como depósitos aluviais o conjunto de fácies geradas em ambientes fluviais e em leques aluviais. O texto visa também suprir a falta de material específico que confronte os estudos de sucessão vertical de fácies e a análise de elementos arquitecturais e também as aplique em conjunto, mostrando o campo de actuação mais propício a cada um deles.

A base para a análise feita neste texto é a aplicação das duas técnicas de estudos de sistemas aluviais, por Ferreira-Júnior (1996) à Formação Uberaba, Grupo Bauru, Neocretáceo da Bacia do Paraná, Brasil. As informações pertinentes ao contexto geológico em que estão inseridas estas rochas serão abordadas no limite necessário a tornar mais claras as técnicas de análise aplicadas.

A Formação Uberaba, de abrangência restrita ao Triângulo Mineiro e pequenas porções do Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais, é constituída por litoarenitos e litoarenitos feldspáticos com baixa selecção e arredondamento, com a granulometria variando de areia fina a muito grossa. Níveis conglomeráticos são comuns junto à base da Formação Uberaba (figura 1). A génese das rochas sedimentares da Formação Uberaba está associada a um sistema fluvial dominado por um complexo de canais entrançados marcados por uma alta mobilidade lateral (Ferreira-Júnior & Castro, 1998).

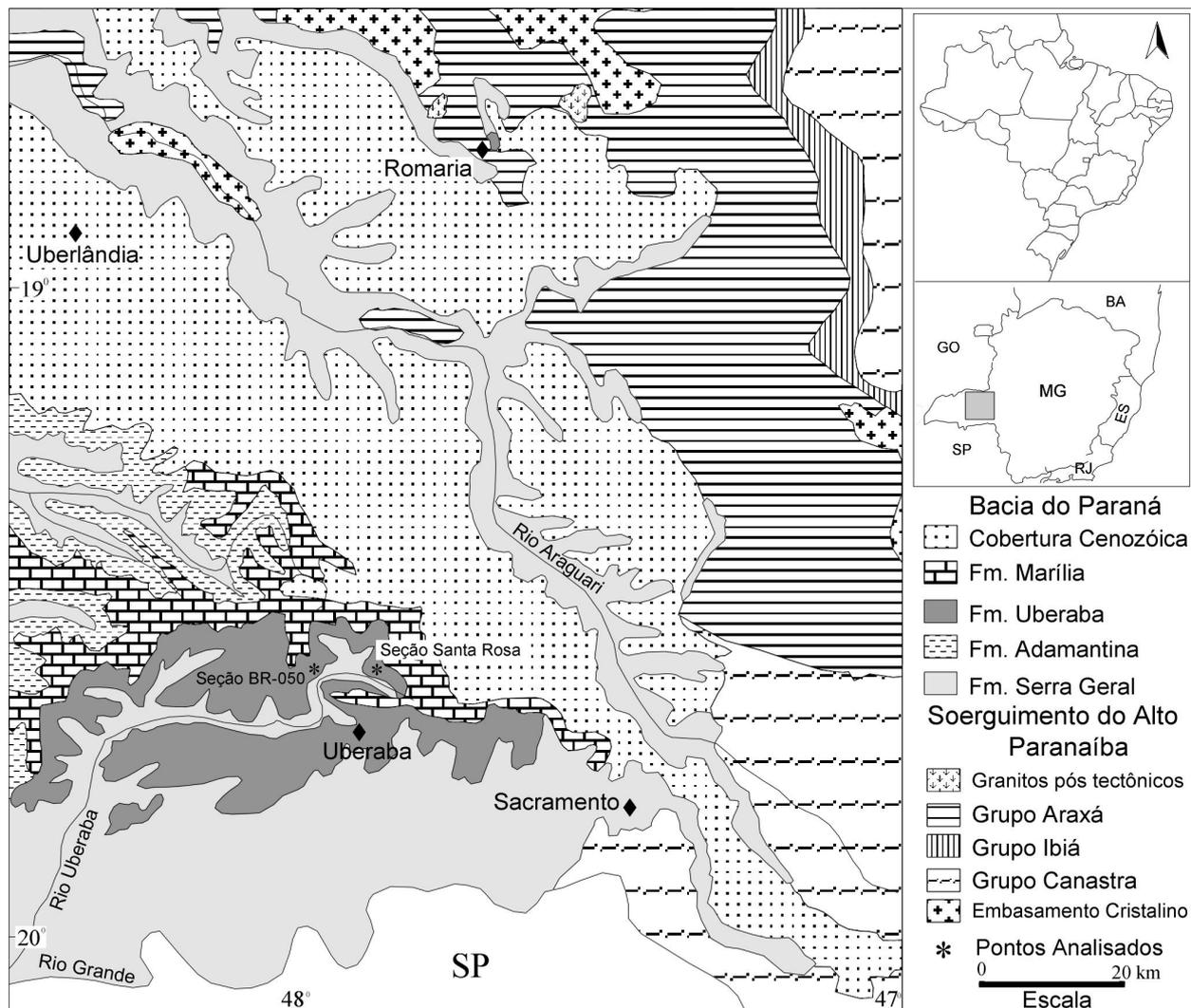


Figura 1 - Mapa geológico da área estudada (modificado de COMIG, 1994).

Figure 1 - Geological map of the studied area (after COMIG, 1994).

ANÁLISE DE FÁCIES FACIES ANALYSIS

Desde cedo, a comunidade geológica notou a necessidade de padronizar e simplificar a linguagem técnica, buscando sumariar as informações obtidas nas descrições de campo de modo a permitir a comunicação entre os geólogos e evitar a profusão de nomes e conceitos que versassem sobre um mesmo tema. A partir deste desafio, a sistematização do conhecimento geológico - após várias propostas e mudanças - convergiu para o conceito de fácies que, pode ser definido a partir da conceituação original de Gressly, em 1838, como as propriedades físicas, químicas e biológicas das rochas que, colectivamente, permitem uma descrição objectiva, como também a distinção entre rochas de diferentes tipos (Cross & Homewood, 1997). Em outras palavras, um corpo sedimentar com características específicas que o distingue de outras unidades rochosas vizinhas. O aspecto vago deste princípio é, paradoxalmente, o responsável pela sua aceitação, pois tem como vantagem principal uma liberdade de interpretação muito grande que abarca todas as subtilezas dos processos sedimentares reinantes nos diversos ambientes deposicionais

Várias são as propostas para a distinção e caracterização de uma determinada fácies. Dentre elas, destaca-se a de Selley (1978) que engloba as principais evidências possíveis de serem detectadas em campo e que envolve a litologia, grau de selecção, granulometria, estruturas sedimentares, direcção de paleocorrentes, conteúdo fossilífero e geometria do corpo. A geometria dos corpos sedimentares está relacionada, ainda que parcialmente, à topografia do ambiente deposicional, devendo-se observar se a história pós-deposicional não a alterou substancialmente. A composição mineralógica das rochas detríticas oferece informações sobre a área fonte, ao passo que a granulometria, grau de selecção e estruturas sedimentares trazem indícios sobre o transporte e a deposição, reflectindo o nível de energia e separando, naturalmente, os processos sedimentares envolvidos.

A simples definição e o reconhecimento de uma determinada fácies, porém, não são suficientes para se inferir sobre o seu ambiente de formação. Walker (1984) cita, como exemplo, uma fácies de arenito com estratificação cruzada que pode ser formada em um ambiente fluvial meandriforme ou entrançado, canal de maré ou em áreas de off-shore dominadas por correntes costeiras. É necessário, portanto, estabelecer a forma pela qual as fácies se associam e sucedem. Utiliza-se para tanto a "Lei da Correlação de Walther" (1893, *apud* Walker, 1984) segundo a qual, em uma sucessão vertical, uma passagem gradacional entre duas fácies sugere que elas estão associadas, tendo sido geradas em ambientes deposicionais lateralmente contíguos, ao passo que, um contacto abrupto ou erosivo pode indicar intervalos de não deposição ou mudanças significativas no ambiente deposicional.

A saída para o impasse criado pelo fato de uma mesma fácies ser gerada em ambientes diferentes é a constatação de que, em uma sucessão vertical de fácies, podem ser reconhecidas associações de fácies que, segundo Reading (1980), são um grupo de fácies que ocorre em conjunto e que pode ser relacionado genética e ambientalmente. Aplicando este princípio, Walker & Cant (1984), em um trabalho de grande minúcia, dividiram um conjunto de rochas sedimentares de origem fluvial em várias fácies, anotando as diversas passagens entre elas e definindo estatisticamente o modo como elas se sucediam. Como resultado, formularam uma sequência idealizada para a unidade depositada por canais entrançados. Segundo esses pesquisadores, a partir de uma sucessão vertical de fácies que mostre uma relação genética e ambiental é possível estabelecer o conjunto que melhor represente aquele exemplo de sistema deposicional. O estudo de vários exemplos de um dado ambiente deposicional poderá ser sintetizado em várias sucessões verticais de fácies. Os atributos mais comuns a estas sucessões de fácies poderão ser incorporados a um modelo de fácies, aprimorando, portanto, o refinamento do que é comum aos diversos exemplos de rochas formadas naqueles ambientes.

Com base nos atributos físicos tais como granulometria, textura e estruturas sedimentares, pode-se fazer inferências sobre o nível de energia e os processos sedimentares envolvidos na formação de uma dada unidade rochosa. Seguindo este raciocínio, é possível que as associações de fácies possam ser agrupadas e relacionadas a um determinado tipo ou modelo de sistema deposicional.

A aceitação do termo fácies e sua aplicação gerou o aparecimento de inúmeras definições e nomenclaturas que muitas vezes se referiam aos pacotes rochosos com características muito semelhantes. A unificação e padronização destes conceitos foi proposta por Miall (1977) que inicialmente admitiu como suficientes dez fácies para englobar os mais diversos ambientes e regimes hidrológicos existentes nos sistemas fluviais. Em uma posterior revisão, estendendo a sua utilização para todos os sistemas aluviais, Miall (1996) apresentou um conjunto de 20 fácies mais comuns (tabela 1). Seguramente este não é um número definitivo. A nomenclatura utilizada neste conjunto de fácies é constituída por duas letras: a primeira, maiúscula, indica a

granulometria dominante e a segunda, minúscula, uma característica mnemónica qualquer, por exemplo, estruturas sedimentares presentes.

Código de Fácies	Fácies	Interpretação
<i>Gmm</i>	cascalho maciço, suportado pela matriz; levemente gradacional	fluxo viscoso de detrito
<i>Gmg</i>	cascalho maciço, suportado pela matriz; gradação inversa a normal	fluxo viscoso de detrito
<i>Gci</i>	cascalho suportado pelos clastos; gradação inversa	fluxo de detritos rico em clastos
<i>Gcm</i>	cascalho suportado pelos clastos e maciço	fluxo turbulento
<i>Gh</i>	cascalho suportado pelos clastos e toscamente estratificado; estratos horizontais, imbricamento dos seixos	formas de leito longitudinais; depósitos residuais
<i>Gt</i>	cascalho estratificado; estratificação cruzada acanalada	preenchimento de canais secundários
<i>Gp</i>	cascalho estratificado; estratificação cruzada tabular	formas de leito transversais
<i>St</i>	areia fina a muito grossa podendo ser cascalhenta; estratificação cruzada acanalada	dunas 3D
<i>Sp</i>	areia fina a muito grossa podendo ser cascalhenta; estratificação cruzada tabular	dunas 2D
<i>Sr</i>	areia muito fina a grossa; laminação cruzada por <i>ripples</i>	<i>ripples</i>
<i>Sh</i>	areia muito fina a grossa podendo ser cascalhenta; laminação horizontal	fluxo planar (crítico)
<i>Sl</i>	areia muito fina a grossa podendo ser cascalhenta; laminação de baixo ângulo (<15°)	preenchimento de escavações (<i>scour</i>), antidunas
<i>Ss</i>	areia fina a muito grossa, podendo ser cascalhenta; escavações (<i>scours</i>) largas e rasas	preenchimento de escavações
<i>Sm</i>	areia fina a grossa; maciça ou levemente laminada	depósitos de gravidade
<i>Fl</i>	areia, silte, argila; laminação fina, <i>ripples</i> muito pequenas	depósitos de transbordo, canais abandonados ou de fluxo decrescente (<i>waning floods</i>)
<i>Fsm</i>	silte, argila; maciço	depósitos de canais abandonados ou brejos
<i>Fm</i>	argila, silte; maciço, gretas de dessecação	canais abandonados ou depósitos de cobertura
<i>Fr</i>	argila, silte; maciço, raízes, bioturbações	solos
<i>C</i>	carvão; argilas orgânicas; plantas, filmes de argila	depósitos de brejos
<i>P</i>	calcretes; feições pedogenéticas; nódulos	solos com precipitação química

Tabela 1 - Classificação de fácies (Miall, 1996).
 Table 1 - Facies classification (Miall, 1996).

Comentários à codificação das fácies **Comments on facies code**

Desde quando proposta, esta classificação foi aceita apesar de despertar uma série de restrições à sua extensão a todos os depósitos de origem aluvial, posto que Miall (1977) trabalhou inicialmente com sistemas fluviais entrançados modernos e antigos. Uma das principais críticas, apontada por Bridge (1993), é relativa à aplicação do sistema de códigos que levaria a uma rotineira e simples associação dos afloramentos a uma tabela preestabelecida. Com este procedimento, várias características menores, mas não menos importantes, podem vir a ser

ignoradas inibindo novas observações e comprometendo uma descrição mais minuciosa e detalhada. Portanto, deve-se evitar que a observância da teoria restrinja a aquisição dos dados e ater-se, também, às pequenas variações, descrevendo-as e inserindo-as em seu contexto formador.

A linha de raciocínio actualmente adoptada é que a proposta de Miall (1977), além de prática e de fácil aplicação, atende aos princípios a que se propôs, quais sejam, agilizar e sistematizar as descrições de campo, facilitando os trabalhos de laboratórios e de documentação (tabela 2). Todavia, não se deve buscar uma aplicação directa do código de fácies e uma extensão interpretativa de seu significado, pois a validade das observações muitas vezes pode estar restrita apenas ao local em que elas se dão e a extensão, automática, destas a outras áreas nem sempre é possível. Deve-se levantar as fácies e suas associações para cada conjunto de rochas aflorantes e, a partir de uma minuciosa divisão, buscar a correlação com a classificação de Miall (1996), tendo em mente que as diferenças encontradas são frutos da própria dinâmica do meio e devem ser entendidas como uma variação peculiar ao exemplo estudado. Como cada exemplo a ser estudado possui as suas características próprias, é de se esperar que haja fácies diferentes daquelas propostas por Miall, posto ser impossível universalizar uma codificação de fácies.

Associação de Fácies	Fácies	Característica mais importante
	Cm	Conglomerado maciço
Ce	Cea	Conglomerado com estratificação cruzada acanalada
	Cet	Conglomerado com estratificação cruzada tabular
	Ceh	Conglomerado com estratificação plano-paralela
Ae	Aea	Arenito com estratificação cruzada acanalada
	Aet	Arenito com estratificação cruzada tabular
	Aeb	Arenito com estratificação cruzada acanalada de baixo ângulo
Ap	Api	Arenito com estratificação paralela
	App	Arenito com estratificação plano-paralela
	Aap	Arenito com estratificação cruzada de pequeno porte
	Ar	Arenito com <i>ripples</i>
S	Sm	Siltito maciço
	Sl	Siltito laminado

Tabela 2 - Fácies e associações de fácies identificadas na Formação Uberaba (Ferreira Júnior, 1996).
Table 2 - Facies and facies association of Uberaba Formation (Ferreira Júnior 1996).

