

# CLASSIFICAÇÃO DE SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS EM CABECEIRAS DE VALE ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO DIAGRAMA DE FLEMMING: MUNICÍPIO DE CAMPO ALEGRE, NORTE DE SANTA CATARINA

Marcelo Accioly Teixeira de OLIVEIRA <sup>1</sup> & Gisele Leite de LIMA <sup>2</sup>

- (1) Departamento de Geociências, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Universitário Trindade. CEP: 88040-970. Florianópolis, SC. Endereço eletrônico: maroliv@cfh.ufsc.br.  
(2) Curso de Pós-Graduação em Geografia do Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina. Campus Universitário Trindade. CEP 88040-907. Endereço eletrônico: glima5@yahoo.com.

## Introdução

Fluxos de Água e Transporte de Partículas em Cabeceiras de Vale

## Métodos Utilizados

## Resultados e Discussão

Análise dos Materiais em Seção Pedostratigráfica Preservada em Encosta Próxima dos Divisores de Água

Análise dos Materiais de Seção Pedostratigráfica Desenvolvida em Ambiente Alagado, Típico de Cabeceira de Vale

Análise de Amostras em Topossequência Sobre Terraço Aluvial, a Jusante de Cabeceira de Vale

Aplicação dos Resultados Obtidos à Análise Faciológica de Sedimentos Quaternários em Cabeceiras de Vale

Cabeceiras de Vale, Convergência de Processos Depositionais e Fácies de Piemonte

## Conclusões

## Agradecimentos

## Referências Bibliográficas

**RESUMO** – O diagrama triangular de Flemming foi criado com o objetivo de permitir a classificação de sedimentos lamosos marinhos através de critério hidrodinâmico. Sua aplicação para o estudo de sedimentos quaternários em cabeceiras de vale visa facilitar interpretações paleo-hidroológicas em ambiente continental. Os resultados obtidos permitem distinguir paleossolos, sedimentos com organização incipiente e sedimentos com melhor organização textural, possibilitando a análise faciológica de depósitos de articulação entre encostas e calhas fluviais através da definição de fácies proximais e distais.

**Palavras-chave:** Cabeceiras de vale, classificação textural, fácies.

**ABSTRACT** – *M.A.T. de Oliveira & G.L. de Lima - Classification Quaternary deposits of valley head on the basis of the Flemming diagram: Campo Alegre, northern Santa Catarina State, Brazil.* The Flemming ternary diagram is a revised textural classification of muddy marine sediments on the basis of hydrodynamic criteria. Its application to the study of Quaternary sediments in valley head areas was envisaged in order to improve paleohydrologic interpretation of continental deposits. The results allow distinction between roughly organized sediments and well-organized ones. As well, it is possible to distinguish sediments and paleosoils. The faciological analysis of valley head area deposits is enabled through the definition of proximal and distal facies.

**Keywords:** Valley heads, textural classification, facies.

## INTRODUÇÃO

O estudo de áreas de cabeceira de vale suscitou interesse acadêmico durante a última década de 90 devido ao fato de tais áreas constituírem superfícies geomorfológicas nas quais a articulação dinâmica entre encostas e calhas fluviais poderia ser observada (Dietrich & Dunne, 1993). De fato, a possibilidade de estabelecer o grau de conexão dinâmica entre as áreas de fornecimento de sedimentos e os principais coletores de drenagem levou à realização de estudos relacionados tanto aos processos hidrológicos atuais quanto aos processos de evolução do relevo durante o Quaternário, gerando importantes resultados geomorfológicos, sobretudo no tocante à tão propalada associação entre processos e formas de relevo (Giannini & Riccomini, 2000).

No tocante a cabeceiras de vale, esta associação

é relativamente simples e poderia ser sintetizada como segue: no interior de bacias hidrográficas, determinadas formas de relevo induzem a concentração de processos de erosão, transporte e sedimentação local ao longo do tempo (Cosandey & Oliveira, 1996; Paisani & Oliveira, 1999; Oliveira, 1999a, b). Essa relação entre determinadas formas de relevo e processos exógenos recorrentes no interior de bacias hidrográficas não é novidade e já fora previsto, no Brasil, com aproximadamente uma década de antecedência (Meis & Machado, 1978; Meis & Moura, 1984). Posteriormente, o problema foi abordado no contexto geral das cabeceiras de vale (Moura, 1998). Este conhecimento foi aplicado para a busca de áreas nas quais fosse encontrado registro estratigráfico quaternário nos estados de Santa Catarina e Paraná.

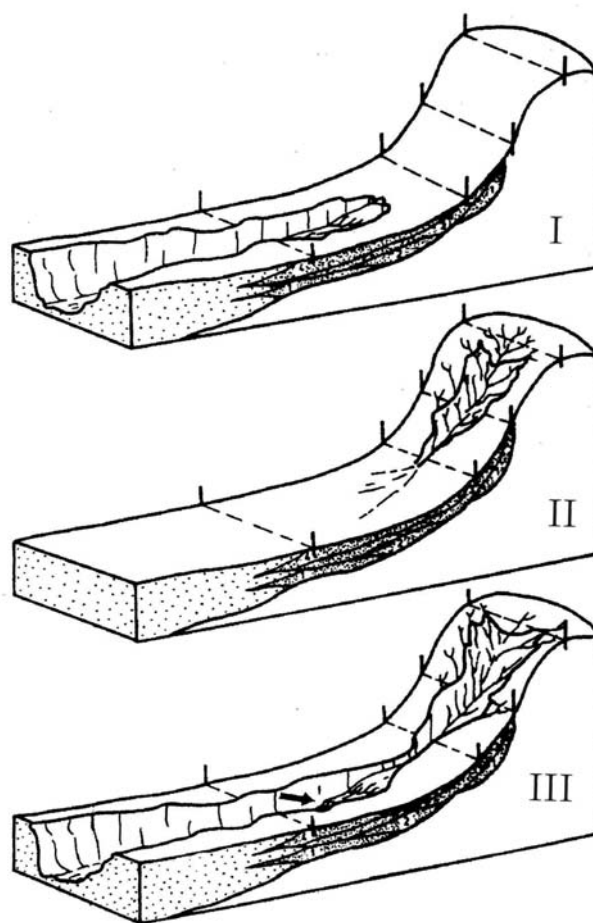
Com efeito, como poderia ser previsto, o registro estratigráfico quaternário preservado em cabeceiras de vale no norte de Santa Catarina e no Segundo Planalto Paranaense tem revelado quantidade ímpar de estruturas sedimentares e de paleossolos quaternários bem individualizados (Oliveira et al., 2001). Esse fato levou a sucessivas tentativas de diferenciação dos materiais encontrados através da aplicação de sistemas de classificação granulométrica (Paisani & Oliveira, 1997; Oliveira & Pereira, 1999; Pereira, 1999; Lima, 2001; Oliveira et al., 2003a).

Após tentativas relativamente bem sucedidas de aplicação do sistema de classificação de Passega (1964) aos sedimentos estudados (Paisani & Oliveira, 1997; Pereira, 1999), foi iniciado em 2001 o estudo da aplicação do diagrama triangular de Flemming (2000) em seqüências coluviais (Lima, 2001). Originalmente criado para classificar sedimentos depositados em ambiente de macromaré e de plataforma externa, o potencial desse diagrama para aplicação em ambientes variados foi ressaltado por seu idealizador (Flemming, 2000). O problema de sua eventual aplicação para ambientes subaéreos, como áreas de cabeceiras de vale, suscitou uma primeira tentativa de utilizar o diagrama em outros ambientes, abordando-o através de reflexão sobre a natureza dos principais mecanismos de erosão e transporte que podem ser identificados nessas áreas (Dietrich & Dunne, 1993; Lima, 2001; Oliveira et al., 2003a).

