Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Caracterização paleohidrológica de estruturas sedimentares quaternárias através de análises macroscópicas e microscópicas: do registro sedimentar local aos indícios de mudanças globais

Marcelo Accioly Teixeira de Oliveira, Gisele Camargo, Julio César Paisani,

Maurício Camargo Filho

Pesquisas em Geociências, 28 (2): 183-195, maio/ago., 2002.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20293>

Publicado por

Instituto de Geociências

Portal de Periódicos
UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - maio/ago., 2002.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Caracterização paleohidrológica de estruturas sedimentares quaternárias através de análises macroscópicas e microscópicas: do registro sedimentar local aos indícios de mudanças globais

MARCELO ACCIOLY TEIXEIRA DE OLIVEIRA¹, GISELE CAMARGO²,
JULIO CESAR PAISANI² & MAURÍCIO CAMARGO FILHO²

¹ Laboratório de Geodinâmica Superficial; Depto de Geociências, CFH, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade, CEP 88.040-900, Florianópolis, SC, Brasil – maroliv@cfh.ufsc.br

² Programa de Pós-Graduação em Geografia; Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Universitário, Trindade CEP 88.040-900, Florianópolis, SC – Brasil.

(Recebido em 10/01. Aceito para publicação em 05/02)

Abstract - Preliminary results based on macroscopic and microscopic analysis of quaternary sedimentary structures and paleosoils preserved on footslope deposits are presented in this paper. Together with geochronologic estimates for the main pedo-stratigraphic units, the paper suggests an evolutionary pattern for geomorphic surfaces situated at the highlands of the States of Paraná and Santa Catarina, Southern Brazil. The association of that pattern with global environmental changes is postulated. Based on sedimentologic and geomorphologic evidences, paleohydrologic interpretations suggest the predominance of relative wet local climates at the end of the Pleistocene. Indeed, ¹⁴C ages of paleosoils in the study area suggest the development of organic and hydromorphic soils during the coldest periods of isotopic stages 3 and 2. As peat horizons need anaerobic conditions to fully develop, such a result lead us to challenge the predominant role attributed to lower precipitation as a cause of geomorphic and vegetation changes during the Quaternary in the tropics and subtropics. Indeed, together with lower precipitation, lower temperatures and, most important, an excess of precipitation over evaporation should be considered as the same importance. In so far, the indication of waterlogged soils, even during the Last Glacial Maximum, well explain the pattern of evolution of geomorphic surfaces and related pedo-stratigraphic features in the area. Indeed, taking into account the calibrated isotopic curves from Antarctic ice cores for the last 40 ka, we conclude that soil development and colluvial building by diffuse processes prevailed during Stadials, while pulses of erosive incision punctuated Interstadials.

Keywords - sedimentary structures, paleosoils, global changes.

INTRODUÇÃO

Resultados de simulações realizadas por modelos paleo-climatológicos têm levado a comunidade científica internacional a enfatizar a necessidade de programas de pesquisa básica voltados para o estabelecimento do quadro evolutivo de áreas tropicais e subtropicais continentais durante o Quaternário. No centro de pesquisas desta natureza, se encontra a necessidade de definição do padrão paleohidrológico das áreas tropicais e subtropicais e de sua conexão com o padrão verificado nas altas latitudes do Hemisfério Norte.

Interpretações paleohidrológicas em áreas tropicais e subtropicais continentais esbarram principalmente com a raridade e a baixa resolução do registro sedimentar. Somados a esta carência, pode-se ainda citar a dificuldade das pesquisas sobre o Quaternário em demonstrar que dados geomorfológicos e sedimentológicos possam servir como evidências de mudanças globais.

Em 1995, foi iniciada pesquisa no Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina voltada para o estudo hidrológico de cabe-

ceiras de drenagem, unidades do relevo nas quais havia elevada probabilidade de ocorrência de registro sedimentar quaternário. Os principais mecanismos de erosão, transporte e sedimentação nas áreas estudadas foram definidos e grande quantidade de evidências da dinâmica quaternária foi revelada, sobretudo sob a forma de estruturas sedimentares e de paleosolos bem preservados (Oliveira, 1999b).

Neste artigo, são apresentados resultados parciais oriundos da análise macroscópica e microscópica de algumas estruturas sedimentares quaternárias e atuais. A aplicação dessas análises à interpretação paleohidrológica é discutida. Como reflexão introdutória, é apresentada discussão sobre as relações entre mudanças climáticas globais e a interpretação paleohidrológica do registro sedimentar continental tropical e subtropical.

MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS E O PAPEL DAS FAIXAS TROPICAIS E SUBTROPICAIS

As mudanças climáticas dos últimos 2,6 milhões de anos, tal como registrado por exemplo nas

curvas isotópicas derivadas de sedimentos marinhos e de geleiras (Aharon & Chappell, 1986; Jouzel *et al.*, 1993), colocam em evidência padrões cíclicos de Milankovich associados a ciclos de retroalimentação complexos entre as diferentes esferas que compõem nosso planeta (litosfera, biosfera, atmosfera, hidrosfera e criosfera). A dinâmica da criosfera, através de ciclos de expansão e de retração de geleiras, sobretudo no Hemisfério Norte, tem sido apontada como fator preponderante das mudanças climáticas do Quaternário (Hughes, 1992; Dansgaard *et al.*, 1993; Van Andel, 1994; Alley, 1998; Maslin *et al.*, 1998). Neste processo, atribui-se às correntes de circulação termohalina o papel de realizar a teleconexão entre os dois Hemisférios, passando o sinal orbital para o conjunto do planeta (por exemplo, Broecker, 1997). No entanto, estudos recentes indicam claramente a necessidade de considerar a influência das faixas tropicais e sub-tropicais na reverberação, ou mesmo indução, de processos geradores de mudanças climáticas globais (Broecker, 1995; Bard *et al.*, 1997; Clement *et al.*, 1999; Henderson & Slowey, 2000). Com efeito, apesar de não serem consideradas como latitudes sensíveis aos efeitos previstos por Milankovich, os trópicos constituem, paradoxalmente, as principais fontes de distribuição de energia térmica para o planeta (Mélières *et al.*, 1997).