Os perfis estratigráficos

Stratigraphic logs

A representação gráfica da sucessão vertical de fácies que ocorre em um afloramento é denominada perfil estratigráfico ou sedimentológico. Envolve a representação das características de um conjunto de rochas sedimentares tais como granulometria, composição mineralógica, estruturas sedimentares e conteúdo fóssilífero, em uma escala de representação adequada (figura 2). Uma das maiores limitações desta técnica é, indubitavelmente, a sua perspectiva bidimensional dos pacotes rochosos, que não contempla importantes variações laterais. Como exemplo tome-se o caso de um depósito fluvial dividido a grosso modo em depósitos internos ao canal principal - tipicamente arenosos - e depósitos da planície de inundação - pelíticos por natureza. Em um afloramento com continuidade lateral expressiva, podem estar expostas, mesmo que parcialmente, estes dois tipos de depósitos.

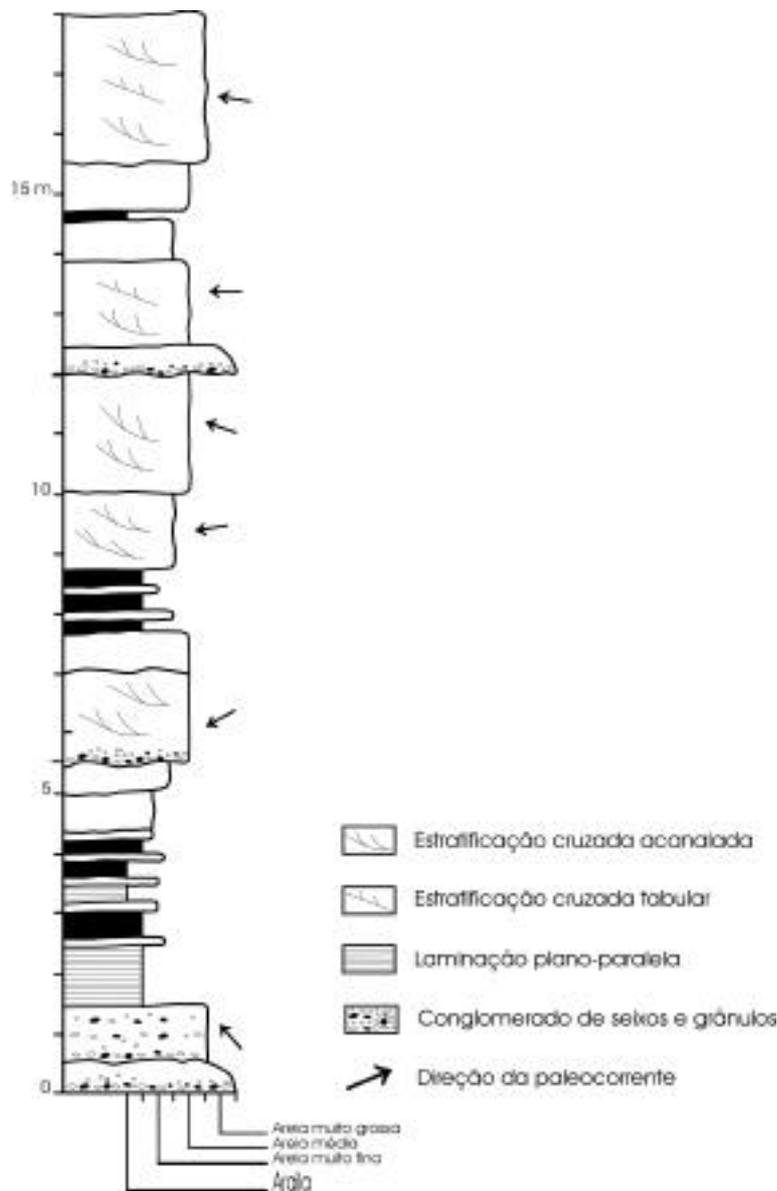


Figura 2 - Perfil sedimentológico da Formação Uberaba na BR-050.
Figure 2 - Sedimentologic profile of Uberaba Formation at BR-050.

A determinação do sistema deposicional é feita a partir das fácies e associações de fácies, obedecendo as premissas da lei de Walther, representadas nos perfis estratigráficos através da comparação com modelos de fácies (Walker, 1984). Neste ponto surgem algumas complicações pois a passagem da teoria para a prática apresenta algumas restrições, já que as diversas combinações possíveis entre as fácies podem ser resultado de processos deposicionais ocorridos em vários ambientes componentes de ambientes aluviais maiores. É desejável, por vezes necessário, um estudo dispendioso baseado em um criterioso levantamento estatístico, que permita elaborar uma sequência vertical de fácies representativa do comportamento geral das rochas estudadas naquela secção, como apresentado por Walker (1984) (figura 3).

Dependendo de onde o perfil estratigráfico for erigido, poderá conter informações diferentes, que não contemplarão as variações laterais de fácies, levando a conclusões imprecisas. Apesar das restrições da utilização de perfis estratigráficos como representativos do acervo de fácies do afloramento ou região estudados esta técnica tornou-se uma quase rotina e seu uso foi largamente empregado a partir dos anos 70.

Os perfis estratigráficos são o método mais eficiente na descrição de testemunhos de sondagem e perfis de poços e amplamente utilizados na indústria petrolífera, pois como a natureza dos testemunhos impede a visão lateral dos pacotes rochosos, tem na associação vertical de fácies a sua representação óptima. Estes diagramas também são utilizados na correlação entre áreas geograficamente separadas empregando, muito frequentemente, perfis geofísicos como ferramenta complementar de análise. Obviamente, este procedimento leva a perda de informações, mas, dependendo da escala adoptada, pode fornecer resultados relativamente confiáveis.

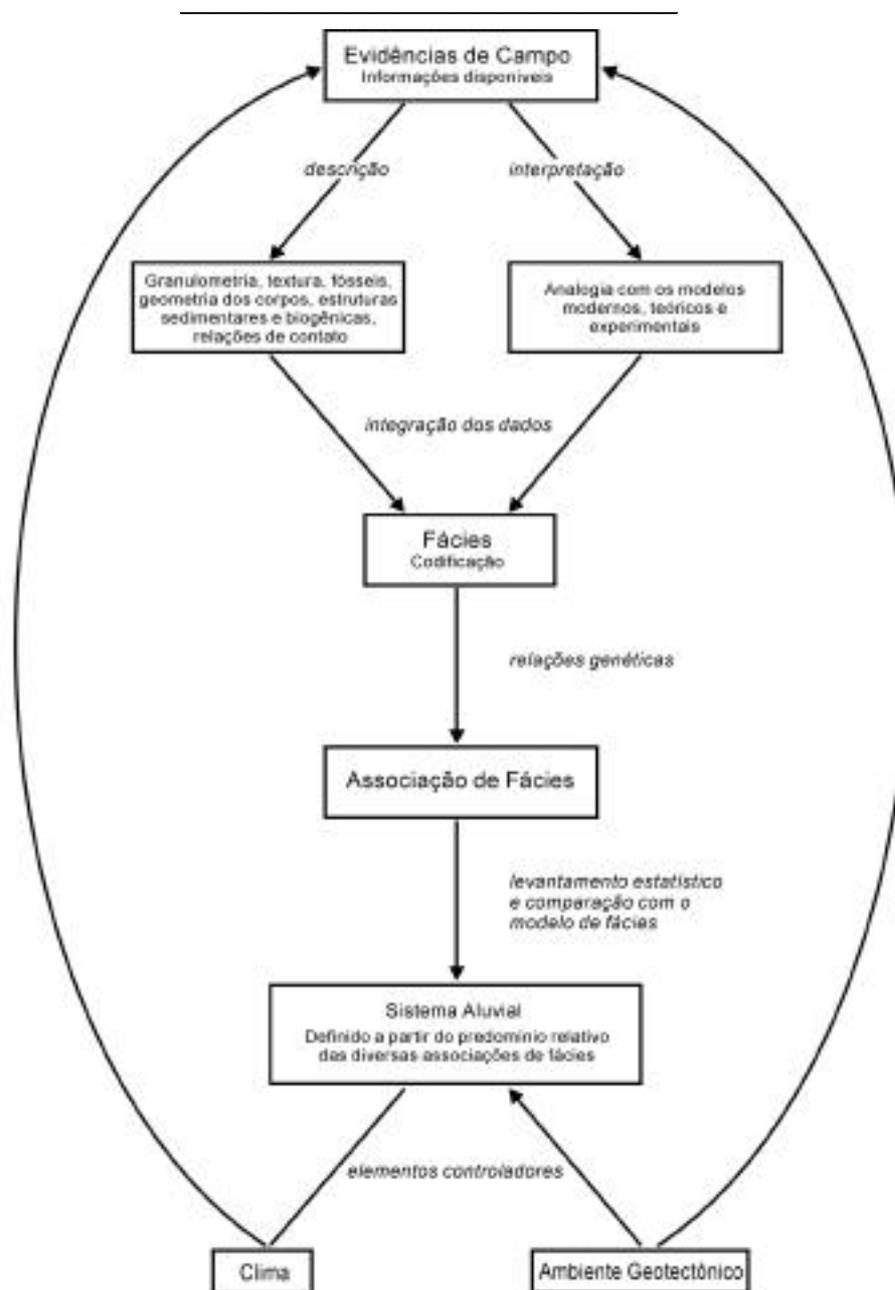


Figura 3 - Fluxo de informações segundo a análise da sucessão vertical de fácies.

Figure 3 - Flux diagram of vertical facies succession analysis method.

As observações de modelos modernos e antigos mostram que algumas associações verticais de fácies, que apresentam um significado genético distinto, são comuns a diversos regimes fluviais, como por exemplo nos depósitos desenvolvidos nas barras em ponta e em barras longitudinais. A rigor são formados por uma mesma associação de fácies arenosas, diferindo na forma como se desenvolvem a partir da migração das formas de leito, se lateral ou para jusante no canal principal. Ainda para estes depósitos, sabe-se que eles são comuns tanto em ambientes meandriformes quanto nos entrançados e, mesmo uma barra longitudinal (uma forma de leito de acreção a jusante, sob o enfoque utilizado no método de análise de elementos arquiteturais), frequentemente evocada como uma feição diagnóstica dos canais entrançados pode apresentar, durante o seu desenvolvimento migração lateral (Miall, 1994), o que, em tese, seria típico das

barras em ponta dos modelos de rios meandriformes. Estes fatos mostram as limitações inerentes aos métodos que subestimam variações locais que, apesar da sua magnitude ser limitada, podem ser de grande significado geológico. Além disso, para uma perfeita caracterização, deve-se fazer um levantamento estatístico dos tipos e frequência das transições entre as fácies, procedimento que trás consigo complicações técnicas óbvias.

ANÁLISE DE ELEMENTOS ARQUITECTURAIS **THE ARCHITECTURAL ELEMENT ANALYSIS**

Visando suprimir os problemas decorrentes do empilhamento vertical de fácies, vários pesquisadores trabalharam na caracterização dos depósitos aluviais, buscando o reconhecimento das diferentes associações de fácies, fruto de diversos padrões de distribuição energética em um dado ambiente deposicional (canal, por exemplo). Uma feição comum a todos depósitos sedimentares e que, frequentemente, é desprezada ou sub-utilizada é o rico acervo de superfícies de descontinuidades que separam as fácies e as associações de fácies. Na técnica que utiliza a sucessão vertical de fácies, as superfícies de descontinuidade são entendidas como possíveis limites entre fácies ou associação de fácies não existindo uma preocupação adicional com o seu intrincado arranjo lateral.

O trabalho de Allen (1983) foi pioneiro em utilizar as superfícies de separação de *sets* (feixe) e *cosets* (conjunto de feixes) conjuntamente às fácies presentes em um depósito aluvial como base de estudo. Nesta oportunidade mostrou que as superfícies podem ser ordenadas hierarquicamente de acordo com a magnitude dos processos deposicionais e que superfícies de mesma ordem hierárquica separam pacotes sedimentares com características genéticas afins. Haszeldine (1983) também se ocupou com este tema.

A partir destes princípios, Miall (1985) propôs uma nova forma de análise e codificação da terminologia descritiva dos depósitos aluviais, denominada de Método de Análise de Elementos Arquitecturais. O princípio fundamental desta técnica incide na identificação de superfícies de descontinuidades físicas que subdividem uma sequência aluvial em pacotes geneticamente relacionados e hierarquicamente estruturados, conhecidos como elementos arquitecturais e macroformas (ver no item referente a relação entre elementos arquitecturais e macroformas).

A principal vantagem deste método está na visão tridimensional dos depósitos obtida a partir de secções aflorantes bidimensionais com várias direcções de acreção deduzidas e, por conseguinte, na determinação da geometria dos corpos sedimentares. As aplicações são inúmeras, principalmente, no que tange a utilização económica de recursos minerais encerrados nestas unidades (Ferreira-Júnior *et al.*, 1995). O reconhecimento de pequenas variações nas características intrínsecas do meio, por exemplo, direcção de crescimento das formas de leito e nas grandes feições deposicionais (e.g. barras) também, é uma das vantagens do método. As informações são mais detalhadas, permitindo individualizar cada depósito e estabelecer as suas relações de contacto com os demais corpos sedimentares (figura 4).

Em arenitos fluviais da Formação Rio Vero (Espanha) estudados por Jones *et al.* (2001), movimentos tectónicos e mudanças climáticas sazonais afectaram a evolução lateral e vertical dos canais, sendo responsáveis pelo controle principal da sedimentação e com consequências sobre a arquitectura fluvial. A mudança na arquitectura fluvial com a passagem de depósitos típicos de preenchimento de canal compostos de campos de dunas e barras simples junto à base para numerosas barras de meio de canal com suas superfícies de acreção para o topo, sugerem um aumento da energia e do suprimento de sedimentos.