#### FLUXOS DE ÁGUA E TRANSPORTE DE PARTÍCULAS EM CABECEIRAS DE VALE

Devido às características dinâmicas de cabeceiras de vale, os sedimentos nelas preservados podem ser gerados por processos que abrangem todas as transições possíveis entre fluxos gravitacionais, ou fluxos densos, e fluxos de baixa viscosidade com capacidade para realizar seleção granulométrica (Figura 1).

No caso de sedimentos relativamente mal selecionados, ou cujas características texturais sejam ainda muito próximas das do manto de intemperismo, como é o caso geral de sedimentos retidos em cabeceiras de vale, em princípio dever-se-ia recorrer a sistemas de classificação granulométrica que incluam depósitos gerados por fluxos de maior viscosidade, nos quais o trabalho de seleção granulométrica não é eficiente. Os processos de erosão, transporte e sedimentação que ocorrem em ambientes de transição entre encostas e calhas fluviais envolvem, com freqüência, fluxos de lama e fluxos de detritos que podem, ou não, migrar para fluxos de baixa viscosidade, em função de eventual aporte de água para os materiais em movimento (Oliveira, 1999b). Nota-se, portanto, a necessidade de sistemas de classificação que possam contemplar



**FIGURA 1.** Tipologia de processos erosivos em ambientes de articulação entre encostas e calhas fluviais (adaptada de Oliveira & Meis, 1985). Notar em I - erosão por voçorocas, envolvendo fluxos subsuperficiais e superficiais na base da encosta; em II - erosão na alta encosta, envolvendo fluxos difusos, fluxos concentrados e movimentos de massa; em III - conexão dinâmica de processos erosivos ao longo de toda a encosta, favorecendo a interação de fluxos diversos e a transformação de colúvios em alúvios. A articulação de processos sedimentares de encosta e de calha fluvial é sugerida pela seqüência deposicional esquematizada na base dos blocos diagramas (segundo Oliveira, 1989).

espectro relativamente vasto de mecanismos associados ao movimento de material sobre superfícies geomorfológicas.

O comportamento mecânico de materiais em movimento, compostos por misturas variáveis de líquido e de partículas sólidas, é objeto de estudo da Reologia. Segundo essa disciplina, fluxos mais ou menos densos de lama podem apresentar semelhanças com correntes de turbidez, tais como início abrupto do movimento, alta concentração de sólidos, turbulência fluidal e atrito granular, comportamento não-Newtoniano, transporte de cascalho em suspensão, e dissipação de energia

(Allen, 1984; Coussot, 1997). A chamada seqüência de Bouma fornece bom exemplo de estruturas geradas por correntes de turbidez. A seqüência inicia na base com areias cascalhosas, por vezes maciças mas com tendência à gradação normal, seguida por sucessões granodrecrescentes de areia a argila, com laminação paralela e marcas onduladas (Allen, 1984; Giannini & Riccomini, 2000; Suguio, 2003).

Como mencionado anteriormente, os sedimentos encontrados em ambientes de cabeceiras de vale apresentam comportamento reológico que abarca vasta gama de mecanismos de interação entre fluidos e partículas sólidas, incluindo mecanismos extremos. Devido às características específicas das áreas que vêm sendo estudadas nos estados de Santa Catarina e Paraná, a maioria dos depósitos investigados apresenta características de fluxos mais ou menos densos nos quais teriam predominado turbulência viscosa e turbulência fluidal, gerando, respectivamente, depósitos com organização incipiente e sucessões granodrecrescentes, característicos de sedimentos formados, entre outros processos, por “correntes de turbidez”. Ora, o diagrama de Flemming (2000) foi criado justamente para estudar depósitos gerados por esse tipo de fluxo.

Considerando a reconhecida aplicação do princípio da equifinalidade à gênese de estruturas sedimentares (Suguio, 2003), deve-se ressaltar que nada há de

estranho no fato de sedimentos continentais poderem gerar estruturas sedimentares típicas de ambientes subaquáticos. Este fato foi recentemente salientado em estudo sobre microestruturas sedimentares atuais, históricas e quaternárias analisadas em cabeceiras de vale (Oliveira et al., 2001). Conseqüentemente, devido à semelhança reológica entre correntes de turbidez e fluxos gravitacionais, decidiu-se testar a aplicação do diagrama triangular de Flemming para os materiais encontrados nas cabeceiras de vale estudadas.

O diagrama de Flemming é um diagrama triangular que foi criado com o objetivo de permitir a classificação de sedimentos lamosos, possibilitando classificação de cunho hidrodinâmico e a associação do depósito sedimentar à energia do agente de transporte, em geral fluxos de natureza variável. Com efeito, o diagrama permite a delimitação de classes hidrodinâmicas para depósitos lamosos, cuja viscosidade e dinâmica de fluxo são muito próximas das dos chamados fluxos gravitacionais, fluxos densos caracterizados por misturas mais ou menos densas de líquido e de partículas sólidas.

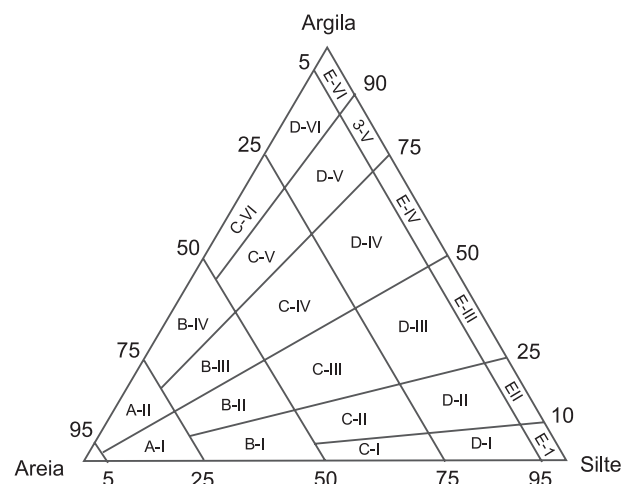
O presente trabalho apresenta os resultados da aplicação do diagrama de Flemming à classificação hidrodinâmica de sedimentos quaternários em cabeceiras de vale, tendo como exemplos seqüências pedoestratigráficas situadas no município de Campo Alegre, no Norte de Santa Catarina.

## MÉTODOS UTILIZADOS

Foram realizados levantamentos de campo, sintetizados através de seções pedoestratigráficas, nas quais os diferentes volumes foram descritos em função de sua cor, textura, espessura e geometria, forma e ocorrência de alterorrelíquias, proporção de matriz e clastos etc. Após a caracterização das seções estratigráficas, foram selecionadas amostras para análises variadas.

Neste trabalho serão apresentados resultados obtidos através da análise granulométrica de 104 amostras oriundas de três seções pedoestratigráficas distintas, localizadas em diferentes posições topográficas no interior de cabeceiras de vale. A determinação da distribuição granulométrica das partículas implicou peneiramento para a fração grossa (> 0,062 mm), e pipetagem para a fração fina (< 0,062 mm), conforme Suguio (1973). Uma vez determinada essa distribuição, os dados foram lançados no diagrama triangular para a Classificação de Sedimentos de Flemming (2000) (Figura 2).