Modelos paleo-climatológicos necessitam de dados que favoreçam o estabelecimento das relações entre as modificações verificadas na criosfera, sobretudo nas altas latitudes do Hemisfério Norte, e as verificadas nas áreas tropicais e sub-tropicais (Broecker, 1995; Hostetler & Clark, 2000). No entanto, a relação entre modificações da criosfera e a dinâmica dos trópicos durante o Quaternário permanece nebulosa, fazendo com que equipes de paleoclimatólogos e de modeladores entendam que uma das prioridades para os próximos anos reside na intensificação de trabalhos que busquem evidências de mudanças globais na faixa intertropical.

De fato, alguns estudos têm enfatizado a peculiaridade da dinâmica de áreas tropicais e sub-tropicais continentais durante as grandes oscilações climáticas do Quaternário (Kadomura, 1995; Knox, 1995; Thomas & Thorp, 1996). Grandes lacunas persistem quanto a magnitude das mudanças nos trópicos e mesmo quanto a importância da contribuição de áreas tropicais e sub-tropicais para as mudanças globais (Knox, 1993; Henderson & Slowey, 2000). Neste processo, as áreas tropicais e sub-tropicais continentais são consi-

deradas importantes para o estabelecimento do quadro geral das mudanças climáticas do Quaternário (Barnola & Jolly, 2000). Ora, evidências paleohidrológicas recentes apontam para sinais por vezes contraditórios nos continentes, com mudanças climáticas que tendem para a diminuição de precipitações em algumas áreas e aumento de precipitações em outras, durante os períodos mais frios (Thomas *et al.*, 2001).

Boa parte das dúvidas que persistem sobre a dinâmica de áreas continentais tropicais e subtropicais se deve à qualidade do registro sedimentar, caracterizado por lacunas recorrentes. A necessidade de estabelecimento de novos indicadores paleoambientais (“*proxy data*”) que possam complementar estudos de composição polínica, também tem sido enfatizada. Alguns trabalhos têm tentado superar essa limitação através da utilização auxiliar de índices granulométricos como “*proxy data*”, em seqüências deposicionais contínuas, sobretudo em depósitos eólicos e fluviais (por exemplo, Vandenberg & Nugteren, 2001).

O problema da resolução do registro sedimentar e do estabelecimento de novos “*proxy data*” é complexo e necessita ser explorado cuidadosamente, no seio de longos programas que busquem gerar modelos evolutivos relativamente independentes de modelos desenvolvidos para o Hemisfério Norte. De fato, às lacunas sobre a evolução de áreas continentais tropicais e subtropicais durante o Quaternário vêm se somar análises do registro do teor de poeira e de gases de efeito estufa no gelo da Groelândia e da Antártida, que apontam para a falta de fase entre o Hemisfério Norte e o Hemisfério Sul durante o último ciclo glacial (GRIP, 1993; Sowers & Bender, 1995; Bard *et al.*, 1997; Blunier *et al.*, 1998). Esses registros tornam clara a necessidade de cautela ao se associar a cronologia de mudanças ambientais verificadas em áreas tropicais e subtropicais continentais do Hemisfério Sul às principais mudanças climáticas verificadas no Hemisfério Norte (por exemplo, Thomas *et al.*, 2001).

Problemas como os da ausência de registro sedimentar em áreas continentais durante o Último Máximo Glacial (Iriondo & Latrubesse, 1994; Kadomura, 1995; Ledru *et al.*, 1998); como o do sentido contraditório de mudanças paleohidrológicas entre áreas tropicais e sub-tropicais distintas (Kadomura, 1995; Latrubesse & Franzinelli, 1998), ou como o da resposta da vegetação tropical e subtropical às mudanças climáticas globais (Oliveira, 1996; Behling, 1997; Colinvaux, 2000) devem ser tratados através de aborda-

gens que privilegiem a cautela na aplicação para áreas tropicais e subtropicais do Hemisfério Sul de eventos reconhecidos no Hemisfério Norte, como no caso, por exemplo, da oscilação do Younger Dryas que aparenta estar fora de fase nos registros da Antártida (Blunier *et al.*, 1997; Blunier *et al.*, 1998).

No entanto, deve-se ressaltar que a principal limitação de estudos desenvolvidos nas áreas continentais tropicais e subtropicais é devida à raridade e à baixa resolução do registro sedimentar. Com efeito, a ausência de registro sedimentar fiável em áreas continentais tropicais e subtropicais, particularmente no que diz respeito aos depósitos coluviais e aluviais, assim como a dificuldade dos estudos sobre o Quaternário de demonstrar o papel de dados geomorfológicos e sedimentológicos como evidências de mudanças globais, foram recentemente apontados como as principais causas para que estudos sobre o Quaternário Continental Tropical tenham sido considerados com certo ceticismo nas últimas décadas (Thomas *et al.*, 2001).

De fato, a dinâmica de bacias hidrográficas é complexa, dependendo de limiares internos (Baker, 1974; Begin & Schumm, 1984; Suguio *et al.*, 1989; Latrubesse & Franzinelli, 1993; Veldkamp & Tebbens, 2001) que podem gerar registros diferenciados sob o efeito de eventos hidrológicos. O registro sedimentar nesses ambientes é modificado de forma recorrente por processos hidrológicos cuja fonte, frequência e intensidade são variáveis (Schumm, 1977; Oliveira, 1999a), fazendo com que mesmo em áreas com elevada retenção de sedimentos os depósitos sejam truncados ou apresentem lacunas deposicionais importantes. Sobre tudo, a descrição de fácies sedimentares de detalhe na literatura sobre o Quaternário não tem recebido a devida atenção e tem sido explorada apenas recentemente (Stevaux & Santos, 1998; Bertrand & Texier, 1999; Fard, 2001). Com efeito, o reconhecimento de ambientes deposicionais e, sobretudo, o reconhecimento dos mecanismos hidrológicos que caracterizam os referidos ambientes, constitui valioso indicador paleohidrológico a ser explorado (Allen, 1984).