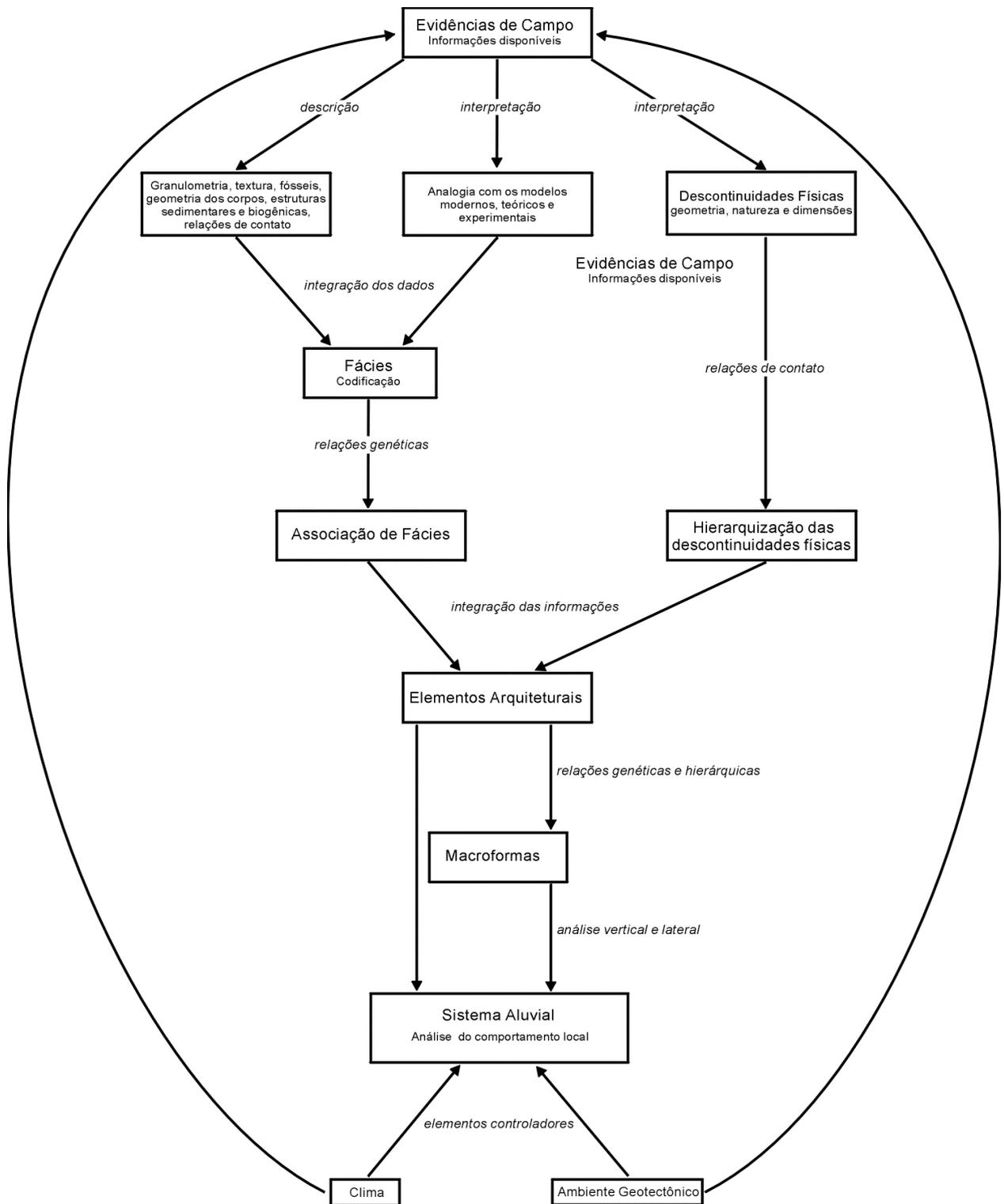


Figura 4 - Fluxo de informações segundo a análise de elementos arquiteturais.
 Figure 4 - Flux diagram of architectural element analysis method.

Superfícies de descontinuidade e sua hierarquia

Discontinuity surfaces and their hierarchy

Entende-se como superfície de descontinuidade física uma interrupção ou mudança no processo de sedimentação. Esta superfície pode ser também gerada através de processos erosivos, podendo ter implicações temporais. Tentativas de estabelecimento de uma hierarquização dessas superfícies tem sido feitas, por exemplo, Allen (1983) e Haszeldine (1983). Miall (1988a), apontou três princípios para a hierarquização das superfícies de descontinuidade:

- a) uma dada superfície pode ser truncada por outra de igual ou maior ordem, mas nunca por uma de ordem inferior;
- b) na definição de uma dada superfície deve-se tomar, como base, uma superfície de maior grau hierárquico;
- c) superfícies de baixa ordem podem aumentar de ordem lateralmente.

A prática, entretanto, mostra que, para maior confiabilidade no estabelecimento desta hierarquia em afloramentos, a definição das superfícies hierárquicas deve começar sempre com aquelas de menor ordem, as quais mostram contactos abruptos e são frequentemente truncadas por outras de maior ordem. A partir das superfícies menores, mais fáceis e seguras de serem classificadas, vai-se estruturando a hierarquia das superfícies de descontinuidade nos afloramentos, até a definição das superfícies de maior ordem. Portanto, por mais enfadonho que possa parecer, é imprescindível traçar e classificar todas as superfícies de 1ª e 2ª ordem que servirão de base para a definição daquelas de maior ordem e que trazem considerações mais importantes à interpretação dos depósitos (ver a hierarquia das superfícies na tabela 3). Somente assim pode-se estabelecer, com precisão, o limite entre os elementos arquiteturais. A dificuldade de determinação das superfícies de menor ordem é a responsável pelos problemas encontrados para a extensão deste método aos depósitos conglomeráticos, por exemplo, Barbosa (1997), onde as superfícies de baixa ordem (1ª e 2ª ordem) são muito difíceis de serem identificadas devido à textura destas rochas que tende a mascarar as menores descontinuidades físicas. Com isso, podem pairar dúvidas sobre a classificação e o limite de uma dada superfície de 3ª ou maior ordem e, conseqüentemente, sobre as dimensões do próprio depósito.

As superfícies de descontinuidade podem ser divididas em oito ordens hierárquicas (figura 5), segundo a proposta de Miall (1988a; 1988b; 1996) e mostradas na tabela 3.

Algumas variantes ou características peculiares foram anotadas na Formação Uberaba e ajudam na distinção destes limites de descontinuidades. Os dados foram levantados em 9 secções aflorantes, analisadas sob a óptica do método dos elementos arquiteturais por Ferreira Júnior (1996).

1ª Ordem: Limita *sets* (conjuntos) de estratos cruzados de mesma espécie com pouca ou nenhuma erosão interna. São o instrumento básico de hierarquização e devem ser traçadas tantas quanto forem possíveis.

2ª Ordem: Limita *cosets* (McKee & Weir, 1953), indicando mudanças na direcção ou no regime do fluxo, como um aumento ou diminuição do volume aquoso, mas sem que haja uma quebra significativa da sedimentação. Na prática, apresenta uma grande similaridade com as superfícies de 3ª ordem, sendo a distinção entre ambas feita através das suas dimensões (tabela 4), do carácter erosivo (bem marcado nas de 3ª ordem) e, principalmente, das relações de contacto com as outras superfícies. Na Formação Uberaba ocorrem sob dois tipos:

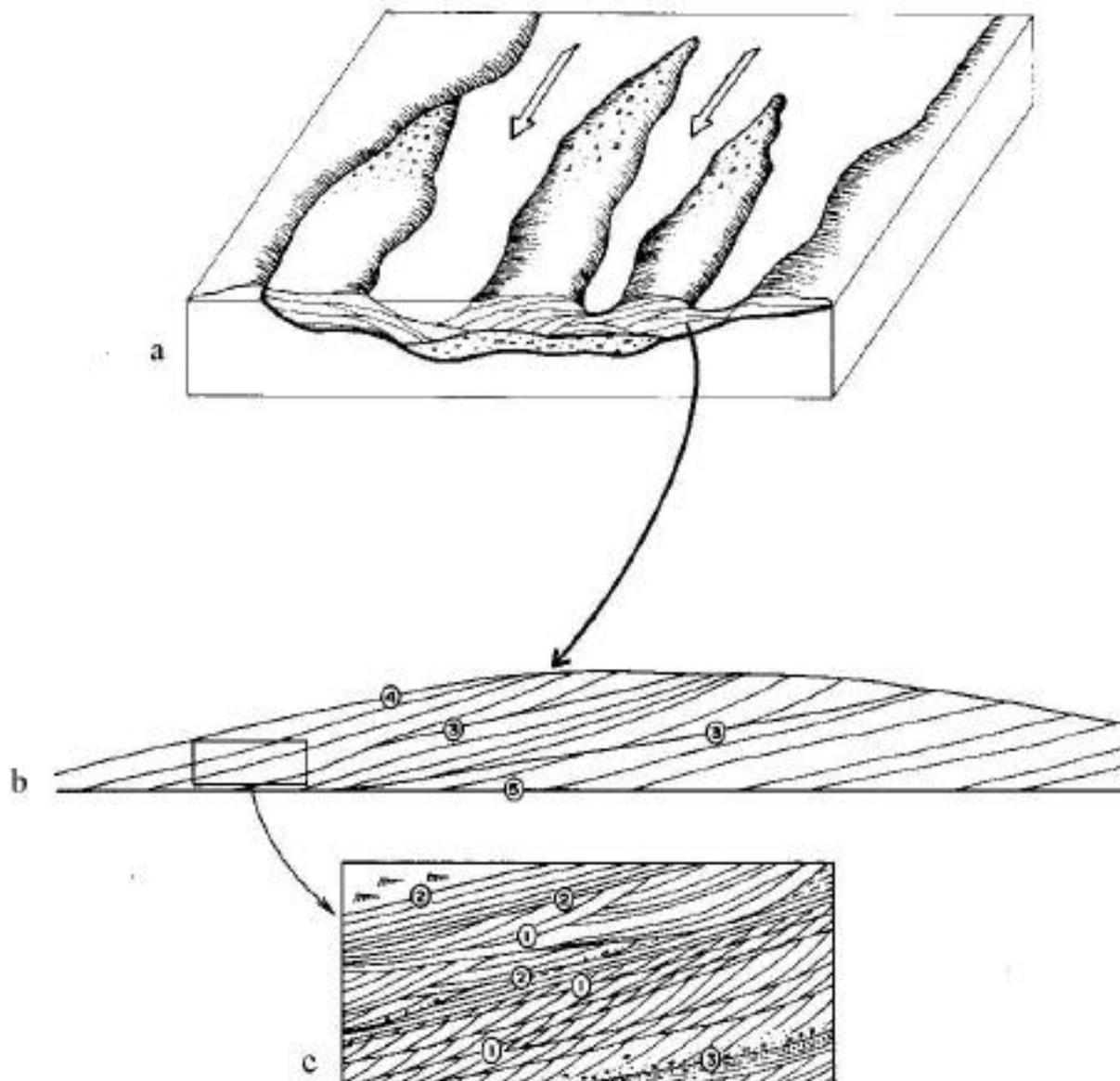


Figura 5 - Superfícies hierárquicas em depósitos fluviais. a - bloco diagrama de um rio hipotético; b - superfícies hierárquicas de maior ordem em uma macroforma de acreção a jusante; c - detalhe da macroforma mostrando as superfícies de descontinuidade de menor ordem hierárquica. Os números correspondem à ordem hierárquica das superfícies de descontinuidade (modificado de Miall, 1988a, 1988b).

Figure 5 - Hierarchical surfaces. a - diagram of a hypothetical river; b - high grade hierarchical discontinuity surfaces within a downstream accretion macroform; c - detailed view of the macroform showing the low grade discontinuity surfaces. The numbers correspond to the hierarchical grades of the discontinuity surfaces (after Miall, 1988a, 1988b).

- O primeiro, erosivo, corta em alto ângulo (em relação à horizontal, até 18°) os cosets inferiores, separando fácies diferentes. Seu comprimento varia de 3 a 15 m e mediana é 7 m. Sua forma é ligeiramente côncava, estendendo-se de cima para baixo do elemento arquitetural. Por não apresentar a geometria típica dos pequenos canais, não deve ser confundido com as superfícies de 3ª ordem. Está relacionado a um aumento na energia do

meio e mudanças na orientação da forma de leito ou ao preenchimento de pequenos canais (elemento CH), que recortam o topo das macroformas;

Ordem	Forma	Características	Significado	Tempo de deposição
1 ^a	plana ou côncava	limita estratos cruzados individuais do mesmo tipo com pouca ou nenhuma erosão interna associada	separa sequências cíclicas de pequena escala mostrando continuidade na sedimentação	de algumas horas a um ou dois dias
2 ^a	plana ou côncava	limita <i>cosets</i> (McKee & Weir, 1953) ou associações de fácies geneticamente relacionadas; evidências de erosão	variações na direcção ou condições do fluxo sem parada significativa da sedimentação	de alguns dias a alguns meses
3 ^a	erosiva com baixo ângulo (<15°)	estende-se de cima para baixo separando associações similares de fácies; intraclastos e seixos associados	mudança no estágio ou na orientação da forma de leito, provocada por processos sazonais de longa duração	de um ano a dezenas de anos
4 ^a	plana ou convexa para cima	separa, em baixo ângulo, associações de fácies com orientações diferentes	limite superior das macroformas	centenas de anos
5 ^a	plana ou côncava para cima	bem marcada por estruturas de corte e preenchimento; associada a depósitos basais tipo <i>lag</i>	limita complexos de preenchimento de canais	milhares de anos
6 ^a	irregular	define subdivisões estratigráficas mapeáveis	separa grupos de canais e paleovales	centenas de milhares de anos
7 ^a	irregular	regionalmente extensa, encerra espessas sequências de um sistema deposicional	separa eventos alogênicos	milhões de anos
8 ^a	irregular	regionalmente extensa, encerra espessas sequências de um sistema deposicional	marca desconformidades continentais ou eventos geológicos de escala global	milhões de anos

Tabela 3 - Principais características e significado das superfícies hierárquicas (Miall 1988a; 1988b).
 Table 3 - Main characteristics and meaning of hierarchical surfaces (Miall 1988a, 1988b).

• *O segundo*, não erosivo, com baixo ângulo de inclinação, é paralelo ou corta em baixo ângulo (até 5°) os *cosets* inferiores; o seu comprimento varia de 11 a 38 m, ficando a mediana em torno de 19 m. É interpretado como resultado de eventos de acreção vertical de elementos arquitecturais.

3^a Ordem: trata-se de uma superfície cuja origem é erosiva e separa associações similares de fácies tendo comumente associada a presença de intraclastos e seixos. Possui uma alta variação

no ângulo de inclinação (0° a 23°). Na Formação Uberaba é dividida em três tipos de acordo com suas características (forma, extensão e relações de truncamento com as feições pré-existentes):

- O *primeiro* delimita pequenos canais que cortam o topo das macroformas; é facilmente reconhecido pela sua geometria côncava para cima e carácter francamente erosivo. A largura destes canais varia de 3 a 51 m e a profundidade entre 60 e 140 cm. Trunca estratos inferiores com ângulo de até 23° (tabela 4).
- O *segundo* tem forma côncava para cima e corta em ângulo mais elevado (17°) que o 3° tipo associações similares ou diferentes de fácies. São francamente erosivos e apresentam menores dimensões, quando comparados ao terceiro tipo, sendo interpretados como mudanças na orientação da macroforma (tabela 4).
- O *terceiro*, corta em baixo ângulo (em torno de 4°) associações similares de fácies, relacionando-se a eventos de acreção vertical das macroformas e pode ser interpretado como uma superfície que representa uma interrupção na sedimentação de tempo mais longo. Sua forma é relativamente plana, com comprimento variando entre 17 e 83 m e espessura no intervalo de 40 a 170 cm (tabela 4).

Ordem	Intervalo (ΔX)	Mediana (X)	Medidas (n)	Significado
2	3 - 15	7	32	mudanças na orientação do elementos arquiteturais ou preenchimento de pequenos canais (CH)
	11 - 38	19	25	acreção vertical dos elementos arquiteturais
3	3 - 51	7	28	migração lateral de pequenos canais (CH)
	4 - 23	10	27	reativações ou mudanças na orientação da macroforma
	17 - 83	42	14	acreção vertical das macroformas

Onde ΔX é a variação no comprimento das superfícies hierárquicas, X é a mediana do intervalo e n o número de medidas tomadas. As medidas são dadas em metros.