Como o diagrama não prevê a inclusão de partículas com diâmetro superior ao tamanho característico de areias e, como a proporção de cascalho em todas as amostras analisadas neste trabalho é relati-



**FIGURA 2.** Diagrama triangular de Flemming. Segundo Flemming (2000, p. 1132). As classes texturais representadas no diagrama seriam características de diferentes regimes hidrodinâmicos.

vamente pequena (entre 4,3% e 0,034%, com média global de 2,04%), os percentuais de cascalho das amostras analisadas foram adicionados aos da fração areia, de modo a permitir a inserção dos dados no diagrama original. Este procedimento se justificaria ainda pelo fato de que clastos são carregados em suspensão no interior de fluxos densos. Conseqüentemente, a ocorrência de cascalho nos depósitos estudados não implica, necessariamente, a ocorrência de fluxos de baixa viscosidade com alta energia mas, muito provavelmente, a inclusão de clastos em fluxos gravitacionais.

O diagrama de Flemming trabalha com dois componentes: areia e lama (silte e argila). Com base na relação entre o conteúdo desses dois componentes, são definidos seis tipos distintos de sedimentos: (1) areia (S): < 5% de lama; (2) areia levemente lamosa (A): 5 - 25% de lama; (3) areia lamosa (B): 25 - 50% de lama; (4) lama arenosa (C): 50 - 75 % de lama; (5) lama levemente arenosa (D): 75 - 95% de lama e (6) lama (E): > 95% de lama. O diagrama subdivide os seis tipos básicos de sedimentos em 25 classes texturais (Figura 2 e Tabela 1).

**TABELA 1.** Tipos de sedimentos e classes texturais de sedimentos lamosos. De acordo com Flemming (2000, p. 1132).

<b>Tipo de sedimento</b>	<b>Código</b>	<b>Classe textural</b>
Areia (<5% lama)	S	Areia
Areia levemente lamosa (5-25% lama)	A-I	Areia levemente siltosa
	A-II	Areia levemente argilosa
Areia lamosa (25-50% lama)	B-I	Areia muito siltosa
	B-II	Areia siltosa
	B-III	Areia argilosa
	B-IV	Areia muito argilosa
Lama arenosa (50-75% lama)	C-I	Lama arenosa extremamente siltosa
	C-II	Lama arenosa muito siltosa
	C-III	Lama arenosa siltosa
	C-IV	Lama arenosa argilosa
	C-V	Lama arenosa muito siltosa
	C-VI	Lama arenosa extremamente argilosa
Lama levemente arenosa (75-95% lama)	D-I	Lama levemente arenosa extremamente siltosa
	D-II	Lama levemente arenosa muito siltosa
	D-III	Lama levemente arenosa siltosa
	D-IV	Lama levemente arenosa argilosa
	D-V	Lama levemente arenosa muito argilosa
	D-VI	Lama levemente arenosa extremamente argilosa
Lama (>95 lama)	E-I	Silte
	E-II	Silte levemente argiloso
	E-III	Silte argiloso
	E-IV	Argila siltosa
	E-V	Argila levemente siltosa
	E-VI	Argila

Portanto, os sedimentos são classificados em função de proporções variáveis de lama e areia, possibilitando interpretar regimes hidrodinâmicos. De acordo com Flemming (2000), a identificação de regimes hidrodinâmicos distintos seria possível através do agrupamento das amostras ao longo de bandas alongadas que tenderiam a oscilar radialmente, a partir do vértice da classe “areia” (Figura 2). Esse tipo de distribuição poderia propiciar a identificação de ambientes de sedimentação distintos, favorecendo, segundo o autor, a análise faciológica.

No caso de sedimentos gerados em ambientes subaquosos, para o qual o diagrama foi criado (Flemming, 2000), o aumento da proporção de lama implica ambientes de sedimentação com energia decrescente. No caso de sedimentos gerados por processos subaéreos, como a aplicação do diagrama efetuada neste trabalho, o aumento da proporção de lama implicaria fluxos cada vez mais viscosos. Note-se que o termo lama é aqui utilizado com o mesmo significado que tem para Flemming (2000), fazendo referência à fração fina dos materiais, constituída de silte e argila.

Para facilitar a distinção entre os tipos de sedimentos e as classes texturais referenciadas na Tabela 1, durante a análise dos resultados deste trabalho, sempre que houver referência ao **tipo** de sedimentos, sua nomenclatura aparecerá em itálico e com iniciais maiúsculas, como, por exemplo: *Lama Arenosa*; quando houver referência às **classes** texturais, sua nomenclatura aparecerá em itálico e com iniciais minúsculas,

como, por exemplo: *lama arenosa muito siltosa*.

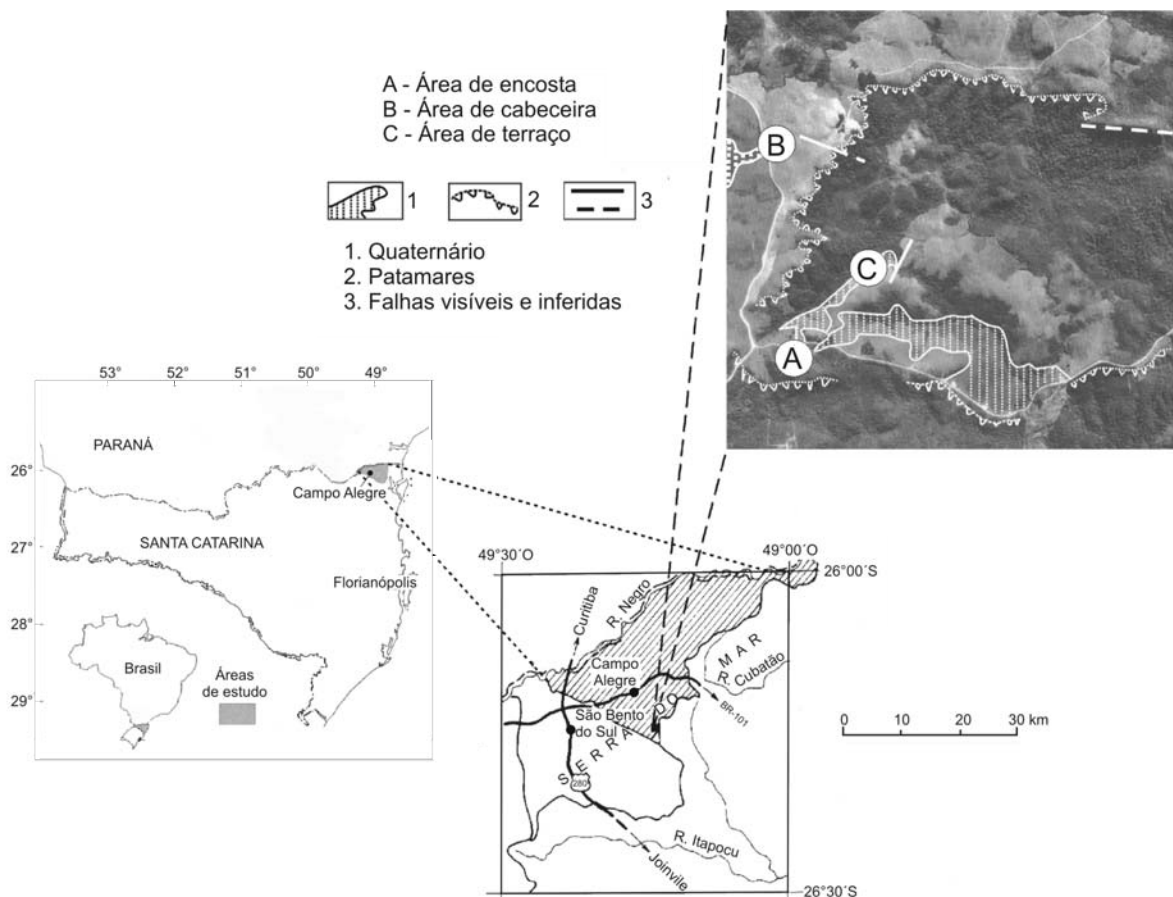
As idades radiométricas aqui citadas foram obtidas na Beta Analytic Inc. (EUA) e no Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA (Piracicaba), para datações pelo carbono 14, e no Laboratório de Vidros e Datações – Labvidros (FATEC-SP, São Paulo), para datações por luminescência opticamente estimulada (L.O.E.).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste artigo são abordados resultados de análises granulométricas realizadas para amostras coletadas em corte de estrada, trincheira e sondagens no município de Campo Alegre. A área é caracterizada por relevo de colinas, com altitudes em torno de 850 a 950 m, sob clima mesotérmico úmido com verões frescos (Trainini, 1974) (Figura 3).