INTERPRETAÇÃO DE INDÍCIOS PALEOHIDROLÓGICOS NO REGISTRO CONTINENTAL TROPICAL E SUBTROPICAL

O estudo de processos hidrológicos com potencial para produzir registro sedimentar em bacias hidrográficas tem sido implementado nas últimas décadas por diferentes abordagens (Schumm, 1977;

Allen, 1984; Anderson & Burt, 1990; Dietrich & Dunne, 1993; Pye, 1994). Novas áreas de interesse surgiram, através da definição de setores das bacias hidrográficas nos quais teriam sido detectados maior potencial para a preservação do registro de mudanças hidrológicas pretéritas. Durante a década de 90, foi dada ênfase particular às cabeceiras de drenagem como pontos privilegiados nos quais tanto os principais processos hidrológicos atuais como os depósitos sedimentares quaternários poderiam ser estudados (Dietrich & Dunne, 1993; Oliveira, 1999a). De fato, como essas unidades do relevo realizam a articulação entre processos de encosta e processos de calha fluvial, o seu estudo possibilitaria a análise das fontes de aporte sedimentar para a calha fluvial, de seus ritmos e dinâmica (Meis & Machado, 1978; Meis & Moura, 1984; Oliveira, 1997; Oliveira, 2000). Como hipótese, em áreas onde o registro sedimentar seria suficientemente preservado nesses ambientes, os processos de transformação das alteritas em colúvios e em aluviões poderiam ser abordados, desenvolvendo cadeia de causas e efeitos relacionados ao aporte sedimentar para a rede hidrográfica (Faulkner, 1995). Esses processos implicam, necessariamente, a degradação de paleossolos e de alteritas pela erosão; a remoção e transporte de material, e a deposição de colúvios e alúvios que podem se organizar em hierarquia variável, de acordo com as características da área estudada (Oliveira, 1999a), fornecendo, nesta ordem, evidências paleohidrológicas (Blum & Törnqvist, 2000).

Obviamente, abordagem desta natureza é eminentemente geomorfológica. Infelizmente, apesar de vastas evidências disponíveis, a maioria das áreas estudadas no Brasil não revelou ainda indícios geomorfológicos e sedimentológicos suficientemente claros de modificação das superfícies topográficas por processos passíveis de serem associados a mudanças globais (Servant *et al.*, 1989; Fernandes & Dietrich, 1996; Suguio *et al.*, 1996; Turck *et al.*, 1997). Apesar de registros importantes, prevalecem lacunas que apontam para o carácter local das mudanças observadas; carácter que talvez constitua mesmo o padrão da dinâmica de mudanças climáticas em áreas continentais tropicais e sub-tropicais (Coelho Netto *et al.*, 1991; Kadamura, 1995; Turck *et al.*, 1997; Stevaux & Santos, 1998). Além disto, a interpretação do registro sedimentar pode ser influenciada pelo padrão de amostragem aplicado sobre uma determinada área, haja vista o carácter diferenciado que aluviões podem assumir em função de sua localização no interior de bacias hidrográficas

(Veldkamp & Tebbens, 2001). De fato, setores como as zonas de aporte, por exemplo, situados nas cabeceiras de drenagem (Latrubesse & Franzinelli, 1993), podem conter tanto registro sedimentar quanto registro de feições erosivas, exigindo interpretações paleohidrológicas fundamentadas tanto em evidências deposicionais quanto no reconhecimento de eventos erosivos.

O reconhecimento de eventos erosivos relacionados a possíveis mudanças globais ou locais têm sido divulgado por pesquisas realizadas no Brasil, colocando em evidência a atuação de processos erosivos e deposicionais na articulação entre encostas e calhas fluviais (Meis & Moura, 1984; Servant *et al.*, 1989; Turck *et al.*, 1997; Oliveira, 1999a). No entanto, persistem dúvidas importantes no que diz respeito às taxas de erosão e de sedimentação; à natureza paleohidrológica das mudanças registradas, e à escala temporal e espacial dos eventos registrados. Igualmente, devido à natureza descontínua do registro e à falta de indícios sedimentológicos claros, interpretações paleohidrológicas dos processos de articulação entre encostas e calhas fluviais são muito raras na literatura (Thomas & Thorp, 1996; Bertran & Texier, 1999; Nemec & Kazanci, 1999; Bertran & Jomelli, 2000).

Além das limitações inerentes ao registro sedimentar, deve-se ainda ressaltar que a base conceitual de interpretações paleohidrológicas dificilmente pode prescindir de considerações atualísticas; o que coloca em evidência interpretações dos processos hidrológicos que podem abraçar todas as gamas de intensidade e de frequência entre os extremos do uniformitarismo e do catastrofismo (Hugget, 1990; Thomas *et al.*, 2001). Nesse contexto, o conhecimento detalhado da dinâmica climática atual de áreas tropicais e subtropicais tende a ser considerado como o fundamento básico para interpretações paleohidrológicas (Thomas & Thorp, 1996).

INTERPRETAÇÃO DE ESTRUTURAS SEDIMENTARES ATUAIS E QUATERNÁRIAS

Entre 1995 e 1998, foi desenvolvido na Universidade Federal de Santa Catarina programa de pesquisa voltado para o estudo da dinâmica de processos erosivos em áreas de cabeceira de drenagem, nos Estados de Santa Catarina e do Paraná. Este programa tinha como objetivo inicial testar modelo evolutivo de erosão sobre cabeceiras de drenagem (Oliveira, 1989; Oliveira, 1997). No desenvolvimento do programa, ao

se caracterizar as coberturas superficiais afetadas por processos erosivos nas áreas estudadas, revelou-se rico registro sedimentar quaternário que foi paralelamente explorado (Camargo & Oliveira, 1998; Paisani & Oliveira, 1998; Oliveira & Pereira, 1998). Os principais resultados deste programa apontam para:

a) a influência da Oscilação do Atlântico Sul El Niño sobre as taxas de erosão e de sedimentação atuais (Oliveira *et al.*, 2000a; Oliveira *et al.*, 2000b; Oliveira, 2001);

b) a influência de eventos pluviométricos pontuais, durante períodos de atuação do El Niño, sobre a gênese de estruturas sedimentares criadas por processos de erosão e de sedimentação atuais (Oliveira, 2001);

c) a associação entre estruturas sedimentares atuais e históricas e processos hidrológicos de articulação entre encosta e calha fluvial (Oliveira, 2000; Oliveira *et al.*, 2001a; Oliveira *et al.*, 2001b);

d) a natureza colúvio/aluvial das cabeceiras de drenagem estudadas, com ocorrência frequente de vários horizontes orgânicos soterrados e intercalados com camadas minerais que contêm, em relação ao que se conhece do registro continental brasileiro, rara quantidade de estruturas sedimentares quaternárias bem preservadas (Camargo & Oliveira, 1998; Paisani & Oliveira, 1998; Oliveira & Pereira, 1998).