Tabela 4 - Comprimento das superfícies hierárquicas de 2ª e 3ª ordem da Formação Uberaba (Ferreira Júnior, 1996).
Table 4 - 2nd and 3th hierarchy surface length from Uberaba Formation (Ferreira Júnior, 1996).

4ª Ordem: com forma plana a convexa para cima, estas superfícies separam associação de fácies com orientações diferentes, definindo o limite superior das macroformas. Bastante extensas (16 a 114 metros de comprimento), cortam quase todo o afloramento, tendo na convexidade para cima um dos principais critérios de identificação. Limita macroformas com 80 a 360 cm de espessura e tem inclinação variando entre 0° e 14° , ficando a média em torno de 3° . Quando recobrem pequenos canais (limitados por superfícies de 3ª ordem) que cortam o topo das macroformas são normalmente planas. Outra característica que permite a divisão entre superfícies de 3ª e 4ª ordem, é o frequente truncamento que fazem as superfícies de 3ª ordem entre si, quando comparados às de 4ª ordem.

5ª Ordem: bem marcada por estruturas de corte e preenchimento, que apresentam estratos conglomeráticos residuais com espessura em torno de 5 cm. Esta superfície limita complexos de

preenchimento de canais. Apresenta ligeira concavidade para cima (no máximo 6°) e uma grande consistência lateral estendendo-se, em geral, por todo o afloramento. Na Formação Uberaba não foram observados truncamento entre superfícies de 5ª ordem, que encerram sequências cuja espessura variam entre 160 e 500 cm.

6ª Ordem: define unidades estratigráficas cartografáveis, tais como membros.

7ª Ordem: separa eventos alogénicos tais como tectónicos e eustáticos.

8ª Ordem: marca discontinuidades regionais desenvolvidas por eventos geológicos globais.

As superfícies de 7ª e 8ª ordem foram apresentadas por Miall (1996) em um esforço de contextualizar os elementos arquitecturais em uma escala global dos eventos geológicos. As superfícies hierárquicas de maior ordem são difíceis de serem delimitadas em afloramentos (Keighley & Pickerill, 1996), sendo necessária a utilização de análises complementares. Quando as condições do afloramentos e as particularidades geológicas permitirem deve-se registrá-las e definir suas características aumentando o acervo das informações.

Análise das direcções de paleocorrentes e das direcções de acreção das superfícies hierárquicas

Paleocurrents analysis and the hierarchy surface accretion's direction

As medidas de paleocorrentes são essenciais ao método, pois elas dão a direcção de crescimento das formas de leito que se desenvolvem em estreita relação com as macroformas. A relação entre a direcção de crescimento das formas de leito e a geometria das superfícies de descontinuidade de 3ª e 4ª ordens, componentes e definidoras das macroformas, é que possibilita a compreensão, em três dimensões, do contorno externo (morfologia) e da direcção de desenvolvimento da macroforma.

Ponto ainda polémico, a determinação da direcção de paleocorrentes não apresenta um consenso na literatura especializada. Autores divergem quanto ao uso de paleocorrentes locais e regionais. Miall (1994) sugeriu o uso da direcção regional do fluxo que é dada pela análise conjunta de medidas tomadas em estratos cruzados de um mesmo pacote sedimentar que pode englobar vários elementos arquitecturais e macroformas. Este procedimento, utilizado por Miall & Turner-Peterson (1989) e Stephens (1991), visa absorver variações locais do fluxo (leia-se maior sinuosidade), preservando apenas a direcção geral, que representa a tendência por um longo período de tempo.

Durante a análise da Formação Uberaba (Ferreira-Júnior, 1996), optou-se pelo uso das paleocorrentes locais pois, as macroformas têm suas características regidas, dentre outros, pelo estilo fluvial vigente à época de sua deposição, sendo a sinuosidade do canal um dos mais importantes factores (Friend, 1983). O uso de paleocorrentes locais dão informações mais precisas sobre o fluxo e, conseqüentemente, a sua relação com a direcção de crescimento da macroforma é pontual. Paleocorrentes locais foram utilizadas por Cowan (1991), Bromley (1991), Wizevich (1992) e Castro (1994).

As medidas de paleocorrente devem ser tomadas, sempre que possível, em estratos cruzados tabulares pois estas estruturas são formadas durante o crescimentos das macroformas. Deve-se ter cuidado com a utilização de estratificações cruzadas acanaladas pois estas, quando presentes sobre ou nas macroformas, demonstram e dão direcções de pequenos canais que cortam

eventualmente as macroformas. Entretanto, para o caso da Formação Uberaba, utilizaram-se de outros indicadores de paleocorrente como estratos cruzados acanalados e seixos imbricados, pois a identificação de estratos cruzados tabulares foi pouco frequente. Este fato possibilitou uma maior consistência estatística dos dados, mas por outro lado aumentou a dispersão entre as medidas de paleocorrentes.

O tamanho das macroformas e elementos arquitecturais é outro parâmetro a ser considerado na utilização da técnica de elementos arquitecturais. As dimensões das macroformas, apresentadas por Miall (1988a), excedem em muito as da Formação Uberaba, principalmente no que diz respeito à espessura (tabela 5). Este pode ser o motivo pelo qual o referido autor prefira usar medidas regionais de paleocorrente, que registram o comportamento médio do fluxo durante um longo intervalo.

A dinâmica do ambiente aluvial da Formação Uberaba, aliada à pequena preservação de seus depósitos foi um complicador da aplicação da análise de elementos arquitecturais, pois as macroformas geradas neste ambiente deposicional apresentam uma alta razão largura/espessura. Este facto, conjuntamente à grande mobilidade dos canais (responsável pelo baixo potencial de preservação), geraram depósitos pouco espessos onde é comum a presença de várias superfícies hierárquicas de ordem elevada (3ª, 4ª e 5ª ordem), que frequentemente se interceptam (Friend *et al.*, 1979; Miall, 1988a; Schumm, 1993).

Comprimento (ΔX)	(X)	Espessura (ΔY)	(Y)	Medidas (n)	Macroforma	Fonte
37 - 102	55	1,8 - 5,1	3,6	8	DA	Miall & Turner Peterson (1989)
56 - 99	77,5	2,4 - 4,2	3,3	2	LA	Miall & Turner Peterson (1989)
16 - 44	32	1,8 - 4,2	3,75	6	DA	Miall (1988a)
33 - 98	59	0,8 - 3,5	1,7	9	DA/LA	Ferreira-Júnior (1996)
80 - 105	82,5	0,7 - 2,8	1,95	6	DA/LA	Ferreira-Júnior (1996)

Onde ΔX é a variação do comprimento, ΔY é a variação da espessura; X e Y são as medidas dos respectivos intervalos e n é o número de medidas tomadas; **DA** é uma macroforma de acreção a jusante e **LA** é uma macroforma de acreção lateral. As medidas são dadas em metros.

Tabela 5 - Comparação entre as dimensões das macroformas da Formação Uberaba (Ferreira-Júnior, 1996).

Table 5 - Comparison among macroform dimensions from Uberaba Formation (Ferreira-Júnior, 1996).

A direcção de acreção dos elementos arquitecturais e macroformas é tomada em superfícies hierárquicas (1ª e 2ª ordem) internas aos elementos arquitecturais e também naquelas externas que definem a geometria do pacotes sedimentares (3ª e 4ª ordem). Estas superfícies nem sempre são fáceis de serem medidas, pois apresentam-se relativamente planas exigindo cuidados suplementares na sua leitura.

Uma característica peculiar deste método é o baixo número de medidas utilizadas para definir a atitude das superfícies hierárquicas. Para a Formação Uberaba, este número variou entre 3 e 35 medidas e o mesmo se verificou nas demais publicações pesquisadas. Este fato se deve ao próprio conceito do método, segundo o qual uma superfície hierárquica delimita um pacote sedimentar individual. Como não ocorre uma pluralidade de superfícies, para cada elemento arquitectural, o número de medidas deverá ser reduzido, daí a exigência de medidas pontuais cuidadosamente tomadas, pois pequenos erros de leitura podem levar a resultados díspares.

Depósitos e feições utilizadas na análise de elementos arquitecturais

Deposits and aspects used in architectural element analysis

A classificação dos elementos arquitecturais, que certamente não é definitiva, conta actualmente com 9 unidades básicas, definidas em associações de fácies, codificadas segundo Miall (1978) e incluem canais, barras conglomeráticas, depósitos de fluxo de gravidade, formas de leito arenosas, camadas de arenito laminado, depósitos de finos da planície de inundação, macroformas de acreção a jusante, macroformas de acreção lateral e *hollows* (figura 6). Apesar dos estudos desenvolvidos em análise de elementos arquitecturais por Miall, há que se apontar imprecisões em sua classificação dos elementos. Uma discussão pormenorizada deste assunto foge ao escopo deste texto. Neste estudo, recomendam-se a separação entre os elementos arquitecturais básicos, macroformas (de acreção a jusante e de acreção lateral) e canais.

Elementos arquitecturais

Architectural elements

BARRAS CONGLOMERÁTICAS (GB - GRAVELLY BARS AND BEDFORMS)

Podem ser definidas como corpos tabulares originados da migração de barras longitudinais ou transversais formadas por fragmentos da granulometria superior à areia (fácies *Gm*, *Gp* e *Gt*, segundo proposta de Miall, 1996). Formam lençóis de dezenas a centenas de metros de extensão, frequentemente recortados por superfícies erosivas ou irregulares de 2ª ordem.

DEPÓSITOS DE FLUXO DE GRAVIDADE (SG - SEDIMENT GRAVITY FLOW DEPOSITS)

Depósitos formados por processos de fluxo de detritos e frequentemente intercalados ao elemento barras conglomeráticas (GB). Apresentam como fácies características aquela formadas por clastos, principalmente de granulometria acima de grânulos com matriz argilosa. Tem geometria de lóbulos alongados ou de lençóis (fácies *Gmm*, *Gmg*, *Gci* e *Gcm*). A espessura de cada elemento varia de 0,5 a 3 m. A superfície basal é irregular, mas não erosiva, sendo essa irregularidade proveniente do paleo-relevo.

FORMAS DE LEITO ARENOSAS (SB - SANDY BEDFORMS)

Comuns em sistemas aluviais arenosos, onde a combinação das fácies *St*, *Sp*, *Sh*, *Sl*, *Sr*, *Se* e *Sh* (segundo o código proposto por Miall, 1978) formam elementos arquitecturais com uma alta variedade geométrica. Elementos arquitecturais apresentando geometria tabular ocorrem na base dos canais, no topo das macroformas ou formando depósitos de *crevasse splay* (depósitos de ruptura de diques marginais aos canais). Não apresentam superfícies internas de 3ª ordem.

CAMADA DE ARENITO LAMINADO (LS - LAMINATED SAND SHEET)

Variedade de formas de leito arenosas (SB) dominada pelas fácies *Sh* e *Sl*. Esta associação de fácies indica regime de fluxo superior comum em rios efémeros (Tunbridge, 1981). De geometria tabular, a espessura individual de cada um desses elementos varia de 0,4 a 2,5 m, com extensão lateral que pode alcançar mais de 100 m.

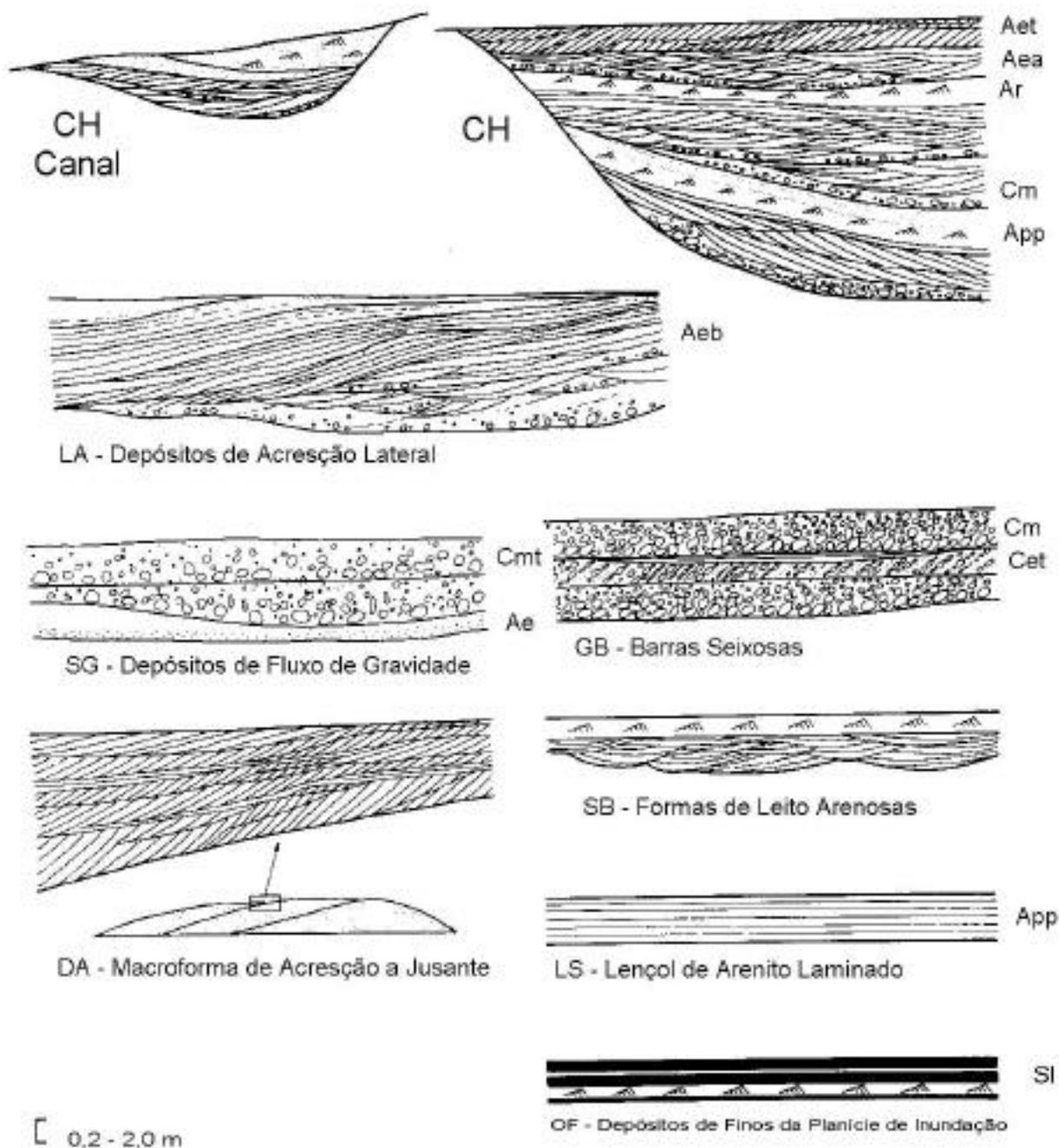


Figura 6 - Elementos arquitecturais reconhecidos nos depósitos aluviais (modificado de Miall, 1985).
 Figura 6 - Architectural elements present in alluvial deposits (after Miall, 1985).