As seções estratigráficas estudadas estão localizadas em diferentes ambientes que podem ser individualizados ao longo de cabeceiras de vale. Como citado anteriormente, as cabeceiras de vale constituem

superfícies geomorfológicas que articulam encostas com calhas fluviais. Esta articulação não se limita apenas a uma solução de continuidade de cunho morfológico e dinâmico, mas envolve, sobretudo, a associação sinérgica de vários mecanismos que interagem em diferentes escalas temporais e espaciais (Oliveira, 1999b). Conseqüentemente, a definição de ambientes de sedimentação específicos ao longo de tais superfícies, de montante para jusante, deve ser prevista, na medida em que diferentes mecanismos de transporte passem a dominar o processo deposicional.



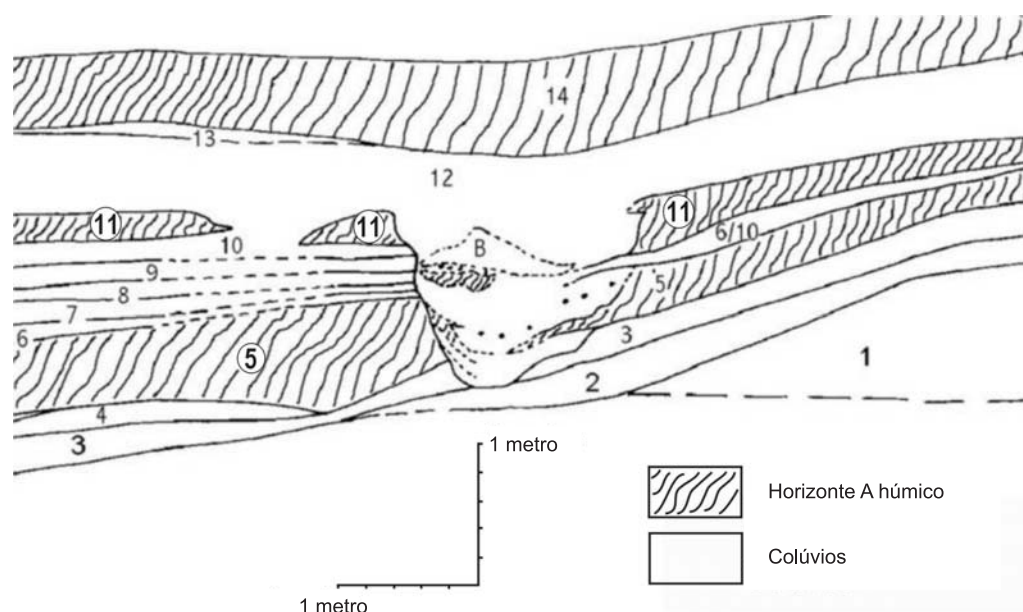
**FIGURA 3.** Localização da área de estudo. Notar no encarte aerofotogramétrico a localização das seções pedostratigráficas analisadas, citadas de acordo com as características do local estudado.

De fato, a transferência de material ao longo dessas superfícies implica a participação de mecanismos que podem gerar depósitos cujas características dependem de fluxos densos de encosta e de fluxos de baixa viscosidade, difusos ou canalizados. Em função destas características, foram selecionadas para este estudo seções estratigráficas representativas de três ambientes distintos, diferenciados arbitrariamente em função de sua localização topográfica no interior de cabeceiras de vale: (a) seção estratigráfica sobre encosta próxima aos divisores de água; (b) seção estratigráfica típica de cabeceira de vale não-canalizado, em posição topográfica intermediária; (c) seção estratigráfica sobre depósitos aluviais finos, a jusante de cabeceira de vale

não-canalizado. Os resultados obtidos para tais seções serão analisados a seguir.

#### ANÁLISE DOS MATERIAIS EM SEÇÃO PEDOESTRATIGRÁFICA PRESERVADA EM ENCOSTA PRÓXIMA DOS DIVISORES DE ÁGUA

A seção pedoestratigráfica em foco está situada na localidade denominada Cerro do Touro e foi levantada em corte de estrada (Figura 3 - “Área A”). É constituída por seqüência de colúvios lenticulares intercalados por paleo-horizontes húmicos datados do final do Pleistoceno (Figura 4). Trata-se de ambiente típico de encosta lateral, a montante de cabeceiras de vale.

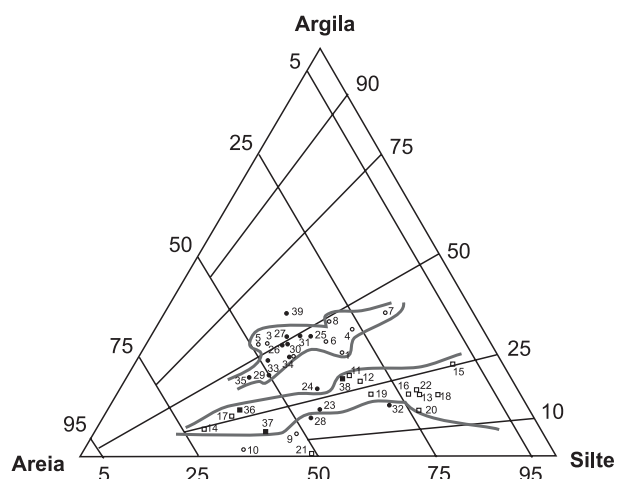


**FIGURA 4.** Esboço de seção pedoestratigráfica na localidade de Cerro do Touro. Os números se referem às unidades identificadas. A idade  $^{14}\text{C}$  do paleossolo “5” é de  $19.130 \pm 110$  a.P. O paleossolo “11” foi datado de  $15.260 \pm 80$  a.P. Segundo Oliveira et al. (2001).