Paralelamente aos resultados hidrológicos e sedimentológicos obtidos (Paisani & Oliveira, 1999; Oliveira, 2001, por exemplo), a análise de estruturas sedimentares atuais possibilitou a interpretação atualística preliminar das estruturas quaternárias (Oliveira, 1999b; Oliveira, 2000; Oliveira *et al.*, 2001b).

A partir de 1999, devido ao elevado potencial paleoambiental do registro sedimentar, estes estudos preliminares foram redirecionados para programa de pesquisa voltado para a interpretação paleohidrológica das áreas estudadas. Datações preliminares ¹⁴C e TL revelaram forte correlação cronológica entre áreas que vão de Timbé do Sul, no Sul do Estado de Santa Catarina, ao Segundo Planalto Paranaense, passando por Florianópolis e pelo Planalto de Campo Alegre (Norte SC), ao longo de aproximadamente 450 quilômetros de margem continental (Fig. 1). Esta correlação não chega a surpreender, haja vista o padrão atual de distribuição de eventos climáticos capazes de gerar registro sedimentar na área estudada (Pellerin *et al.*, 2000; Pellerin *et al.*, no prelo; Grimm *et al.*, 2000).

O registro sedimentar quaternário das áreas estudadas, rico em estruturas sedimentares e em paleossolos bem preservados nas encostas e nos vales

Figura 1 - Localização das áreas de estudo

fluviais tributários, tem sido explorado através de abordagem macroscópica, microscópica e micromorfológica (Camargo & Oliveira, 1998; Paisani & Oliveira, 1998; Oliveira & Pereira, 1998; Oliveira, 2000; Oliveira *et al.*, 2001a; Oliveira *et al.*, 2001b; Paisani, 2001a; Paisani, submetido) e tem permitido analisar mudanças paleohidrológicas que ocorreram nas áreas estudadas, pelo menos para o período entre o Último Pleno Glacial e o Holoceno. Nas áreas costeiras, onde ambientes de articulação entre dunas e encostas e entre vales e escarpas de serra são estudados, o registro cronológico retrocede a idades correlacionáveis ao Último Interglacial.

As principais estruturas sedimentares, atuais e quaternárias, nos ambientes de articulação estudados lembram estruturas comuns a aluviões e mesmo a sedimentos de outros ambientes deposicionais. Apesar da semelhança, essas estruturas são pouco desenvolvidas geometricamente e, devido ao ambiente de encosta, são com frequência transformadas por processos pós-deposicionais. Devido a natureza dos processos de erosão, transporte e deposição em ambiente de encosta, esses depósitos são classificados como coluviais e não como aluviais. De fato, sua gênese não aparenta ter implicado fluxos de água canalizada de tipo fluvial., característicos de depósitos aluviais (Baulig, 1956; Guerra & Guerra, 1997; Allaby & Allaby, 1999; Parker, 1997). Predominam estruturas de corte e preenchimento e estruturas de detalhe do tipo, camadas em U; estratos massivos; camadas agradacionais de pobre separação; boudinage com separação de boudins; estratificação finamente inter-

camada; estratificação flaser; estrutura em chama; estruturas convolutas; estrutura brechosa; estratificação cruzada epsilon; estratificação cruzada em caia; disconformidades erosivas etc (Fig. 2).

Algumas destas estruturas serão analisadas a seguir, sobretudo com o objetivo de apontar para similaridades entre estruturas atuais e estruturas quaternárias no ambiente estudado.

Figura 2 - Estruturas de corte e preenchimento em sessão pedoestratigráfica no município de Campo Alegre (SC). Notar depósitos com estrutura convoluta no interior do material de preenchimento da incisão erosiva. Trata-se de pedaços de horizonte orgânico carreados para a incisão. Os horizontes orgânicos caracterizados pelos números de unidade 5 e 11 foram datados, respectivamente, de ^{14}C 19.130 $\pm$ 110 anos A.P. e ^{14}C 15.260 $\pm$ 80 anos A.P. As unidades 1 a 4; 6 a 10 e 12 e 13, são lentes de colúvio siltico-arenoso com proporções variadas de alterorelêqueas. A letra "B" no centro do material de preenchimento da paleo-incisão erosiva indica zona de bioturbação associada a atividade de térmitas.

Estruturas atuais

A seguir, será feita a análise microscópica de amostra coletada em pequeno cone construído na desembocadura de voçoroca em localidade do município de Palmeira (PR) (Fig. 3 e Fig. 4).

Nota-se lâminas sub-paralelas milimétricas de areia fina a muito fina, intercaladas com lâminas relativamente contínuas de silte e colóides (principalmente hidróxidos) (Fig. 4). Ressalte-se que a lâmina rica em silte e colóides (lâmina IV, Fig. 4), que em termos de pedofábrica constituiria a fração plásmica da amostra, apresenta no topo grãos de areia que aparentam ter penetrado no material coloidal. Exemplo claro desta disposição é ilustrado pela zona A da fotomicrografia, na qual observa-se esqueleto de grãos de areia média esféricos, subarredondados a bem arredondados, e de grãos de areia fina esféricos, subangulares a arredondados, mergulhados em plasma opaco.

A lâmina V (Fig. 4) apresenta estrutura de base (padrão de distribuição relativa entre esqueleto, poros e plasma), segundo a terminologia micromorfológica (Stoops & Jungerius *apud* Fitzpatrick, 1984), que varia de mônica no topo (só esqueleto arenoso) à

Figura 3 - Sessão em corte transversal a cone depositado na desembocadura de voçoroca no município de Palmeira (PR). Abaixo de "C" observa-se leito alongado mais claro, de geometria côncava para o topo, desenvolvendo boudinage com separação de boudin. Ao lado esquerdo de "A" pode-se notar fina estratificação cruzada epsilon, sugerindo agração prográdante no interior de incisão erosiva. Em "B", e acima, nota-se duas unidades de estratificação cruzada em calha, separadas por lâminas de silte e argila.