DEPÓSITOS DE FINOS DE PLANÍCIE DE INUNDAÇÃO (OF - OVERBANK FINES)

Constituído por argilitos, siltitos e arenitos finos (fácies *Fm* e *Fl*) depositados na planícies de inundação (geometria em lençol, reflectindo acreção vertical) ou em canais abandonados (contacto basal côncavo para cima e geometria em cordão). Paleossolos, carvão, evaporitos e depósitos lacustres também são componentes deste elemento.

HOLLOW (HO)

Introduzido por Cowan (1991), este elemento pode ser confundido com pequenos canais devido à sua forma erosiva côncava para cima. No entanto, não tratam-se de canais diferindo destes por serem limitados por superfícies de 4ª ordem. O seu preenchimento típico é formado por fácies conglomeráticas na base (fácies *Gh* e *Gt*) e arenosas no topo (fácies *St* e *Sl*). A sua formação ainda é controversa, acreditando-se que seja gerado por processos de escavação (*scouring*) profundos no ponto de convergência dos canais.

Macroformas

Macroforms

MACROFORMA DE ACREÇÃO A JUSANTE (DA - DOWNSTREAM ACCRETION MACROFORMS)

Definida por Miall (1988b), esta macroforma normalmente é formada por elementos arquitecturais similares às formas de leito arenosas (SB). Em geral, esta macroforma é constituída pelas fácies arenosas. Por vezes pode-se confundir esta macroforma com os elementos arquitecturais básicos, mas a distinção entre eles se dá pela presença de várias superfícies internas de 3ª ordem e o limite superior (de 4ª ordem) normalmente convexo para cima na macroforma. A direcção de mergulho das superfícies hierárquicas (1ª, 2ª e 3ª ordem) é paralela ou subparalela à direcção principal do fluxo, dada por medidas de paleocorrentes tomadas nos estratos cruzados, indicando que o crescimento desta unidade se deu para jusante (figura 7).

A partir da análise arquitectural e do domínio da macroforma DA sobre a macroforma LA, Keighley & Pickerill (1996) atribuíram a deposição dos arenitos da Formação Port Hood (Canadá) a um sistema de baixa sinuosidade com canais entrançados. Com base na análise de fácies e sucessão vertical de fácies, autores como Gersib & McCabe (1981) apontaram um sistema fluvial meandriforme como o responsável pela deposição da referida unidade.

Já Halfar *et al.* (1998) utilizaram o domínio da macroforma LA sobre a macroforma DA para classificar um sistema fluvial da bacia de Weissenster (Alemanha) como meandriforme.

DEPÓSITOS DE ACREÇÃO LATERAL (LA - LATERAL ACCRETION MACROFORMS)

Tipo de macroforma de acreção na qual a orientação da direcção de desenvolvimento das superfícies limítrofes se dá em alto ângulo com a direcção de paleocorrente. Isto sugere um desenvolvimento lateral da macroforma (figura 7). Normalmente é formada por associações de fácies arenosas.

A distinção entre as macroformas LA e DA é muito difícil, uma vez que elas podem fazer parte de uma mesma barra e apresentarem as mesmas litologias. A separação é feita com base na orientação das superfícies de acreção, como sugerido por Miall (1994) e aplicado, dentre outros, por Ferreira-Júnior (1996) e Jones *et al.* (2001).

Naturalmente as macroformas DA e LA tratam-se de estereótipos, sendo mais frequente a existência de macroformas que cresçam tanto para jusante como lateralmente. O que mais importa no contexto é a preponderância de uma delas para efeito dos estudos e classificação dos sistemas aluviais. Desta forma, sistemas aluviais que apresentem domínio de macroformas DA podem ser classificados como sistemas do tipo entrançado.

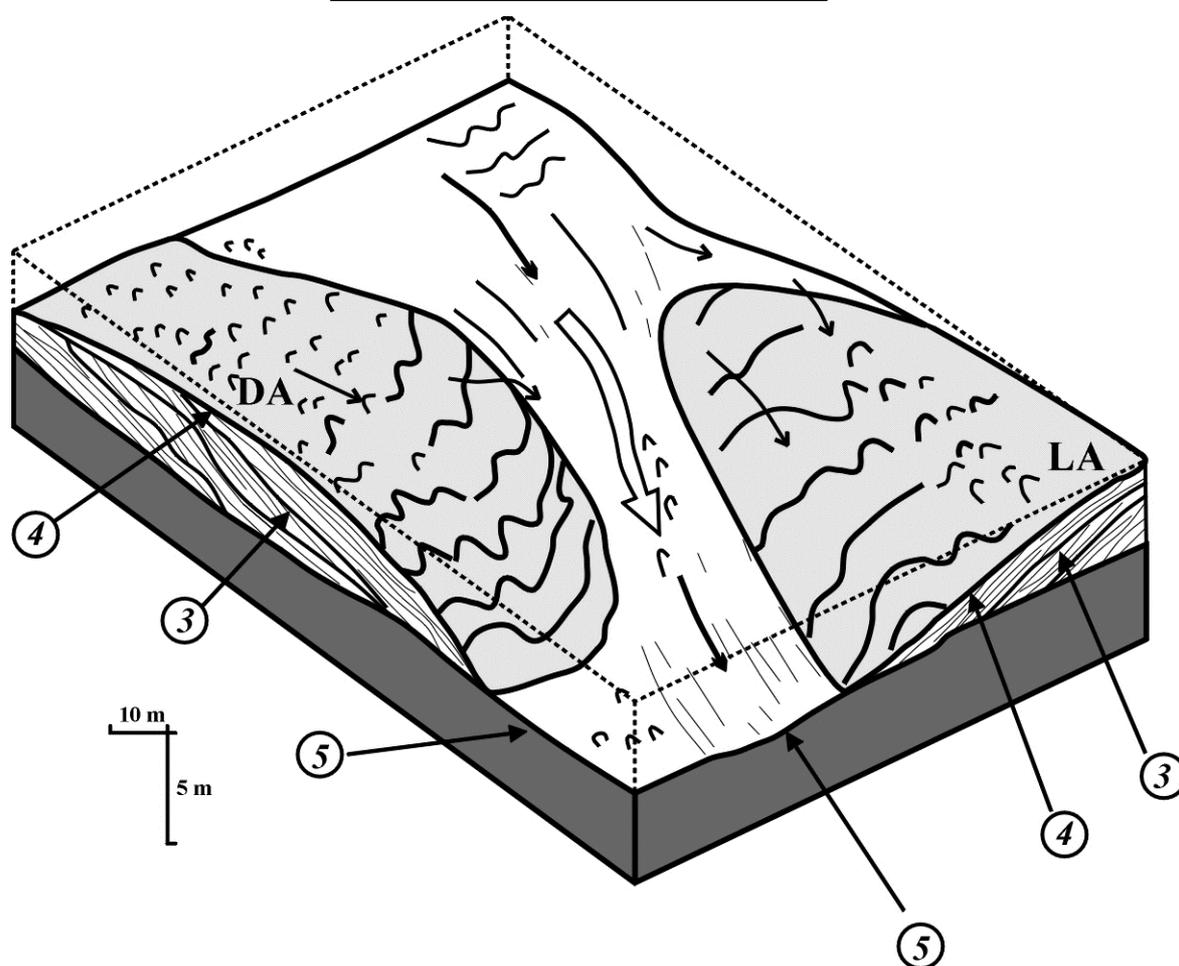


Figura 7 - Macroformas de acreção lateral (LA) e acreção à jusante (DA). Os números correspondem à ordem hierárquica das superfícies de descontinuidade.

Figure 7 - Lateral accretion macroform (LA) and Downstream accretion macroform (DA). The numbers correspond to the hierarchical grades of the discontinuity surfaces.

Canais Channels

CANAIS (CH - CHANNELS)

Limitados, na base, por superfícies planas ou côncavas para cima, ocorrem nas mais variadas dimensões e em qualquer sistema aluvial. A principal característica desse elemento é a base erosiva côncava para cima. Entretanto, quando se analisa um grande canal dificilmente observa-se as suas margens, verificando-se apenas uma ligeira inclinação da superfície basal, o que praticamente impossibilita a definição dos limites laterais desse elemento. Portanto, a definição dessa unidade, em depósitos aluviais, vai depender da habilidade de reconhecer e traçar as superfícies limítrofes de suas margens. Onde isso não for possível, deve-se classificar a secção sedimentar em foco em termos dos outros elementos arquiteturais presentes.

Halfar *et al.* (1998) dividiram o elemento CH em dois tipos básicos de acordo com as dimensões dos depósitos. Os maiores canais, que possuem de centenas de metros até 10 km de largura, são preenchidos pelos demais elementos arquiteturais e macroformas, apresentando

registro de migração lateral. Os pequenos canais possuem de 10 a 100 m de largura e são caracterizados pela forma côncava típica, sem evidências de migração lateral.

Devido às diferentes dimensões, várias são as classificações adoptadas para os canais. Neste trabalho será adoptada a classificação de Bristow (1987) para o rio Brahmaputra em Bangladesh.

O elemento CH apresenta algumas particularidades em relação aos demais elementos arquitecturais, pois é o único caracterizado por processos claramente destrutivos, responsáveis pela erosão parcial e retrabalhamento do topo das formas de leito depositadas durante períodos de alta dos rios. Apesar de evidências internas de descontinuidade na sedimentação, representadas pelas superfícies de 2ª e 3ª ordens, os demais elementos arquitecturais são caracterizados por processos francamente construtivos, traduzidos pelas diversas superfícies internas que denotem acreção. O seu preenchimento é variado.

Formas de leito, elementos arquitecturais e macroformas

Bedforms, architectural elements and macroforms

A técnica de análise de elementos arquitecturais é baseada em modelos que buscam uma aproximação com a realidade verificada em campo, o que nem sempre é possível. Neste caso deve-se reconhecer as limitações do método buscando o seu aperfeiçoamento (Keighley & Pickerill, 1996; Bridge 1993).

Assim como aconteceu com o código de fácies inicialmente proposto por Miall (1977; 1978), os oito elementos arquitecturais, tais quais definidos Miall (1985), não parecem abranger a totalidade dos depósitos aluviais existentes. Várias são as causas desta constatação:

- a** - as particularidades de cada bacia sedimentar, no que concerne a sua evolução e variações climáticas, provocam variações significativas nos processos sedimentares;
- b** - um outro aspecto a ser levantado reside no fato de que Miall, ao inicialmente definir os elementos arquitecturais, o fez utilizando como objecto de estudo os depósitos aluviais arenosos em detrimento dos depósitos rudíticos e lutíticos. Deste modo, a extensão sugerida pelo autor aos demais depósitos aluviais (proximais e distais) torna-se algo inconsistente, apontando para futuras revisões.

Na própria literatura especializada, frequentemente encontramos confusões com a nomenclatura a ser adoptada. Vários são os autores que usam indevidamente os termos **elementos arquitecturais** e **macroformas**. Esta não é apenas uma questão semântica, posto envolver aspectos referentes à génese e à complexidade dos depósitos. Do mesmo modo que autores como Allen (1983), Haszeldine (1983) e Miall (1985) reconheceram uma hierarquia ao estudar as superfícies de descontinuidade, há que se reconhecer um ordenamento ou hierarquia nos depósitos sedimentares encerrados pelas superfícies de descontinuidade.

A fim de se evitar confusões com a terminologia empregada devem ser feitas algumas considerações sobre **elementos arquitecturais** e **macroformas**. Apesar de não haver um consenso na comunidade geológica sobre a correcta definição destes termos, podem-se levantar alguns aspectos gerais que possibilitam a sua melhor utilização. Ambos os termos referem-se a depósitos sedimentares de origem aluvial, constituídos por fácies relacionadas geneticamente e delimitadas por superfícies de descontinuidade.

Elementos arquitecturais são gerados por eventos periódicos, dinâmicos e individuais. Como consequência, os pacotes definidos como elementos arquitecturais não apresentam superfícies internas de 3ª ordem, resultantes de reactivações de longa escala ou mesmo de mudanças significativas na direcção de desenvolvimento dos elementos. Os elementos arquitecturais podem ser associados às mesoformas de Jackson (1975). São elementos arquitecturais a seguintes unidades, segundo Miall (1996): CH, GB, SG, SB, LS, HO e OF. Halfar *et al.* (1998) acrescentam o elemento SL (*shallow lake deposits*) à classificação de Miall

(1985) quando analisaram depósitos de canais meandriformes. Este elemento consiste em lentes de argila finamente laminada, lateralmente descontínuas, depositadas em lagos adjacentes a canais activos.

Por outro lado, as **macroformas** (*sensu* Jackson, 1975), são depósitos complexos, compostos em geral, pelo fruto da acção de mais de um evento deposicional, ou seja: são compostos por elementos arquitecturais. Como consequência, são observadas várias superfícies de 3ª ordem, indicativas do efeito cumulativo de vários eventos periódicos, dinâmicos e individuais. Assim, os elementos arquitecturais são delimitados por superfícies de 3ª ordem, ao passo que as macroformas são por superfícies de 4ª ordem. São macroformas as unidades LA e DA de Miall (1988a).

Neste ponto, é interessante fazer uma relação entre a terminologia empregada por Miall e as terminologias usadas rotineiramente na literatura sedimentológica, posto haver uma relação íntima entre as migrações das formas de leito e os elementos arquitecturais. A terminologia empregada neste texto segue a decisão do Simpósio Internacional “*Classification of Large-Scale Flow Transverse Bedforms*” (Ashley, 1990), que propôs uma classificação objectiva para as formas de leito desenvolvidas em sistemas aluviais, de intermaré e marinhos, baseada exclusivamente na descrição morfológica. Segundo Ashley (1990), todas as formas de leito são **dunas** (tabela 6), pois a despeito dos variados ambientes deposicionais, elas apresentam um processo de formação similar devendo, portanto, ter a mesma denominação. De acordo com a energia do meio, as dunas podem ser subdivididas em dois grupos: bidimensionais (2D) ou tridimensionais (3D), que requerem uma velocidade de fluxo compatível com o regime de fluxo inferior (Middleton & Southward, 1986).

Tipo de depósito		Termos usados na literatura	Jackson (1975)	Termo aqui empregado
Ripples forma periódica	<i>ripples</i>	<i>ripples</i>	microforma	<i>ripples</i>
Forma de leito de grande escala forma periódica	dunas (forma de leito)	barra transversal barra linguoide dunas	mesoforma	elemento arquitectural
	conjuntos de formas de preenchimento de canal	barras em ponta barras diagonais barras laterais barras alternadas	macroforma	macroforma
Forma solitária ou semi-periódica	barras unitárias	lóbulo barras longitudinais <i>chute bar</i> <i>scroll bar</i> <i>tributary bar</i>	mesoforma	elemento arquitectural
	complexo de barras entrançadas	barra longitudinal	macroforma	macroforma

Tabela 6 - Correlação dos termos usados em depósitos aluviais (Ashley, 1990).

Table 6 - Correlation among terms used for describing aluvial deposits (Ashley, 1990).

Observações sobre o elemento CH

Comments on CH element

A analogia entre depósitos de canais da Formação Uberaba e ambientes modernos foi feita utilizando-se do rio Brahmaputra, em Bangladesh, onde complexos de canais foram

caracterizados e hierarquizados por Bristow (1987), que mostrou as suas relações com as formas de leito e o registro sedimentar que os preenchem (figura 8).