Os resultados granulométricos para esta seção são mostrados na Figura 5. As amostras de camadas colúvias são claramente individualizadas no setor central da Figura 5, ao longo do eixo que corresponde aproximadamente ao teor de 50% de argila. As amostras relacionadas aos horizontes húmicos dos paleossolos se distribuem no setor inferior do diagrama, ao longo de banda delimitada entre 10% e 26% de proporção de argila. A distribuição das amostras no diagrama indica que colúvios e horizontes pedogenéticos se situam em domínios diferentes. A proporção média de cascalho encontrada em tais amostras é da ordem de 4,3%, com valor máximo de 12,38 % (grânulos e seixos) nas camadas colúvias mais densas e valor mínimo de 0,41%

(grânulos) nos paleo-horizontes pedogenéticos superficiais.

De fato, a maioria de amostras relacionadas a camadas colúvias foi classificada como composta de sedimentos do tipo *Lama Arenosa* (30 a 75% lama), variando entre a classe *lama arenosa siltosa* (C-III) e a *lama arenosa argilosa* (C-IV). Em algumas camadas surgem outros tipos de sedimentos como *Lama Levemente Arenosa* na camada 3 (75 a 95% de lama, classe D-III: *lama levemente arenosa siltosa*) e *Areia Lamosa* na camada 9 (25 a 50% lama), classe *areia siltosa* (B-II). A camada colúvia que constitui a unidade 4 da seqüência é formada por sedimentos do tipo *Areia Lamosa* (25 a 50% lama), classe *areia muito siltosa* (B-I). As amostras oriundas dos horizontes



**FIGURA 5.** Distribuição das amostras do Cerro do Touro. Notar distribuição das amostras ao longo de dois domínios distintos (adaptado de Lima, 2001, p. 21). Números no interior do diagrama fazem referência ao número cadastral das amostras analisadas.

húmicos indicam classificação textural cuja tipologia varia de *Areia Lamosa* (25 a 50% lama) a *Lama Levemente Arenosa* (75 a 95% lama). No horizonte pedológico datado de aproximadamente 19 ka. (unidade 5) predomina material do tipo *Lama Levemente Arenosa* (75 a 95% lama), classe *lama levemente arenosa muito siltosa* (D-II). No horizonte pedológico datado de aproximadamente 15 ka. (unidade 11) as amostras analisadas variam entre *Areia Lamosa* (25 a 50% lama), classe *areia siltosa* (B-II) e *Lama Arenosa* (50 a 75% lama), classes *lama arenosa siltosa* (C-III) e *lama arenosa argilosa* (C-IV). A interpretação paleoambiental desta seção pedoestratigráfica, veiculada em outros trabalhos (Oliveira, 1999a; Oliveira et al., 2001), associa a mudança do padrão de sedimentação local, que passa de camadas coluviais lenticulares para estruturas de corte e preenchimento, a mudança paleo-hidrológica. Desta forma, teria havido predominância de fluxos difusos até aproximadamente 15 ka. e passagem para fluxos concentrados a partir deste período, implicando maior aporte hídrico relacionado aos eventos que marcaram, no hemisfério sul, a passagem do Pleistoceno para o Holoceno (Blunier & Brook, 2001). Os paleossolos teriam se desenvolvido em períodos estadiais do final do Pleistoceno, indicando a ocorrência de relativo superávit hídrico mesmo durante o último máximo glacial.

#### **ANÁLISE DOS MATERIAIS DE SEÇÃO PEDOESTRATIGRÁFICA DESENVOLVIDA EM AMBIENTE ALAGADO, TÍPICO DE CABECEIRA DE VALE**

A seção pedoestratigráfica da qual foram coletadas as amostras analisadas neste trabalho foi levantada

no interior de mina de extração de caulim (Figura 3 - “Área B” e Foto 1).



**FOTO 1.** Mina de caulim na qual foi levantada seção estratigráfica. Notar seta que aponta para mancha escura no piso da mina, indicando o topo de turfeira pleistocênica, cujas amostras são analisadas na Figura 6. As linhas tracejadas em branco indicam, respectivamente: (a) topo e base da paleoturfeira pleistocênica, assinalada com o número 1; (b) topo de horizonte pedogenético truncado por erosão, marcada com o número 2. A linha pontilhada em preto, aproximadamente vertical, indica inflexão na parede da mina, modificando a geometria aparente das unidades visíveis. O largo traço preto vertical faz papel de escala aproximada ao nível da parede da seção.

A seção é constituída por seqüência deposicional característica de cabeceira de vale na qual se desenvolveu turfeira, datada do final do Pleistoceno pelo CENA (a idade  $^{14}\text{C}$  do topo da turfeira é de  $49.300 \pm 6.970$  a.P.). A turfeira foi recoberta por várias camadas de colúvio lenticular, bem estratificado, invisíveis na fotografia, indicando vários pulsos de erosão, transporte e sedimentação. Intercalado a esta seqüência coluvial fina ocorre paleossolo, visível no setor esquerdo da fotografia, cuja idade  $^{14}\text{C}$  ainda não foi determinada. Tal paleossolo foi truncado por processos de erosão difusa, deixando registrada superfície erosiva recoberta por depósito residual de areia média a grossa, bem selecionada. Esse depósito de areia foi datado pelo método de luminescência opticamente estimulada (LOE), obtendo-se idade aproximada de  $6.625 \pm 750$  A.P. (Labvidro/FATEC-SP). Quatro metros de colúvios formados por depósitos areno-argilosos, argilo-arenosos e arenosos distribuídos em lentes, cuja geometria global sugere construção de leque aluvial, constituem o final da seqüência deposicional estudada.

As amostras que são analisadas neste trabalho são oriundas da turfeira que se situa na base da seqüência pedoestratigráfica. Essa paleoturfeira preservou conteúdo polínico importante, permitindo a interpretação

de variações ambientais relacionadas a período relativamente mais quente, correlacionável ao estágio isotópico 3, durante a última glaciação (Oliveira et al., 2003b). O material analisado pelos autores sugere a existência, no local, de área alagada, típica de cabeceiras de vale mal drenadas. A distribuição das amostras dessa paleoturfeira no diagrama de Flemming é ilustrada na Figura 6. A proporção global de cascalho encontrada nos materiais analisados é da ordem de 0,034% com valores máximos e mínimos de 0,138% e 0,000%, respectivamente.

A distribuição dos materiais nesta figura demonstra que a tipologia das amostras varia de *Lama Arenosa* (30 a 75% lama) a *Lama* (>95% lama), passando por *Lama Levemente Arenosa* (75-95% lama). No conjunto das amostras, observa-se a existência de dois níveis bem delimitados: um de topo, com material texturalmente mais fino, e um basal, com material mais grosso (Figura 7).

O primeiro nível, mais recente e globalmente mais fino, estende-se do topo da turfeira até aproximadamente 60 cm de profundidade e é constituído por amostras cuja classificação varia de *lama levemente arenosa muito argilosa* (D-V) a *lama levemente arenosa extremamente argilosa* (D-VI). O segundo nível, basal, globalmente mais grosso, separa-se do primeiro por mudança textural abrupta marcada por duas amostras de *argila* (classe E-VI) e é composto

por amostras que se estendem da área de transição até a base da turfeira, a aproximadamente 1 m e 50 cm abaixo do topo. Neste nível, as classes variaram de *lama arenosa argilosa* (C-IV) a *lama levemente arenosa extremamente argilosa* (D-VI). Os materiais mais grossos estão, em geral, associados à base da seqüência, revelando maior incorporação de material parental do manto de alteração caulínítico ao depósito organo-mineral.