Figura 4 - Fotomicrografia de material descrito macroscopicamente como lâmina de silte e argila. Notar lâminas estratificadas de areia, silte e hidróxidos. Ver texto para explicação.

quitônica na base da unidade (grãos envolvidos por películas de plasma). A transição entre as lâminas IV e V, designada de zona A, apresenta estrutura de base porfírica (grãos cimentados por plasma), desprovida de porosidade aparente.

A litofábrica sugere deformação plástica da unidade IV sob sobrecarga da unidade V, causando penetração de grãos na unidade IV e conseqüente expulsão de água e plasma da unidade IV para o espaço poroso da unidade V. Em detalhe, observa-se neste nível da unidade V, de padrão quitônico, concentração plásmica (com predomínio aparente de ferrans), assumindo a forma de cutãs de acumulação microlaminados, criados por infiltração, após a compactação e expulsão de água e colóides ao longo do plano laminar saturado em água da unidade IV (Fig. 5).

A descrição macroscópica das estruturas sedimentares associadas a estas amostras corrobora a tese de formação pene-contemporânea dos cutãs de

Figura 5 - Detalhe da fotomicrografia anterior. As setas apontam para áreas de concentração plásmica, na forma de cutãs de acumulação microlaminados, com predomínio aparente de ferrans. Notar amplo espaço vazio (espaço poroso) de forma elipsóide acima dos cutãs de acumulação, indicando preenchimento parcial do espaço poroso. A estrutura sugere acumulação relativamente rápida, seja de carácter singenético, como sugerido neste trabalho, seja de carácter pós-deposicional, através da translocação de hidróxidos ao longo do perfil.

acumulação, pois a unidade na qual verifica-se a microestratificação das figuras 4 e 5, foi descrita macroscopicamente como banda siltosa ondulante com desenvolvimento de estruturas convolutas (Fig. 6).

O estudo dos processos formadores das estruturas em foco demonstra o papel de fluxos subaquosos efêmeros relacionados à formação de escoamento superficial caracterizado para a área por Paisani e Oliveira (1999). Este tipo de escoamento está associado a eventos chuvosos que podem ser mais ou menos efetivos para construção de depósito sedimentar. A duração e a intensidade do evento chuvoso são primordiais para a gênese da estrutura sedimentar. Com efeito, este tipo de fluxo se caracteriza por oscilações das taxas de escoamento que dependem de variações de intensidade da chuva (Oliveira, 2001).

Figura 6 - Estruturas convolutas em unidade estratigráfica correlacionada com a unidade analisada microscopicamente na figura 5. Notar, em volta de antiformal com eixo orientado na direção provável do fluxo (para a esquerda da fotografia), halo de estrutura de escape de água, sugerindo a atuação de sobrecarga diferencial, ou de corrente de arraste declive abaixo.

As variações de microfábrica aqui estudadas ilustram o resultado da dinâmica acima e apontam para acumulação localizada e rápida de depósito microestratificado relacionado a oscilações das taxas de escoamento superficial sobre encosta. Lâminas arenosas devem ter se depositado após picos de escoamento, associados a pulsos de maior intensidade de precipitação. Já as lâminas finas, ricas em silte e colóides, ilustrariam sedimentação associada à fase final do escoamento. Neste estágio o fluxo tende a estagnar, formando poças localizadas que desenvolvem depósito de lama rico em hidróxidos (Oliveira, 1999a).

Estruturas quaternárias

A análise microscópica a seguir ilustra padrão identificado em seqüência pedo-estratigráfica localizada no município de Lapa (PR) (Fig. 7, Fig. 8 e Fig. 9).

A fotomicrografia (Fig. 8) expõe lâminas bem individualizadas, alternadas, de areia média a grossa de esfericidade e arredondamento variáveis e de areia fina a muito fina subesférica e arredondada.

Figura 7 - Sessão estratigráfica no município de Lapa (PR), na qual observa-se solo hidromórfico datado de ^{14}C >41.490 A.P. intercalado com lâminas arenosas. A estratigrafia sugere seqüência de fases de interrupção do processo de gleização, através de erosão e subsequente deposição de leitos arenosos. Os quadrados negros indicam a localização de amostras analisadas nas fotomicrografias da figura 8 (quadrado inferior) e da figura 9 (quadrado superior).

Figura 8 - Fotomicrografia de lâminas de areia média a grossa e de areia fina a muito fina intercaladas em perfil de solo hidromórfico. Notar glóbula "Gb" com orientação do eixo maior paralela à estratificação geral. Ver texto para explicação.

No canto superior direito da imagem são visíveis grãos maiores, grânulos e areia muito grossa, envoltos por argilas e hidróxidos isóticos. Macroscopicamente, a estrutura sedimentar é caracterizada por material arenoso finamente estratificado ao longo de superfície de truncamento de paleosolo hidromórfico do tipo glei. Este paleosolo possui idade ^{14}C estimada como de >41.490 A.P. (Beta Analytic Inc.) (Fig. 7). As areias finamente estratificadas foram datadas por termoluminescência como de aproximadamente 38.000 $\pm$ 2.700 A.P. (LVD / FATEC-SP).

O conjunto de lâminas estratificadas é interpretado, a exemplo da micro-estrutura analisada anteriormente, como resultante da deposição em final de fluxo de escoamento superficial ao longo da superfície de truncamento. Observa-se sucessivamente (Fig. 8):

a) lâmina de areia média com estrutura de base quitônica a porfírica (A). Os grãos de areia estão envolvidos por argilas pigmentadas por hidróxidos, à esquerda da foto, e separados por matriz de areia fina, silte e argila, à direita. A unidade pode ter sido depositada após pico de escoamento superficial.

b) segue-se lâmina heterométrica (B), com predomínio de areia fina a muito fina em matriz siltosa, envolvendo grãos de areia média, sobretudo no setor central esquerdo da fotografia. A estrutura de base é porfírica. A unidade aparenta estar relacionada a fluxo denso, rico em carga sólida, no qual grãos de diferente calibre se depositaram sem orientação aparente. O material é bastante poroso e apresenta na porção central da fotomicrografia glóbula argilosa pigmentada por hidróxidos (I). Predomina plasma argiloso rico em hidróxidos.

c) segue lâmina de areia média a grossa, angular a sub-arredondada com imbricação dos eixos maiores paralela à laminação (C). A estrutura de base varia

de quitônica a porfírica. Em relação ao depósito anterior, devido à melhor seleção, aparenta ter se formado durante pico de escoamento.

d) material heterométrico sobre o qual novo paleosolo hidromórfico se desenvolveu (D). Observa-se no setor direito superior da fotomicrografia material com esqueleto predominante de grânulos e areia muito grossa imerso em matriz siltico-argilosa, rica em hidróxidos, opticamente isotrópicos, de padrão porfírico.