Uma das questões mais importantes do processo descritivo relaciona-se às dimensões dos ambientes, uma vez que os rios e seus produtos deposicionais variam enormemente de tamanho. Bristow & Best (1993) mostraram uma grande similaridade entre os depósitos fluviais de diferentes dimensões, o que em parte é devido ao fato de que os mesmos princípios físicos governam o regime hidráulico, independentemente da magnitude do fluxo aquoso. A determinação das dimensões de um antigo canal fluvial ainda dá os seus primeiros passos (Bristow, 1987). Esta determinação se dá a partir da relação entre as dimensões canal e as das formas de leito (macroformas e elementos arquitecturais), estas últimas sendo obtidas dos registros sedimentares. Não há ainda um método que aponte com segurança a relação entre o que foi preservado no registro sedimentar e a largura e a profundidade de um rio.

O canal de 1ª ordem (Bristow, 1987), compreende o rio principal que migra lateralmente dentro de uma extensa área denominada cinturão de canais (*channel belt*). Podem ocorrer vários outros canais de menor grau hierárquico dentro do canal principal. Os depósitos formados pela migração lateral dos canais de 1ª ordem são delimitados na base e no topo por superfícies que correspondem às de 5ª ordem (figura 8a). A geometria destes depósitos arenosos produzidos pela sedimentação fluvial vai depender da forma como os canais de 1ª ordem migram. Um movimento lateral e contínuo resultará em extensas camadas arenosas, ao passo que movimentos avulsivos bruscos geram uma geometria em cordão (Friend *et al.*, 1979).

Os canais de 2ª ordem são aqueles internos ao canal principal (de 1ª ordem) e delimitam e determinam as feições das macroformas. A migração lateral dos canais de 2ª ordem é responsável pela geometria externa das macroformas. As características e o padrão desses canais são mantidas durante os estágios de cheia e baixa dos rios. As figuras 8b e 8c mostram de forma esquemática, a partir do trabalho de Bristow (1987), as relações entre os depósitos de preenchimento de canais de 2ª ordem e as macroformas. As inúmeras superfícies de 3ª ordem marcam oscilações do fluxo durante os períodos de cheia e baixa dos rios.

Os canais de 3ª ordem de Bristow (1987) recortam o topo das macroformas em um processo tipicamente destrutivo. São mais activos nos períodos de queda das cheias, quando as águas começam a retornar ao seu leito normal e são observados, indiferentemente, em cursos meandriformes e entrançados. Esses pequenos canais são produzidos no topo das macroformas recortando-as irregularmente e produzindo mudanças locais na direcção do fluxo (Coleman, 1969). A característica marcante dos depósitos gerados por esses pequenos canais é a base francamente erosiva e côncava para cima dada por superfícies de 3ª ordem. Como dissecam o topo das macroformas, o limite superior dos canais de 3ª ordem é uma superfície de 4ª ordem, que delimita essas formas de leito.

A figura 9 apresenta um fotomosaico e a interpretação de uma secção aflorante analisada segundo a técnica de elementos arquitecturais bem como a identificação de fácies. A figura 10 mostra uma representação das condições ambientais vigentes à época da deposição dos sedimentos, ou seja um contexto onde se encaixa a secção apresentada na figura 9, que se encontra destacada. O elemento 1-CH (figura 9) é formado pelo preenchimento de um canal de 2ª ordem de Bristow (1987), que conta com diversas superfícies erosivas de 1ª, 2ª e 3ª ordens. O elemento arquitectural 1B-GB desenvolveu-se em uma porção de maior energia no interior deste canal, sendo caracterizado por sedimentos grossos na fracção granulométrica seixo (fácies *Ce*). A figura 9b apresenta o perfil vertical de fácies dos afloramentos onde foi realizada a análise arquitectural da secção Santa Rosa.

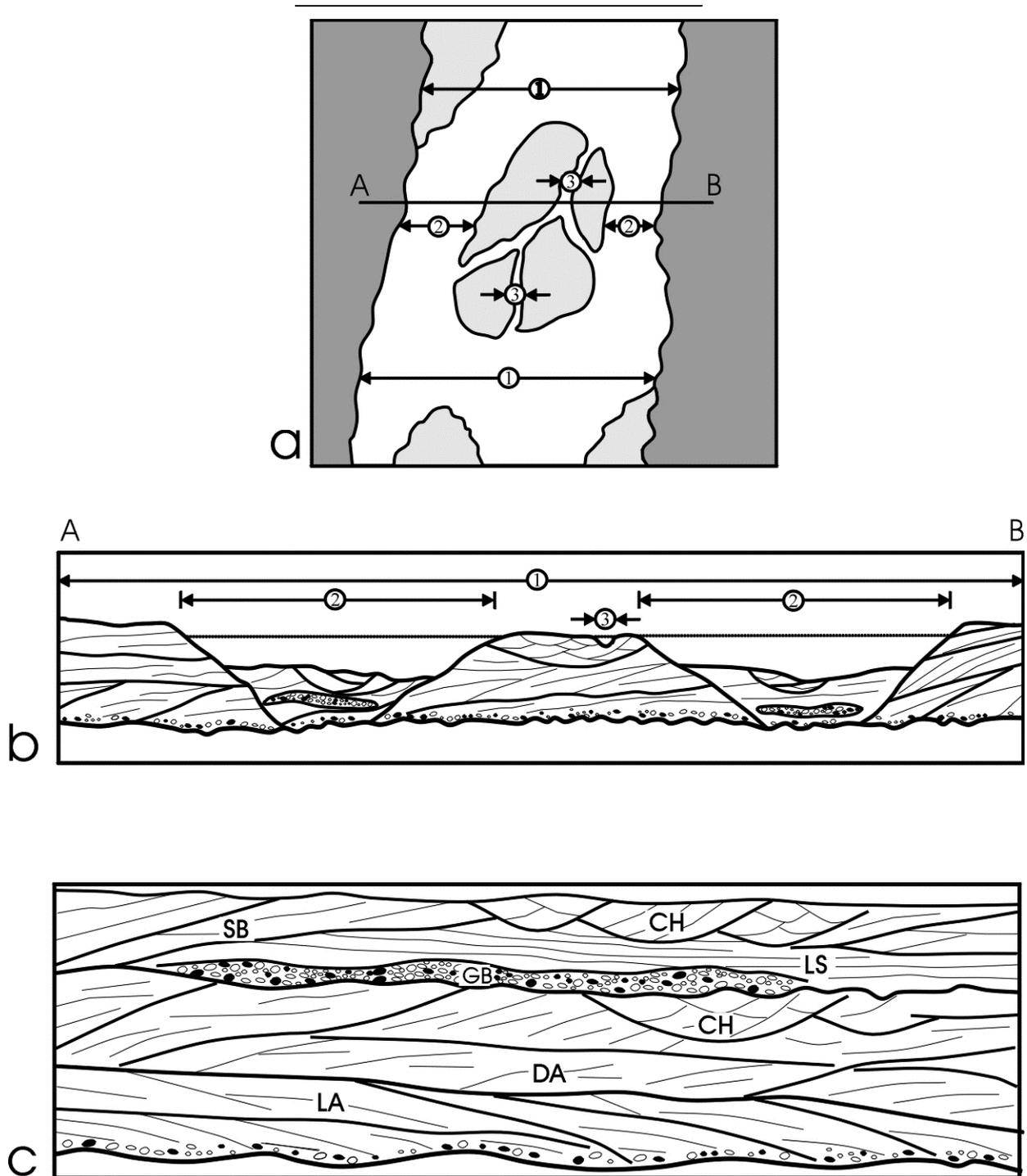
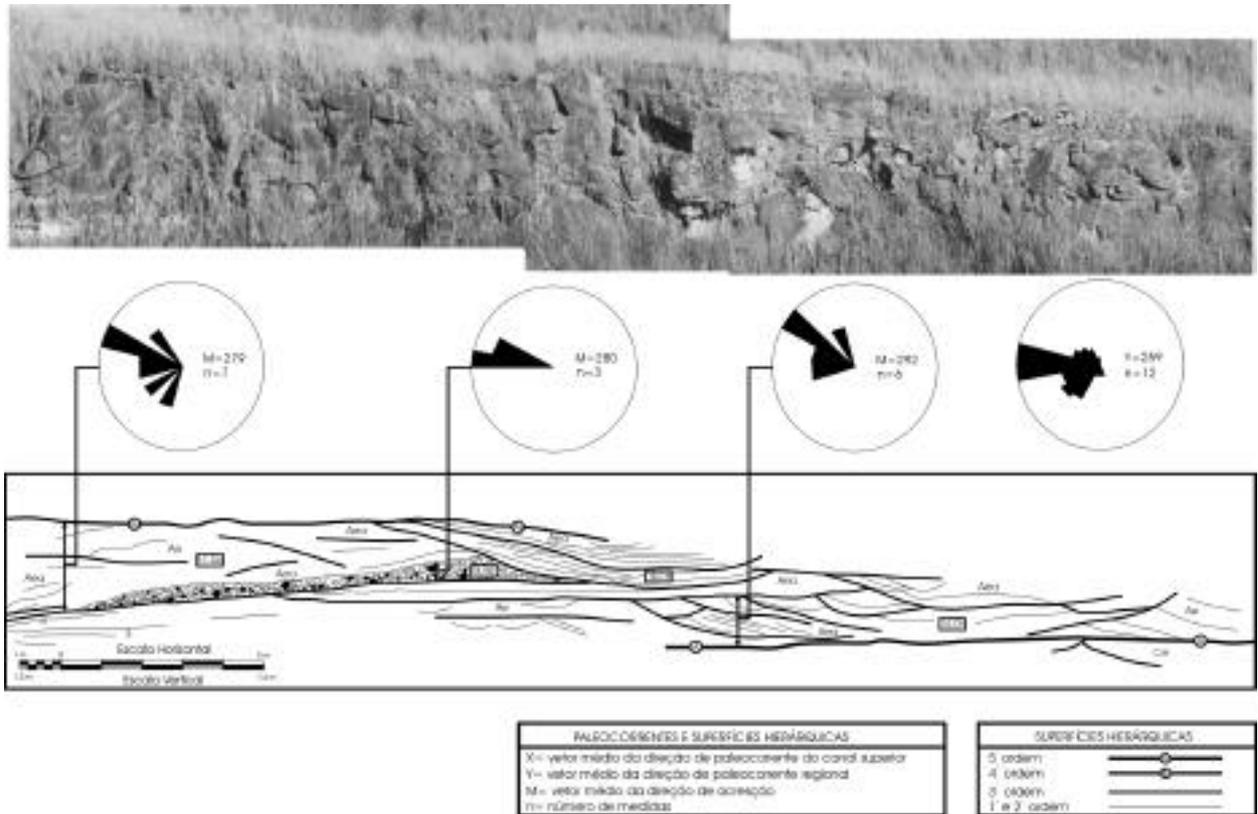


Figura 8 - Secções esquemáticas de um canal fluvial. a - A hierarquização dos canais segue a proposta de Bristow (1987); b - corte transversal ao canal; c - depósitos de preenchimento de canal.

Figure 8 - Schematic section of a fluvial channel. a - channel hierarchy after Bristow (1987); b - channel cross section; c - channel filled deposits.



a)



b)

Figura 9a - Fotomosaico e análise de elementos arquiteturais e da Secção Santa Rosa; b - perfil vertical de fácies no afloramento de Santa Rosa.

Figure 9 a - Photomosaic and architectural elements analysis of Santa Rosa Section; b - vertical facies succession analysis from sedimentary rocks of Santa Rosa outcrop.

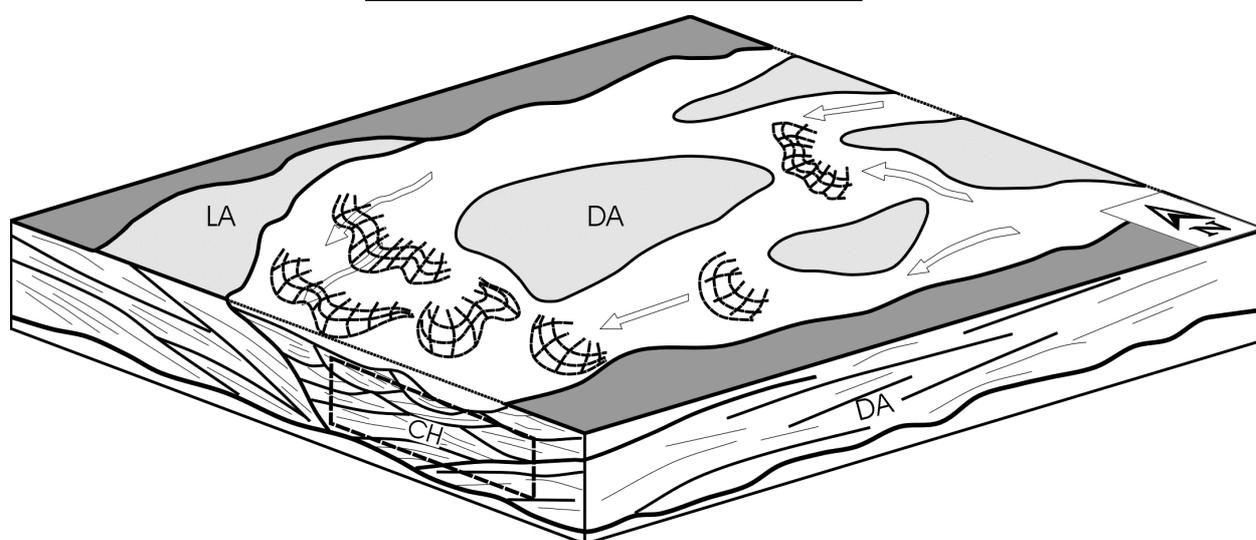


Figura 10 - Bloco diagrama representativo das condições ambientais reinantes à época de deposição das rochas Secção Santa Rosa.

Figure 10 - Block diagram of sedimentary environments at Santa Rosa area.

Comentários e recomendações à análise dos elementos arquiteturais

Some comments and recommendations on architectural element analysis

Assim, como ocorreu com o código de fácies, a aplicação e extensão dos elementos arquiteturais aos trabalhos de campo, se depara com complicações decorrentes da grande variedade de depósitos do ambiente aluvial. A própria definição do termo nos dá uma ideia desta dificuldade: “*um elemento arquitetural é definido como um componente de um sistema deposicional – menor ou equivalente, em tamanho, a um preenchimento de canal, e maior que uma unidade individual de fácies – caracterizado por uma associação distinta de fácies, geometria interna e forma externa, sendo limitado por superfícies hierárquicas de terceira ou quarta ordem*” (Miall, 1996). Novamente uma definição ampla que contempla as mais diversas possibilidades, tanto em termos descritivos quanto interpretativos.

Miall (1985), com base em um sistema fluvial entrançado, sugeriu 8 elementos arquiteturais básicos e Cowan (1991) definiu um novo elemento, por sua vez referendado por Miall (1996). Os depósitos de finos da planície de inundação receberam atenção especial e apresentam uma classificação própria (Miall, 1996). Divisões dos elementos originais foram apresentadas por Lang (1993), mostrando a variedade dos sistemas deposicionais e a dificuldade de se encerrar em um código as variabilidades do mundo físico.