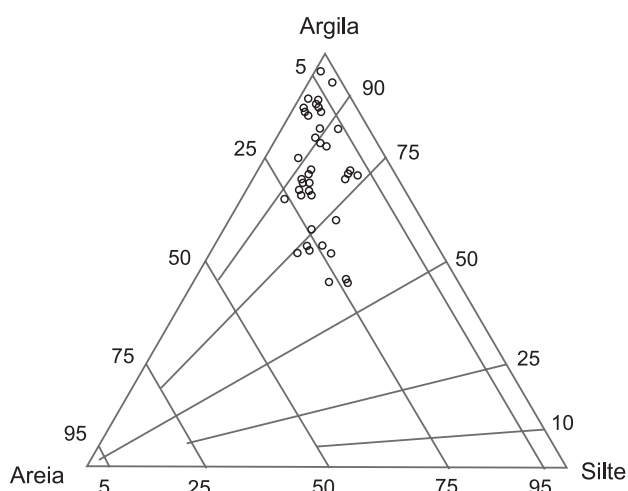


FIGURA 6. Distribuição das amostras da turfeira de seção pedostratigráfica levantada em mina de argila.

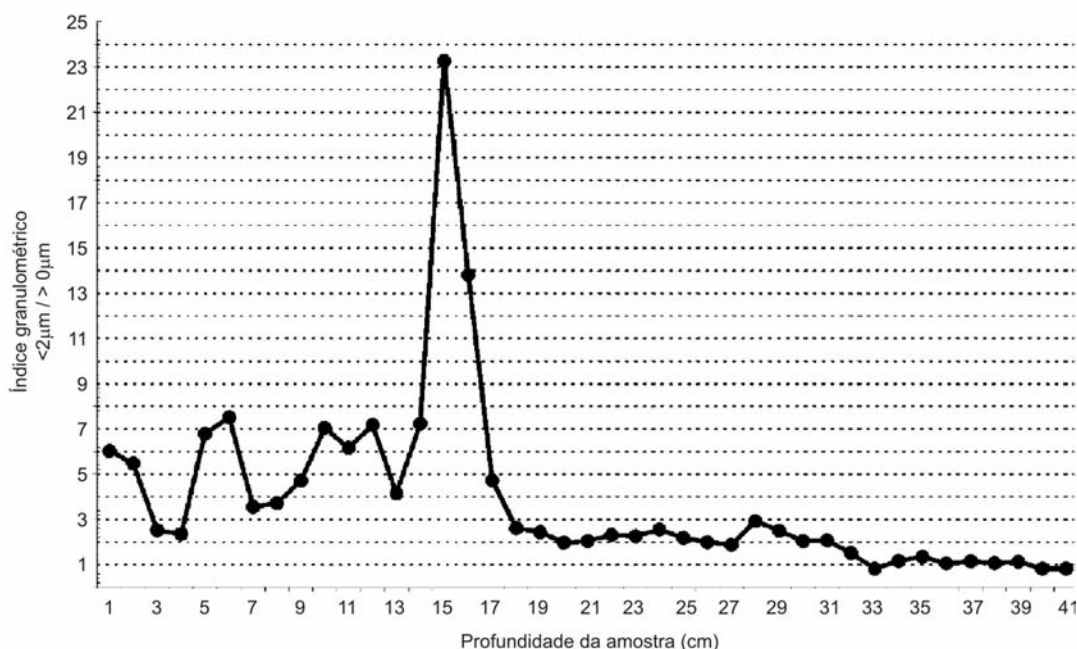


FIGURA 7. Variação do índice granulométrico “partículas menores do que 2 mm / partículas maiores do que 10 mm” (<2 mm / >10 mm) ao longo da paleoturfeira analisada. Notar pico de sedimentação fina em torno de 60 cm de profundidade abaixo do topo da paleoturfeira. Essa tendência granulométrica ocorre 20 cm abaixo de mudança polínica importante, indicando resfriamento do ambiente local e diminuição provável da intensidade dos fluxos superficiais (Oliveira et al., 2003b).



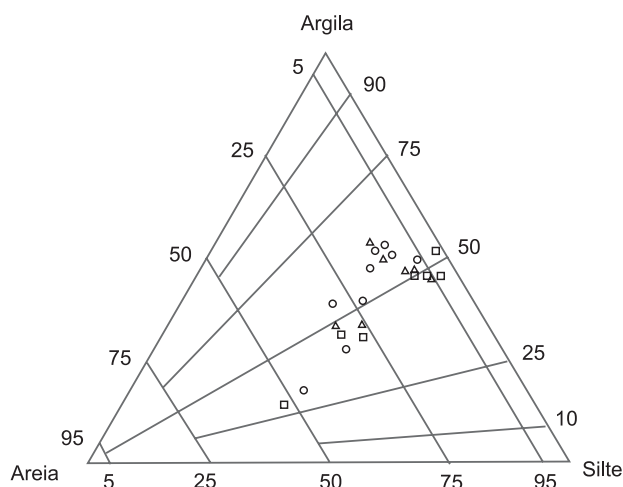
## ANÁLISE DE AMOSTRAS EM TOPOSSEQUÊNCIA SOBRE TERRAÇO ALUVIAL, A JUSANTE DE CABECEIRA DE VALE

As amostras analisadas foram obtidas por trado manual ao longo de topossequências realizadas sobre pequeno terraço fluvial, próximo de cabeceira de vale (Figura 3 – “Área C” e Foto 2).



**FOTO 2.** Vista de rampa-terraço a jusante da cabeceira do Cerro do Touro (ver Figura 3). A seta aponta para a cobertura aluvial na qual foi realizado levantamento preliminar com trado manual.

Trata-se de seqüência de depósitos aluviais finos supostamente formados por mecanismos característicos de fluxos de baixa viscosidade, com maior poder de seleção granulométrica. Os resultados apresentados são preliminares; análises mais detalhadas ainda serão realizadas nessa área. Para este trabalho foram selecionadas amostras de nível turfoso identificado ao longo de três pontos de sondagem distintos. Os resultados são apresentados na Figura 8. A proporção média de grânulos encontrados nessas amostras é de 1,80%,



**FIGURA 8.** Distribuição das amostras aluviais no diagrama de Fleming.

com valores máximos e mínimos de 5,37% e 0,017%, respectivamente.

Os materiais variam do tipo *Areia Lamosa*, classe B-II (*areia siltosa*), a *Lama*, classes E-III e E-IV (respectivamente, *silte argiloso* e *argila siltosa*), passando por *lama arenosa siltosa* (classe C-III), *lama arenosa argilosa* (classe C-IV), *lama levemente arenosa siltosa* (classe D-III) e *lama levemente arenosa argilosa* (classe D-IV), caracterizados por misturas de partículas nas quais predominam sedimentos finos. No detalhe, se analisadas em função da estratigrafia, o que não é realizado neste trabalho, seriam observadas passagens texturais relativamente claras, de acordo com o furo de sondagem analisado. Apesar das variações texturais observadas, nota-se a distribuição clara das amostras analisadas em banda bem delimitada, que se estende aproximadamente ao longo do eixo de 50% de argila, com amostras concentradas nos tipos *Lama Arenosa* e *Lama Levemente Arenosa* (mais de 70% das amostras).

## APLICAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS À ANÁLISE FACIOLÓGICA DE SEDIMENTOS QUATERNÁRIOS EM CABECEIRAS DE VALE

Os resultados apresentados sugerem que as diferentes amostras analisadas podem ser caracterizadas texturalmente, de modo coerente, através da aplicação do diagrama de Fleming. De fato, a observação das Figuras 5, 6 e 8 sugere distribuições granulométricas relativamente bem individualizadas no espaço do diagrama.

A Figura 5 ilustra a aplicabilidade do diagrama à diferenciação de colúvios e de paleo-horizontes pedogenéticos quaternários em ambiente típico de encosta. As 39 amostras de colúvios e de paleossolos se distribuem ao longo de bandas claramente distintas, como previsto por Flemming (2000). As amostras colúvias tendem a se agrupar em classes intermediárias, características de misturas mal selecionadas. De fato, a maioria das amostras colúvias em tal seção (74% das 23 amostras de colúvio) é classificada como do tipo *Lama Arenosa*, classes *lama arenosa siltosa* e *lama arenosa argilosa*. Note-se que as amostras organo-minerais, oriundas de paleo-horizontes húmicos pleistocênicos, são mais siltosas e menos argilosas do que as amostras de origem colúvia. Essa distinção, sobretudo no que concerne ao menor teor de argila, pode ser interpretada como bom indicador da origem pedológica desses horizontes. Trata-se de horizontes superficiais que, durante o processo pedogenético, perderam argila e outras substâncias para os horizontes pedológicos subsuperficiais.

A Figura 6 ilustra a distribuição de amostras oriundas de turfeira Pleistocênica, desenvolvida em

ambiente alagado de cabeceira de vale não-canalizado. O ambiente analisado é típico de áreas topograficamente deprimidas, situadas na transição entre encostas e calhas fluviais, nas quais a principal característica é a formação de zonas de saturação próximas da superfície (Oliveira, 1999b; Oliveira et al., 2001). Nota-se, sobretudo, o agrupamento das amostras ao longo das classes mais finas do diagrama. De fato, 36 (88%) das 41 amostras analisadas nessa seção apresentam teor mínimo de lama (silte e argila) superior a 75%. Essa distribuição das amostras analisadas sugere deposição de material mineral em ambiente de baixa energia, característico do ambiente palustre no qual turfeiras tendem a se desenvolver.

A Figura 8 ilustra a distribuição de amostras oriundas de turfeira desenvolvida sobre sedimentos aluviais ainda não datados. Esses materiais foram provavelmente transportados e depositados sob influência de fluxos de baixa viscosidade, sob energia variável, característicos de calha fluvial, sendo pedogenizados posteriormente em ambiente redutor. As amostras se distribuem no diagrama de Flemming ao longo de banda relativamente larga, abrangendo vários tipos de sedimentos: *Areia Lamosa* (25-50% lama), *Lama Arenosa* (50-75% lama), *Lama Levemente Arenosa* (75-95% lama) e *Lama* (> 95% lama). No entanto, deve-se ressaltar que a maioria das 24 amostras analisadas (87,5%) é classificada como *Lama Arenosa* e *Lama Levemente Arenosa*. O caráter fino que predomina nesses materiais pode ser explicado tanto em função de sua gênese sedimentar, enquanto depósitos de planície de inundação, quanto em função do aporte de material fino relacionado ao desenvolvimento de solo sobre os materiais aluviais.

Tais resultados sugerem que a aplicação do diagrama triangular de Flemming (2000) a coberturas quaternárias situadas em cabeceiras de vale permite a distinção de ambientes de sedimentação caracterizados por regimes hidrodinâmicos variados, favorecendo a análise faciológica. Na Figura 5 pode-se distinguir claramente, em domínios distintos do diagrama, amostras coluviais e de paleo-horizontes pedogenéticos. Trata-se de dois tipos faciológicos identificáveis em encostas remobilizadas por fluxos densos, com baixo poder de seleção granulométrica. A individualização de horizontes superficiais de paleossolos no diagrama é um resultado promissor a ser explorado no futuro. As amostras relacionadas à área de paleocabeceira de vale alagada (ver Figura 6) estão distribuídas em domínio específico do diagrama, característico de sedimentos predominantemente lamosos. A Figura 8 ilustra a distribuição de sedimentos aluviais de granulometria variável ao longo de banda relativamente larga no diagrama de Flemming, indicando variados regimes de fluxo.

## CABECEIRAS DE VALE, CONVERGÊNCIA DE PROCESSOS DEPOSICIONAIS E FÁCIES DE PIEMONTE

De acordo com os ensaios efetuados por Flemming (2000), a distribuição granulométrica de amostras ao longo de bandas distintas constitui o principal critério para a caracterização faciológica de sedimentos. Com efeito, este tipo de distribuição implica que o sedimento tenha sua granulometria limitada pela concentração, ou pela ausência, de determinada fração (areia, silte, ou argila). Tal concentração, ou ausência, constitui o principal fator que determina o grau de seleção de um sedimento, parâmetro granulométrico geralmente utilizado para auxiliar a identificação do agente deposicional. Depósitos de cabeceira, que constituem a chamada fácies de piemonte, não possuem boa seleção granulométrica e são classificados, em geral, como depósitos de leques aluviais (fácies em leque) caracterizados por litologia mal definida, distribuição de frequência polimodal e estratificação indistinta a regular (Medeiros et al., 1971).

Como salientado neste trabalho, devido à convergência de fluxos, os ambientes de cabeceiras de vale podem produzir sedimentos que abrangem vasta gama de processos deposicionais, incluindo todas as transições possíveis entre fluxos gravitacionais e fluxos de baixa viscosidade. Este fato sugere que a caracterização destas áreas como ambientes nos quais se formam apenas leques aluviais não é suficiente. Com efeito, os exemplos analisados individualizam ambientes distintos, de montante para jusante, sugerindo a existência de fácies proximais e distais, cujas características são relativamente mais complexas do que as comumente descritas em ambientes nos quais se formam leques aluviais. As fácies individualizadas podem ser enumeradas como segue:

- a) seção lateral próxima aos divisores de água: predomínio de fluxos gravitacionais, ou fluxos densos, alternados com períodos de estabilidade ambiental e desenvolvimento de horizontes húmicos. Trata-se de fácies coluvial típica, próxima da de leques aluviais. Na área estudada, esta fácies está associada ao desenvolvimento de paleo-horizontes pedogenéticos, com estruturas de corte e preenchimento;
- b) seção em cabeceira de vale alagada: predomínio de fluxos difusos de baixa intensidade, contribuindo para a formação de seqüência deposicional predominantemente lamosa. Trata-se de fácies que poderia ser classificada como palustre;
- c) seção em terraço aluvial: predomínio de fluxos de baixa viscosidade, de intensidade variável, propiciando vasta gama de tipos sedimentológicos. Trata-se de fácies aluvial, provavelmente associada a depósitos de planície de inundação.

## CONCLUSÕES

Os resultados apresentados neste trabalho são promissores. Com o aprofundamento da pesquisa, acredita-se que a metodologia poderá ser adaptada à interpretação paleo-hidrológica de seqüências pedoestratigráficas quaternárias em cabeceiras de vale. De fato, a semelhança dinâmica entre correntes de turbidez e fluxos gravitacionais mais ou menos densos possibilita a aplicação do sistema de classificação granulométrica de Flemming aos ambientes estudados.