Embora as estruturas analisadas possam ter sido formadas durante único evento chuvoso, o truncamento do paleosolo hidromórfico, seguido da deposição das lâminas de areia, pode estar associado a oscilações paleohidrológicas importantes na área de estudo. Com efeito, a análise do paleosolo inferior sugere o predomínio de ambiente redutor. O desenvolvimento deste solo hidromórfico foi interrompido por pulsos de erosão e deposição localizada, seguidos de retorno à condição de saturação do solo (Camargo, 1998). Este paleosolo hidromórfico foi posteriormente coberto por colúvio no qual desenvolveu-se nos espaços porosos cutãs de acumulação microlaminadas (ferri-argilãs) bem desenvolvidos e disseminados em todos os poros (Fig. 9).

Os cutãs de acumulação apresentam anisotropismo óptico, típico de argilo-minerais orientados diferencialmente, desenvolvendo extinção ondulante (I) e são pigmentados por hidróxidos. Note-se no alto da microfotografia segregação de gibbsita a partir do plasma de hidróxidos (II). A formação de gibbsita aponta para o desenvolvimento polifásico do cutã de acumulação através de evolução pedogenética que sugere: a) translocação e adição de argilo-minerais e hidróxidos, provavelmente oriundos de solução rica em compostos ferrosos; b) lixiviação de ferro e fixação

de alumínio, através de segregação de gibbsita decorrente de melhoria provável da drenagem dos solos.

As variações de microfábrica nos depósitos quaternários selecionados para análise neste artigo, revelam a existência de pulsos de erosão e de sedimentação intercalados com o desenvolvimento de solos, indicando transformação significativa da microfábrica por processos pedogenéticos. Em si, esta transformação, ou evolução pedogenética, atesta sua antigüidade relativa.

Registro sedimentar local e indícios de mudanças globais

As estruturas sedimentares quaternárias de detalhe aqui analisadas derivam de sessões sistemáticas realizadas no municípios de Lapa (PR) e Campo Alegre (SC) (Camargo & Oliveira, 1998; Oliveira & Pereira, 1998; Oliveira, 1999b). Com efeito, as seqüências quaternárias estudadas revelaram camadas minerais intercaladas com horizontes orgânicos e horizontes minerais húmicos, cujas idades ^{14}C indicam desenvolvimento de paleosolos em torno de > 41.490 A.P.; de 20.830 ± 830 e 19.130 ± 110 A.P., e de 15.260 ± 80 A.P. (Camargo, 1998; Camargo & Oliveira, 1998; Oliveira, 1998; Oliveira, 1999b; Oliveira, 2000). Datação por termoluminescência de nível de areia intercalado em horizonte hidromórfico de mais de ^{14}C 41.000 A.P. fornece idade estimada de 38.000 ± 2.700 A.P. Essas estimativas geocronológicas, pelo valor de face, seriam correlacionáveis na área de estudos a eventos globais que caracterizaram os estágios isotópicos 3 e 2 (Aharon & Chappell, 1986).

Essas seqüências pedo-estratigráficas trazem o registro de estruturas sedimentares geradas durante fases de modificação das superfícies topográficas por processos superficiais (Fig. 2). Essas estruturas apresentam características similares a estruturas sedimentares criadas hoje sob influência do escoamento superficial difuso e concentrado e podem estar associadas a eventos pluviométricos capazes de gerar feições erosivas e estruturas sedimentares que foram preservadas por milhares de anos. Os horizontes orgânicos e organo-minerais soterrados na área de estudo são espessos e podem ser classificados como horizontes turfosos, ou húmicos, de acordo com a área estudada. Horizontes minerais hidromórficos do tipo glei ocorrem sobretudo nos perfis mais antigos. Análises preliminares (Camargo, 1998; Oliveira, 1999b) indicam a predominância de processos associados à deficiência de drenagem tanto sobre

Figura 9 - Fotomicrografia de cutã de acumulação microlaminada (ferriargilã) com segregação de gibbsita pós-deposicional. Ver texto para explicação.

o desenvolvimento de solos quanto sobre a evolução geomorfológica das cabeceiras estudadas (Oliveira & Camargo, 1996; Camargo, 1998; Oliveira & Pereira, 1998). As datações obtidas para estes materiais coincidem com os seguintes eventos de caráter global:

a) > 41 ka e 38 ka: interestádios do início do estágio isotópico 3, com temperaturas globais, em tese, mais baixas do que as atuais;

b) 20 ka e 19 ka: último máximo glacial., durante estágio isotópico 2;

c) 15 ka: eventos relacionados à transição do estágio isotópico 2 para o estágio 1 (Holoceno).

Devido a falta de fase dos períodos de aquecimento e de resfriamento abrupto registrados no gelo da Groenlândia e da Antártida (Bard *et al.*, 1997; Blunier *et al.*, 1998), estas idades ^{14}C seriam correlacionáveis aos seguintes eventos nos dois hemisférios:

a) de 41 a 35 ka: no hemisfério Norte ocorrem oscilações relacionadas aos eventos de Dansgaard-Oeschger de número 8, 7 e 6, caracterizados por resfriamento abrupto. Como demonstrado pelo registro isotópico (d^{18}O) do gelo da Antártida, estes estádios do hemisfério Norte correspondem a breves oscilações interestaduais no hemisfério Sul, implicando pulsos abruptos de aquecimento (Sowers & Bender, 1995);

b) em torno de 20 ka: máximo glacial no hemisfério Norte e no hemisfério Sul.

c) em torno de 15 ka: início do interestádio Bolling no hemisfério Norte e final do aquecimento que inicia a chamada *Inversão Antártica* no hemisfério Sul, caracterizada por tendência ao resfriamento após período de aquecimento franco iniciado por volta de 17.5 ka (Blunier *et al.*, 1997).