A solução para as dificuldades na utilização da técnica de elementos arquiteturais é a adaptação da classificação a cada situação de campo. Deve-se respeitar, entretanto, os princípios básicos do método na definição dos elementos arquiteturais e, se necessário, elaborar uma classificação e codificação própria. Este procedimento deve ser justificado pelas características peculiares dos afloramentos. Por último, correlacionar, se possível, os elementos arquiteturais propostos com aqueles definidos pela literatura destacando as diferenças encontradas e evitando, assim, a proliferação de códigos e confusões desnecessárias.

Os procedimentos padrões à análise de elementos arquiteturais podem ser divididos em etapas sucessivas e complementares abaixo listadas. Parte destas informações diz respeito a procedimentos metodológicos recolhidos nas mais diversas publicações que versam sobre este tema. Outra parcela relaciona-se à experiência adquirida durante a aplicação deste método à Formação Uberaba (Ferreira-Júnior, 1996).

1. *Escolha de afloramentos regulares com boa extensão lateral, facilidade de acesso e litótipos bem preservados.* Afloramentos com estas características normalmente são encontrados em cortes de ferrovias e de rodovias. As dimensões dos afloramentos são um importante item a ser considerado, pois remetem directamente à questão da escala de observação adoptada. Como a base deste método é a identificação e hierarquização das superfícies de descontinuidade é necessário que se possa observar aquelas de menor ordem hierárquica (1ª e 2ª ordem), pois, é a partir delas que se estabelecem as demais ordens. A classificação deverá ser ascendente e não descendente. Ora, se estas superfícies serão traçadas sobre um fotomosaico, as fotografias que o compõem devem apresentar suficientes detalhes para a melhor delimitação das superfícies de menor ordem. Isto significa que com uma máquina fotográfica equipada com uma objectiva de 50mm uma distância superior, por exemplo, a 15 m entre o afloramento e o fotógrafo trará dificuldades de identificação de superfícies de 1ª e 2ª ordens, diminuindo a fiabilidade nos dados.

Afloramentos de grande altura e/ou afloramentos muito irregulares, são problemáticos, pois elaborar fotomosaicos com a superposição lateral e superior de fotografias acarreta distorções difíceis de serem contornadas, com prejuízos à documentação dos trabalhos. Métodos de correcção destas distorções já estão disponíveis mas requerem a presença de topógrafos e *softwares* específicos o que, actualmente, inviabiliza ou dificulta a sua aplicação.

A espessura dos afloramentos pode trazer complicações relativas ao acesso a todos os pacotes rochosos, impossibilitando a tomada de medidas de paleocorrentes e das medidas da direcção do mergulho das superfícies de descontinuidade, dificultando a definição dos elementos arquitecturais. Como visto anteriormente, a tomada de medidas de paleocorrentes e atitude das superfícies de descontinuidade deve ser pontual e dela depende o sucesso da análise arquitectural.

A situação ideal, portanto, são afloramentos de espessura métrica com grande extensão lateral (dezenas a centenas de metros), onde a passagem lateral das fácies e suas associações permitam o empilhamento vertical dos elementos arquitecturais, em ordem cronológica, e uma ampla visão da sucessão estratigráfica.

2. *Documentação fotográfica com a construção de um fotomosaico.* As fotos devem ser tiradas a uma distância compatível à individualização, nas fotos, das superfícies de 1ª e 2ª ordens. É importante ressaltar o problema da escala. Durante a aplicação desta metodologia aos arenitos fluviais da Formação Uberaba, onde a espessura dos *sets* e *cosets* é bastante reduzida (de 10 cm a 50 cm, em média), não se pode fotografar os afloramentos de uma distância maior sem se perder a qualidade. Se, por outro lado, a análise tomar como base arenitos eólicos, com *sets* e *cosets* reconhecivelmente mais espessos, as distâncias poderão ser maiores sem que haja perdas significativas da qualidade do fotomosaico.

Fotos coloridas se mostram mais adequadas à esta técnica, auxiliando na separação das fácies. As fotos devem ser tiradas sempre a uma mesma distância dos afloramentos, daí a exigência de afloramentos sem grandes irregularidades que comprometam a escala de observação.

Na superposição lateral das fotos deve-se corrigir sempre as distorções buscando uma aproximação do mosaico com a realidade verificada em campo. Para isso recomenda-se que, inicialmente, todo o afloramento seja registrado com poucas fotos que servirão de guias para a montagem do fotomosaico. Caso não seja feita a correcção das distorções, o fotomosaico terá um aspecto curvo, pois como a parte de cima das fotos, devido à altura dos

afloramentos, está a uma maior distância do fotógrafo, apresentará um menor tamanho em relação à parte de baixo da foto. Uma simples superposição de imagens gerará uma curvatura artificial ao afloramento.

3. *Análise preliminar das superfícies de descontinuidade.* Ainda nesta etapa de campo, deve-se fazer um croqui com as principais fácies e superfícies de descontinuidade, certificando-se das suas relações de contacto. Este procedimento será útil na individualização de pacotes rochosos nas etapas de laboratório. A descrição das principais fácies associada a uma hierarquização preliminar das superfícies de descontinuidade permite uma interpretação inicial dos elementos arquitecturais que, entretanto, só estará completa com as medidas de paleocorrentes e atitudes das superfícies de descontinuidade, em uma etapa posterior de campo.
4. *Hierarquização das superfícies de descontinuidade.* Após a montagem do fotomosaico, levantar todas as superfícies possíveis, respeitando as suas relações de contacto. Este procedimento é feito em um transparente (*overlay*) sobreposto ao fotomosaico, onde são registradas as superfícies de descontinuidade. A hierarquização é o passo seguinte e começa sempre das superfícies de menor ordem para as de maior ordem, nunca ao contrário. Muitas relações de contacto não poderão ser estabelecidas nesta etapa, devendo ser anotadas para posterior análise em campo.
5. *Identificação das fácies.* Retornar ao campo munido do fotomosaico e do transparente contendo as superfícies hierárquicas. A primeira providência nesta etapa é orientar o fotomosaico e verificar todas as relações de contacto pendentes, dirimindo as dúvidas quanto aos limites e geometria dos elementos arquitecturais. O passo a seguir é a descrição das fácies e sua localização exacta no fotomosaico, registrando-se todos os seus atributos físicos.
6. *Medição das direcções das paleocorrentes e das atitudes das superfícies de descontinuidade.* As medidas de paleocorrentes mais confiáveis são aquelas fornecidas pelos estratos cruzados acanalados ou tabulares. Entretanto, se os mesmos não estiverem disponíveis, pode-se utilizar de imbricamento de seixos, tomando-se os devidos cuidados na sua interpretação (e.g. Coimbra *et al.*, 1992). É imprescindível que as direcções de paleocorrentes sejam projectadas com exactidão no fotomosaico, pois delas dependerá a confiabilidade da interpretação. O mesmo deve ser feito com as medidas relativas às superfícies de maior ordem hierárquica (3ª e 4ª ordem). Deve-se, também, descrever a natureza das superfícies de descontinuidade de maior ordem hierárquica (3ª, 4ª e 5ª ordem). Normalmente estas superfícies são erosivas e associadas a depósitos residuais do tipo *lag* ou conglomerados de grânulos.
7. *Definição e codificação dos elementos arquitecturais e macroformas.* A relação entre a direcção de paleocorrente e a direcção do mergulho das superfícies de descontinuidade define as macroformas constituintes dos pacotes rochosos. A codificação é utilizada tanto para as superfícies de descontinuidade, quanto para os elementos arquitecturais e macroformas. Para as superfícies de descontinuidade são adoptadas letras do alfabeto, cuja ordem representa a sucessão cronológica de superfícies de 5ª ordem. Para superfícies de 4ª ordem, toma-se a letra referente à superfície de 5ª ordem imediatamente inferior e acrescentadas de algarismos em ordem de sucessão cronológica. Por exemplo: a superfície de código A1 significa uma superfície de 4ª ordem localizada imediatamente acima

da superfície de 5ª ordem mais antiga, a superfície A. Dá-se o código A2 à superfície de 4ª ordem superior a superfície A1.

Para os elementos arquiteturais e macroformas também é utilizado um sistema de código alfanumérico formado por dois conjuntos de dois dígitos separados por um hífen. O primeiro conjunto está associado à ordem hierárquico e o segundo o tipo elemento arquitetural ou macroforma. Por exemplo, 1A-DA e 1B-LS significam, respectivamente, uma macroforma de acreção a jusante (DA) depositada imediatamente sobre a primeira superfície de 5ª ordem e um elemento arquitetural LS depositado após a macroforma 1A-DA. Já o código 3D-SB representa o quarto elemento arquitetural (SB) que foi depositado sobre a terceira superfície de 5ª ordem no afloramento (figura 11).

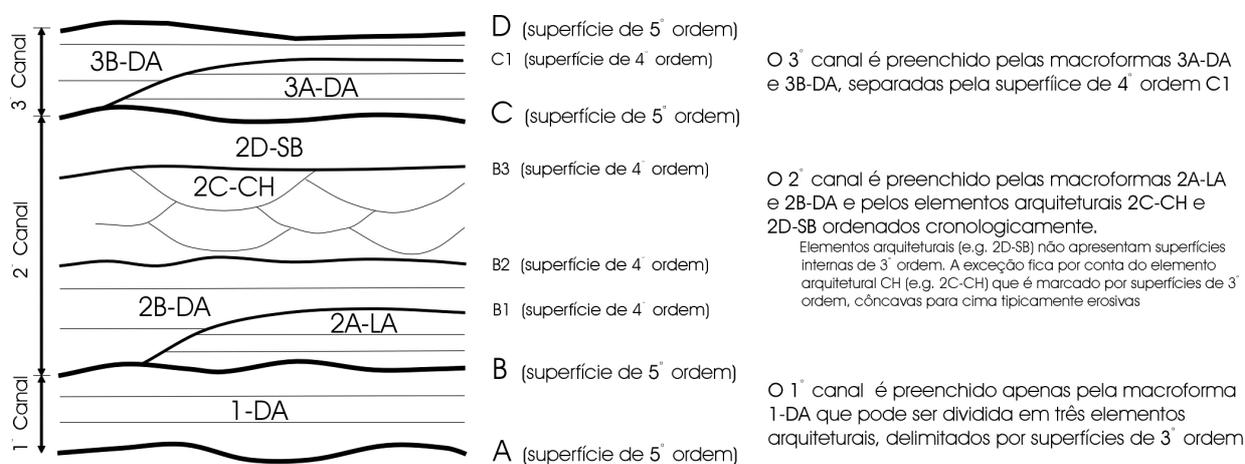


Figura 11 -Hierarquização das superfícies e dos depósitos aluviais.
Figure 11 - Alluvial deposits and discontinuity surfaces hierarchy.

8. *Interpretação do ambiente deposicional.* A partir da predominância dos elementos arquiteturais e das macroformas e de analogias com exemplos modernos de ambientes aluviais é possível apontar as características do sistema deposicional estudado. Por exemplo, o predomínio de macroformas DA sobre LA (figuras 12 e 13).

COMENTÁRIOS SOBRE A ANÁLISE ARQUITETURAL E A ASSOCIAÇÃO VERTICAL DE FÁCIES

COMMENTS ON ARCHITECTURAL ANALYSIS AND VERTICAL FACIES ASSOCIATION

Do acima exposto, observa-se que a análise arquitetural oferece grandes vantagens sobre o método tradicional da associação vertical de fácies, pois possibilita a determinação da geometria dos pacotes arenosos, o que é de grande valia em campanhas de prospecção em depósitos aluviais (Ferreira-Júnior *et al.*, 1995). A análise arquitetural fornece, ainda, informações sobre pequenas variações do estilo fluvial que seriam de difícil observação através de perfis estratigráficos, que visam a sucessão vertical de fácies (por exemplo, figuras 9 e 10).

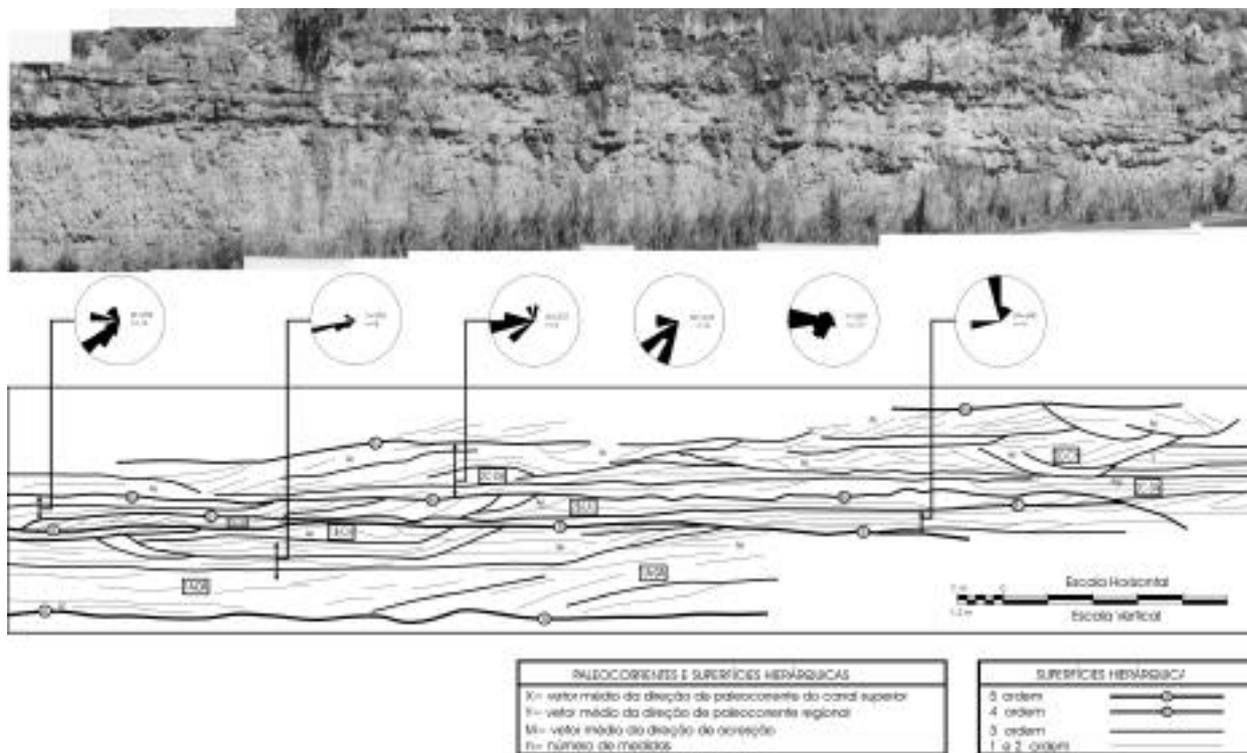


Figura 12 - Fotomosaico, análise de elementos arquitecturais e perfil sedimentológico da Secção BR-050. O perfil vertical de fácies deste afloramento é mostrado na figura 2.

Figure 12 - Photomosaic and architectural element analysis at BR 050 section. The vertical facies succession analysis from sedimentary rocks of BR 050 is showed on figure 2.