A utilização do diagrama de Flemming para a classificação textural de depósitos de cabeceira de vale permite caracterização de ordem hidrodinâmica, identificando sedimentos gerados por fluxos de maior ou menor viscosidade. A possibilidade de adaptação deste diagrama, de modo a permitir a análise de fluxos lamosos que contenham cascalho misturado à matriz, preservando o número de classes hidrodinâmicas originais propostas pelo autor, deve ser vista como desdobramento importante para a classificação hidrodinâmica de depósitos gravitacionais.

Globalmente, esses resultados contribuem para a discussão do problema da caracterização litoestratigráfica de depósitos de transição entre encostas e calhas fluviais, em geral classificados como depósitos de piemonte. De fato, com referência a esse ambiente específico, na literatura predominam estudos que enfatizam a ausência de diferenciação granulométrica entre depósitos coluviais, ou depósitos alúvio-coluviais, o que não foi verificado neste trabalho. Porém, tal contribuição deve ser vista com cautela, pois a diferenciação granulométrica de depósitos de articulação entre encostas e calhas fluviais pode ser apenas peculiar às áreas estudadas.

Por fim, salientamos que a aplicação do diagrama de Flemming à individualização de ambientes de sedimentação em cabeceiras de vale permitiu caracterizar fácies distintas, proximais e distais, de acordo com a localização dos depósitos de montante para jusante ao longo de tais superfícies geomorfológicas.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio nas modalidades de auxílio integrado à pesquisa e bolsa de produtividade. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (UFSC), pelo apoio a dissertações e pelo financiamento de datações radiométricas. Aos bolsistas de Iniciação Científica CNPq e PIBIC/UFSC/CNPq Gláucia Maria dos Santos Silva Ferreira, Rafael Bendo Paulino, William Sant'Ana de Oliveira e Lucia Gomes Faraco, pela colaboração e participação no projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALLEN, J.R.L. **Sedimentary structures: their character and physical basis**. Elsevier, Developments in Sedimentology, 1984, n. 30, v. 1, 593 p. e v. 2, 663 p.
2. BLUNIER, T. & BROOK, E.J. Timing of millennial-scale climate change in Antarctica and Greenland during the last glacial period. **Science**, n. 291, p. 109-112, 2001.
3. COSANDEY, C. & OLIVEIRA, M.A.T. Surfaces saturées, surfaces contributives: localisation e extension dans l'espace du bassin versant. **Hydrological Sciences – Journal of Sciences Hydrologiques**, v. 41, n. 5, p. 751-761, 1996.
4. COUSSOT, P. **Mudflow rheology and dynamics**. Rotterdam: IAHR/AIRH, Monograph, 1997, 255 p.
5. DIETRICH, W.E. & DUNNE, T. The channel head. In: BEVEN, K. & KIRKBY, M.J. (Editors). **Channel network hydrology**. John Willey & Sons, 1993, p. 175-219.
6. FLEMMING, B.W. A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis ternary diagrams. **Continental Shelf Research**, n. 20, p. 1125-1137, 2000.
7. GIANNINI, P.C.F. & RICCOMINI, C. Sedimentos e processos sedimentares. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. (Organizadores), **Decifrando a Terra**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000, p. 167-190.
8. LIMA, G.L. **Caracterização de solos coluviais em área de cabeceira de drenagem; Cerro do Touro, Campo Alegre – SC**. Florianópolis, 2001. 32 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.
9. MEDEIROS, R.A.; SCHALLER, H.; FRIEDMAN, G.M. **Fácies sedimentares. Análise e critérios para o reconhecimento de ambientes deposicionais**. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, Centro de Pesquisas e Desenvolvimento, 1971, 124 p.
10. MEIS, M.R.M. & MACHADO, M.B. A morfologia de rampas e terraços do médio vale do Rio Doce. **Finisterra**, v. 13, n. 26, p. 201-218, 1978.
11. MEIS, M.R.M. & MOURA, J.R.S. Upper Quaternary sedimentation and hillslope evolution: Southeastern Brazilian Plateau. **American Journal of Science**, n. 284, p. 241-254, 1984.
12. MOURA, J.R.S. Geomorfologia do Quaternário. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (Editores), **Geomorfologia, uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, p. 335-364.
13. OLIVEIRA, M.A.T. Erosion disconformities and gully erosion morphology: a three dimensional approach. **Catena**, v. 16, n. 4/5, p. 413-423, 1989.
14. OLIVEIRA, M.A.T. Cabeceiras de drenagem: registros pedoestratigráficos e interpretação paleo-hidrológica. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 7, 1999, Porto Seguro. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 1999 (a), CD-ROM.

15. OLIVEIRA, M.A.T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçoroca. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M.B. (Organizadores). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999 (b), p. 57-99.
16. OLIVEIRA, M.A.T.; CAMARGO, G.; PAISANI, J.C.; CAMARGO FILHO, M. Caracterização paleo-hidrológica de estruturas sedimentares quaternárias através de análises macroscópicas e microscópicas: do registro sedimentar local aos indícios de mudanças globais. **Pesquisas em Geociências**, v. 28, n. 2, p. 183-195, 2001.
17. OLIVEIRA, M.A.T.; BEHLING, H.; PESSENDA, L.C.R. Environmental changes in highland valley head areas during the Late Pleistocene of Santa Catarina State, Southern Brazil. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL QUATERNARY ASSOCIATION, 16, 2003, Reno (Nevada, EUA.). **Abstracts...** Reno: The Desert Research Institute, 2003 (b), p. 84.
18. OLIVEIRA, M.A.T.; LIMA, G.; FERREIRA, G.M.S.S.; PAULINO, R.B.; SANT'ANA, W.O. Aplicação do diagrama de Flemming à classificação de coberturas quaternárias em cabeceiras de vale: Campo Alegre (SC). In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 9, 2003, Recife. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 2003 (a), 5 p.
19. OLIVEIRA, M.A.T. & MEIS, M.R.M. Relações entre geometria do relevo e formas de erosão acelerada, Bananal, São Paulo. **Geociências**, v. 4, n. 1, p. 87-99, 1985.
20. OLIVEIRA, M.A.T. & PEREIRA, K.N. Identificação de solos colúviais em áreas de cabeceira de drenagem: Cerro do Touro, Campo Alegre (SC). **Geosul**, v. 14, n. 27, p. 476-481, 1998.
21. PAISANI, J.C. & OLIVEIRA, M.A.T. Estrutura sedimentar e variação granulométrica de cones aluviais em ambientes de cabeceira de drenagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 7, 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1997, p. 518.
22. PAISANI, J. & OLIVEIRA, M.A.T. Dinâmica da área de contribuição para formação de escoamento superficial saturado – cabeceira de drenagem da Colônia Quero-Quero, Palmeira (PR). **Geociências**, v. 2, n. 18, p. 261-284, 1999.
23. PASSEGA, R. Grain-size representation by CM patterns as a geological tool. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 34, n. 4, p. 830-847, 1964.
24. PEREIRA, K.N. **Contribuição à caracterização paleo-hidrológica de áreas de cabeceiras de drenagem**. Florianópolis, 1999, 44 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina.
25. SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia**. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 1973, 317 p.
26. SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. São Paulo: Editora Edgar Blücher, 2003, 400 p.
27. TRAININI, D.R. **Projeto Campo Alegre/74**, Porto Alegre: Convênio Comissão Nacional de Energia Nuclear / Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 1974, 70 p.