As idades acima relacionadas correspondem a períodos durante os quais houve desenvolvimento de solos orgânicos e hidromórficos nas áreas de planalto estudadas. Ora, os eventos globais e hemisféricos relacionados a estes períodos apontam para condições paleohidrológicas condicionadas por temperaturas mais baixas do que as atuais. Em tese, como em geral tem sido aceito na literatura geomorfológica, estes períodos de resfriamento global implicariam déficit hídrico para as regiões tropicais e subtropicais. Entretanto, deve-se ressaltar que regime hidrológico caracterizado por déficit hídrico importante seria incompatível com o desenvolvimento de solos orgânicos e hidromórficos que, ao contrário, necessitam de solos saturados em água durante vários meses ao ano. Essas condições de drenagem do solo exigem ambientes úmidos, com baixas taxas de evaporação e temperatu-

ras relativamente baixas, favorecendo a lenta decomposição da matéria orgânica em condições anaeróbicas (Shotik, 1992).

Conseqüentemente, o desenvolvimento destes paleosolos nas áreas estudadas sugere que mesmo nos períodos mais frios do Quaternário, havia umidade atmosférica propícia ao desenvolvimento de horizontes orgânicos e hidromórficos. Esta característica paleohidrológica seria o principal fator indutor da dinâmica de desenvolvimento alternado de solos, de camadas coluviais e de estruturas sedimentares de detalhe em ambiente de encosta, na área de estudos.

Desta forma, seqüências pedo-estratigráficas, indicando passagem de Interestádios para Estádios, durante resfriamento, apresentariam registro sedimentar caracterizado por camadas coluviais lenticulares paralelas, depositadas por mecanismos difusos, sobre as quais se formariam solos turfosos e hidromórficos. Seqüências indicando passagem de Estádios para Interestádios, durante aquecimento, gerariam registro caracterizado por camadas e horizontes pedológicos truncados por incisões erosivas derivadas do escoamento concentrado (Oliveira, 2000). Conseqüentemente, as seqüências estudadas (Camargo, 1998; Camargo & Oliveira, 1998; Oliveira & Pereira, 1998; Oliveira, 1999b) apontam para a seguinte ordem de evolução paleohidrológica:

– Seqüência no Segundo Planalto Paranaense (Fig. 7):

No início do estágio isotópico 3 haveria ainda precipitação suficiente para o desenvolvimento de processo pedológico de gleização. Na área de estudo, o solo hidromórfico foi truncado por pelo menos 3 episódios de erosão seguidos de deposição localizada de finas lâminas lenticulares de areia com padrão estrutural característico de transporte por escoamento superficial, como discutido anteriormente. No final de cada episódio houve retorno ao processo de formação de solo hidromórfico. Esta seqüência foi soterrada por camadas paralelas lenticulares de colúvios, características de transporte de sedimentos por mecanismos difusos. Desenvolveu-se sobre estes colúvios paleosolo com horizonte húmico de idade ^{14}C de 20.830 ± 830 A.P., correlacionável ao último máximo glacial. Após este período, várias camadas coluviais foram truncadas por estruturas de corte e preenchimento características de escoamento superficial concentrado, de idade ainda não determinada para a área.

– Sequência no Planalto de Campo Alegre (SC) (Fig. 2):

A cronologia estabelecida para a sequência inicia-se durante o último máximo glacial (apesar da ocorrência no mesmo local de dois horizontes orgânicos soterrados, ainda não datados, estratigraficamente mais antigos). Durante período correlacionável ao último máximo glacial (^{14}C 19.130 ± 110 A.P.) desenvolveu-se na área, sobre camadas coluviais lenticulares paralelas, características de processos difusos, horizonte orgânico turfoso. Este horizonte foi novamente coberto por camadas coluviais paralelas, sobre as quais novo horizonte orgânico se desenvolveu a aproximadamente ^{14}C 15.260 ± 80 A.P. Este horizonte foi truncado por sulcos e ravinas, preenchidas por material coluvial que enterrou ainda vasto setor da encosta estudada (Oliveira & Pereira, 1998; Oliveira, 1999b; Oliveira, 2000).

A interpretação paleohidrológica do registro quaternário aqui apresentada sugere, portanto, padrão evolutivo que dependeria da tendência ao resfriamento ou ao aquecimento da atmosfera sobre o Sul do Brasil, segundo o qual poderia ter havido:

a) Tendência ao resfriamento: redução de precipitações; baixa evaporação; manutenção de cobertura vegetal ainda não determinada para a área; saturação do solo; decomposição lenta da matéria orgânica; gleização; erosão e transporte por escoamento difuso.

b) Tendência ao aquecimento: aumento de precipitações ainda sob temperaturas mais baixas do que as atuais; formação de solos turfosos; erosão por escoamento concentrado. A franca tendência ao aquecimento no final do estágio isotópico 2 aparenta ter gerado incidência de ravinas e voçorocas através do escoamento superficial concentrado.

CONCLUSÕES

Os resultados acima apontam para indícios paleohidrológicos obtidos exclusivamente através de dados geomorfológicos e sedimentológicos que, associados à geocronologia, permitem a identificação de padrões de evolução das superfícies geomorfológicas em função de mudanças ambientais de caráter aparentemente global.

Tratando-se de resultados preliminares, deve-se salientar que as conclusões e hipóteses aqui avançadas necessitam ser aprofundadas. Entretanto, a abordagem adotada revelou-se promissora. Com efeito, o reconhecimento de ambientes deposicionais e dos

mecanismos hidrológicos que os caracterizam constitui valioso indicador paleohidrológico que merece ser explorado em estudos sobre o Quaternário continental tropical e subtropical. De fato, a caracterização de superfícies geomorfológicas com elevada probabilidade de conter registro sedimentar permitiu o estudo de unidades do relevo nas quais os processos de transformação das alteritas em colúvios e em aluviões puderam ser abordados, desenvolvendo cadeia de causas e efeitos relacionada ao aporte sedimentar para a rede hidrográfica. Desta forma, a degradação de paleossolos e de alteritas pela erosão; a remoção e o transporte de material, e a deposição de colúvios e de aluviões que podem se organizar em hierarquia variável, forneceram evidências paleohidrológicas.