Nem sempre é possível determinar o estilo deposicional através de uma simples associação faciológica. É necessário que se conheça a direcção da acreção do elemento arquitectural e da macroforma e o ângulo que eles fazem com a direcção do fluxo, dissipando, ao final, interpretações ambíguas. De todo, a utilização da análise de elementos arquitecturais resulta no conhecimento das direcções de desenvolvimento dos sistemas aluviais, o que, os estudos de fácies e associações de fácies dificilmente conseguem mostrar. As dificuldades observadas na aplicação do método de análise de elementos arquitecturais são comuns a todas as novas técnicas devido ao pouco conhecimento de suas nuances e ao pequeno acúmulo de exemplos estudados e, portanto, de conhecimento adquirido. A difusão da análise arquitectural é de extrema importância, principalmente no que diz respeito à maior aquisição de dados e também da aplicação a outros ambientes deposicionais que não os aluviais (Miall & Tyller, 1991). Esta difusão é de suma importância para se adquirir um maior número de informações que possibilitem o tratamento estatístico das superfícies hierárquicas. A partir de seu domínio, esta técnica poderá ser aplicada com sucesso em depósitos de subsuperfície, como Miall (1994, 1996) vem apregoando ao longo dos últimos anos. A utilização da análise arquitectural em subsuperfície, principalmente em campanhas exploratórias de petróleo seria de extrema valia pois possibilitaria a definição não apenas da natureza do depósito, mas também forneceria informações a respeito do desenvolvimento das formas de leito, suas relações espaciais, direcções de acreção, geometria dos corpos, direcções óptimas de permeabilidade-porosidade e predição de possíveis reservatórios de hidrocarbonetos e água. Este cenário pode ser esperado a partir da aplicação de métodos geofísicos de alta resolução aliada à análise arquitectural.

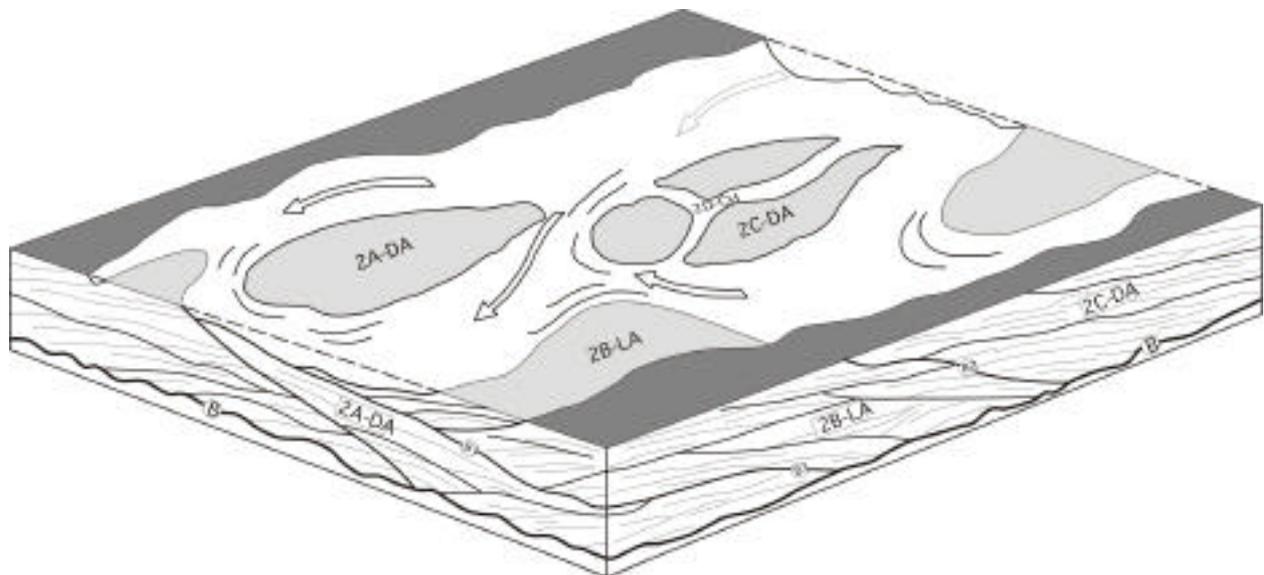


Figura 13 - Bloco diagrama representativo das condições ambientais reinantes à época de deposição das rochas da Secção BR-050.

Figure 13 - Block diagram of sedimentary environments at BR - 050 section.

No confronto entre a utilização da técnica de análise de elementos arquitecturais e da associação de fácies, as duas se mostraram concorrentes e complementares. Jones *et al.* (2001) utilizaram-se com sucesso das duas metodologias na reconstrução paleoambiental da Formação Rio Vero na Espanha. As secções verticais forma combinadas com a análise arquitectural, possibilitando a correlação entre diversas localidades.

A distribuição espacial, a análise da ciclicidade e a caracterização do sistema deposicional, em regiões que apresentam afloramentos de baixa qualidade ou com pequenas dimensões laterais e/ou verticais, é melhor entendida através da análise vertical de fácies.

O emprego da análise arquitectural possibilita a identificação de variações locais no estilo de deposição que, normalmente, passariam despercebidas pela análise convencional de fácies. É possível, também, definir a direcção de desenvolvimento de um elemento arquitectural ou macroforma e determinar as suas relações com os demais componentes de uma unidade deposicional. Por fim, a análise arquitectural é de grande importância em campanhas de prospecção em registos sedimentares, pois permite uma visão tridimensional dos corpos dos corpos rochosos.

A análise arquitectural fornece, ainda, informações concernentes à evolução tectónica, uma vez que a distribuição e associação dos elementos arquitecturais e macroformas estão directamente relacionadas aos diversos ambientes tectónicos de uma dada bacia.

Referências / References

- Allen, J.R.L. (1983) - Studies in fluvial sedimentation: bars, bar complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders. *Sedimentary Geology*, **33**(2), 237-293.
- Ashley, G.M. (1990) - Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Journal of Sedimentary Petrology*, **60**(1), 160-170.

-
- Barbosa, E.M. (1997) - *Sistema deposicional de sedimentos pós-paleozóicos da Bacia Alto-Sanfranciscana, região de Canabrava e Bonfinópolis de Minas, Noroeste de Minas Gerais*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 86p.
- Bridge, J.S. (1993) - Description and interpretation of fluvial deposits: a critical perspective. *Sedimentology*, **40**(4), 801-810.
- Bristow, C.S. (1987) - Brahmaputra River: channel migration and deposition. In Ethridge, R.M.; Flores, R.M.; Harvey, M.D. (eds.). *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 63-74 (Special Publication, 39).
- Bristow, C.S. & Best, J.L. (1993) - Braided rivers: perspectives and problems. In: Best, J.L. & Bristow, C.S. (eds) Braided rivers. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.*, **75**, 1-11.
- Bromley, M.H. (1991) - Variation in fluvial style as revealed by architectural elements, Kayenta Formation, Mesa Creek, Colorado, USA: evidence of both ephemeral and perennial fluvial processes. In Miall, A.D. & Tyler, N. (eds.). *The Three-Dimensional Facies Architecture of Terrigenous Clastic Sediments and Its Implications for Hydrocarbon Discovery and Recovery*. Tulsa, SEPM, Concepts in Sedimentology and Paleontology, **3**, 94-102.
- Castro, P.T.A. (1994) - Architectural elements of proterozoic braided fluvial system of Morro do Chapéu Formation, Chapada Diamantina Group, Chapada Diamantina, Bahia, Brazil. In: International Sedimentological Congress, 14, Recife, *Abstracts*, G-18.
- Coimbra, A.M.; Fernandes, L.A.; Moraes, M.C. & Mezlo, M.S. (1992) - Métodos de estudo de litologias e paleocorrentes de cascalhos em terraços do Baixo Ribeira do Iguape (SP). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **64**(3), 253-267.
- Coleman, J.M. (1969) - Brahmaputra River: channel processes and sedimentation. *Sedimentary Geology*, **3**(2), 129-239.
- COMIG - Companhia de Mineração de Minas Gerais (1994) - Mapa Geológico do Estado de Minas Gerais. Escala 1: 1.000.000. Belo Horizonte, COMIG.
- Cowan, E.J. (1991) - The large-scale architecture of the fluvial Westwater Canyon Member, Morrison Formation (Upper Jurassic), San Juan Basin, New Mexico. In Miall, A.D. & Tyler, N. (eds.). *The Three-Dimensional Facies Architecture of Terrigenous Clastic Sediments and Its Implications for Hydrocarbon Discovery and Recovery*. Tulsa, SEPM, Concepts in Sedimentology and Paleontology, **3**, 80-93.
- Cross, T.A. & Homewood, P.W. (1997) - Amans Gressly's role in founding modern stratigraphy. *Geological Society of America Bulletin*, **109**(12), 1617-1630.
- Ferreira-Júnior, P.D. (1996) - *Modelo deposicional e evolução diagenética da Formação Uberaba, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná, na região do Triângulo Mineiro*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Dissertação de Mestrado, 176p. (2 volumes).
- Ferreira-Júnior, P.D.; Castro, P.T.A.; Guerra, W.J. (1995) - Aplicação de elementos arquiteturais na prospecção de diamantes nos conglomerados polimíticos de Romaria no Triângulo Mineiro. In: SBG/Núcleo Minas Gerais, Simpósio de Geologia de Minas Gerais, 8, Diamantina, *Anais*, 125-127 (Boletim 13).

-
- Ferreira-Júnior, P.D. & Castro, P.T.A. (1998) - Análise arquitetural da Formação Uberaba, Cretáceo da Bacia do Paraná, junto à Serra do Veríssimo (MG). In: Congresso Latinoamericano de Geología, 10, y Congreso Nacional de Geología Económica, 6, *Actas*, **1**, 238-242.
- Friend, P.F. (1983) - Towards the field classification of alluvial architecture or sequence. In Collinson, J.D. & Lewin, J. (eds.). *Modern and ancient fluvial systems*. International Association of Sedimentologists, 345-354 (Special Publication 6).
- Friend, P.F.; Slater, M.J.; Williams, R.C. (1979) - Vertical and lateral building of river sandstone bodies, Ebro Basin, Spain. *Journal of Geological Society of London*, **136**(1), 39-46.
- Gersib, G.A. & McCabe, P.J. (1981) - Continental coal-bearing sediments of the Port Hood Formation (Carboniferous), Cape Linzee, Nova Scotia, Canada. In: F.G. Ethridge & R.M. Flores (eds.), *Recent and Ancient Non-Marine Depositional Environments: Models for Exploration*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 95-108 (Special Publication, 31).
- Halfar, J.; Riegel, W.; Walther, H. (1998) - Facies architecture and sedimentology of a meandering fluvial system: a Palaeogene example from the Weissenel Basin, Germany. *Sedimentology*, **45**(1), 1-17.
- Haszeldine, R.S. (1983) - Descending tabular cross-bed sets and bounding surfaces from a fluvial channel in the upper Carboniferous coalfield of north-east England. In: Collinson, J.D. and Lewin J (eds). *Modern and ancient fluvial systems*. Int. Assoc. Sed. Spec. Publ., **6**, 449-456.
- Jackson, R.G. (1975) - Hierarchical attributes and a unifying model of bedforms composed of cohesionless material and produced by shearing flow. *Geological Society of America Bulletin*, **86**(11), 1523-1533.
- Jones, S.J.; Frostick, L.E.; Astin, T.R. (2001) - Braided stream and flood plain architecture: the Rio Vero Formation, Spanish Pyrenees. *Sedimentary Geology*, **139**(3/4), 229-260.
- Keighley, D.G. & Pickerill, R.K. (1996) - The evolution of fluvial systems in the Port Hood Formation (Upper Carboniferous), western Cape Breton Island, eastern Canada. *Sedimentary Geology*, **106**(1/2), 97-144.
- Lang, S.C. (1993) - Evolution of Devonian alluvial systems in an oblique-slip mobile zone - an example from the Broken River Province, northeastern Australia. *Sedimentary Geology*, **85**(1-4), 501-535.
- McKee, E.D. & Weir, G.W., (1953) - Terminology for stratification and cross stratification in sedimentary rocks. *Geological Society of America Bulletin*, **64**(4), 381-390.
- Miall, A.D. (1977) - A review of the braided river depositional environment. *Earth Science Reviews*, **13**(4), 1-62.
- Miall, A.D. (1978) - Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: a summary. In Miall, A.D. (ed.). *Fluvial Sedimentology*, Canadian Society of Petroleum Geologists, 597-604 (Memoir 5).
- Miall, A.D. (1985) - Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth Science Reviews*, **22**(4), 261-300.

- Miall, A.D. (1988a) - Architectural elements and bounding surfaces in fluvial deposits: anatomy of the Kayenta Formation (Lower Jurassic) Southwest Colorado. *Sedimentary Geology*, **55**(2), 233-262.
- Miall, A.D. (1988b) - Reservoir heterogenitics in fluvial sandstones: lessons from outcrop studies. *America Association Petroleum Geologists Bulletin*, **72**(6), 682-697.
- Miall, A.D. (1994) - Reconstructing fluvial macroform architecture from two-dimensional outcrops: exemples from the Castlegate Sandstone, Book Cliffs, Utah. *Journal of Sedimentary Research*, **B64**(2), 146-158.
- Miall, A.D. (1996) - *The Geology of Fluvial Deposits: Sedimentary Facies, Basin Analysis, and Petroleum Geology*. Springer Verlag; 582p.
- Miall, A.D. & Turner-Peterson, C.E. (1989) - Variations in fluvial style in the Westwater Canyon Member, Morrison Formation (Jurassic), San Juan Basin, Colorado Plateau. *Sedimentary Geology*, **63**(1/2), 21-60.
- Miall, A.D. & Tyler, N. (1991) - *The Three-Dimensional Facies Architecture of Terrigenous Clastic Sediments and Its Implications for Hydrocarbon Discovery and Recovery*. Tulsa, SEPM, Concepts in Sedimentology and Paleontology.
- Middleton, G.V. & Southward, J.B. (1986) - *Mechanics of sediment movement*. Calgary, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 246p. (Short Course 3)
- Reading, H.G. (1980) - Facies. In Reading, H.G. (ed.). *Sedimentary Environments and Facies*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 4-14.
- Schumm, S.A. (1993) - River response to baselevel change: implications for sequence stratigraphy. *The Journal of Geology*, **101**(2), 279-296.
- Selley, R.C. (1978) - *Ancient Sedimentary Environments*, London, Chapman and Hall, 287p.
- Stephens, M. (1991) - Architectural elements analysis within the Kayenta Formation (Lower Jurassic) using ground-probing radar and sedimentological profiling, southwestern Colorado. *Sedimentary Geology*, **90**(3), 179-211.
- Tunbridge, I.P. (1981) - Sandy high-energy flood sedimentation - some criteria for recognition, with an example from the Devonian of S.W. England. *Sedimentary Geology*, **28**(1), 79-95.
- Walker, R.G. (1984) - General Introduction: Facies, Facies Sequences and Facies Models. In Walker, R.G. (ed.) *Facies Models*. Geological Association of Canada, Geoscience Canada, Reprint Series 1, 1-10.
- Walker, R.G. & Cant, D.J. (1984) - Sand Fluvial Systems. In Walker, R.G. (ed.), *Facies Models*. Geological Association of Canada, Geoscience Canada, Reprint Series 1, 71-90.
- Wizevich, M.C. (1992) - Pennsylvanian quartzose sandstone of the Lee Formation: fluvial interpretation based on lateral profile analysis. *Sedimentary Geology*, **78**(1/2), 1- 47.