A interpretação paleohidrológica das evidências aqui exploradas aponta para condições climáticas no final do Pleistoceno que implicam manutenção de regime hídrico propício ao desenvolvimento de solos hidromórficos e de horizontes orgânicos. Essas condições requerem o armazenamento de água subterrânea e, sobretudo, a formação de zonas de saturação próximas da superfície. Condições paleohidrológicas desta ordem aparentam ser incompatíveis com quadro paleoambiental caracterizado por importante déficit hídrico; condição com frequência aventada para as fases frias do Quaternário nas zonas tropicais e subtropicais continentais. De fato, os resultados aqui apresentados levam ao questionamento do papel preponderante atribuído às precipitações enquanto fator de mudanças paleoambientais. Com efeito, a diminuição da temperatura e das taxas de evaporação, favorecendo a manutenção de clima local relativamente úmido, talvez tenha sido igualmente importante para explicar a modificação das superfícies geomorfológicas e a evolução da composição vegetal durante o Quaternário nas áreas estudadas.

Como salientado anteriormente, esta conclusão levou à formulação de hipótese que associa a evolução das superfícies geomorfológicas aos ciclos globais de Estádios e de Interestádios que caracterizaram o final do Pleistoceno. Estes ciclos, doravante de evolução geomorfológica, teriam sido originados por oscilações climáticas que não requerem, necessariamente, o desenvolvimento de longas estações secas durante os períodos mais frios do Quaternário. Ao contrário, a manutenção de lençóis de água próximos da superfície parece ter sido uma das condições ambientais dominantes e teria constituído o principal fator da dinâmica de modificação da topografia no período ana-

lisado. Esta disponibilidade hídrica explicaria períodos de dissecação e transporte pelo escoamento superficial concentrado que seriam correlacionáveis aos pulsos interestaduais que parecem ter caracterizado, no hemisfério Sul, os eventos de Dansgaard-Oeschger.

Para que a hipótese aqui formulada possa ser testada, a relação entre ciclos climáticos e modificações do relevo precisa ser melhor calibrada, sobretudo através da obtenção de informações que permitam a caracterização do sinal paleoclimático das faixas tropicais e subtropicais do Hemisfério Sul durante períodos de mudanças climáticas globais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aharon, P. & Chappell, J. 1986. Oxygen isotope sea-level changes and the temperature history of a coral reef environment in New Guinea over the last 10^5 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **56**: 337 – 352.
- Allaby, A. & Allaby, M. 1999. *Dictionary of earth sciences*. Oxford, London, 619 p.
- Allen, J.R.L. 1984. *Developments in sedimentology. Sedimentary Structures: their character and physical basis*, Elsevier, 593p.
- Alley, B.R. 1998. Icing the North Atlantic. *Nature*, **392**: 335-337.
- Anderson, M.G. & Burt, T.P. 1990. Process studies in hillslope hydrology: an overview. In: *Process studies in hillslope hydrology*. M.G. Anderson & T.P. Burt (ed.), John Wiley e Sons, London, p. 1-8.
- Baker, V.R. 1974. Paleohydraulic interpretation of Quaternary alluvium near Golden, Colorado. *Quaternary Research*, **4**: 94-112.
- Bard, E.; Rostek, F. & Sonzogni, C. 1997. Interhemispheric synchrony of the last deglaciation inferred from alkenone palaeothermometry. *Nature*, **385**: 707-710.
- Barnola, J. M. & Jolly, D. 2000. Cycle global du carbone, océan, biosphère et climat. In: Jouzel, J.; Bard, E. & France-Lanord, Ch (Eds.) *Prospective. Paléoclimatologie, Paléoenvironnement*. Colloque de Garchy, Décembre 1998. Rapport de Synthèse, CNRS/INSU, 2000, pp. 46-56.
- Baulig, H. 1956. *Vocabulaire franco-anglo-allemand de géomorphologie*. Le Belles Lettres, Paris, 230 p.
- Begin, Z.B. & Schumm, S.A. 1984. Gradational thresholds and landforms singularity : significance for Quaternary studies. *Quaternary Research*, **21**: 267-274.
- Behling, H. 1997. Late Quaternary vegetation, climate and fire history of the Araucaria forest and campos region from Serra Campos Gerais, Paraná State (South Brazil). *Review of Palaeobotany and Palynology*, **97**: 109-121.
- Bertran, P. & Texier, J. P. 1999. Facies and microfacies of slope deposits. *Catena*, **35**: 99-121.
- Bertran, P. & Jomelli, V. 2000. Post-glacial colluvium in western Norway: depositional processes, facies and palaeoclimatic record. *Sedimentology*, **47**: 1053-1068.
- Blum, M.D. & Törnqvist, T.E. 2000. Fluvial responses to climate and sea-level change: a review and look forward. *Sedimentology*, **47**: 2-48.
- Blunier, T.; Schwander, I.; Stocker, T.F.; Dallenbach, A.; Indermuhle, A.; Tschumi, J.; Chappellaz, I.; Raynaud, D. & Barnola, J.M. 1997. Timing of the Antarctic atmospheric CO₂ increase with respect to the Younger Dryas event. *Geophysical Research Letters*, **24**: 2683-2686.
- Blunier, T.; Chappellaz, I.; Schwander, I.; Dallenbach, A.; Stauffer, B.; Stocker, T.F.; Raynaud, D.; Jouzel, I.; Clausen, H.B.; Hammer, C.U. & Johnsen, S.I. 1998. Asynchrony of Antarctica and Greenland climate during the last glacial. *Nature*, **394**: 734-739.
- Broecker, W.S. 1995. Cooling the tropics. *Nature*, **376**: 212-213.
- Broecker, W.S. 1997. Thermohaline circulation, the Achilles heel of our climate system: will man-made CO₂ upset the current balance? *Science*, **278**: 1582-1588.
- Camargo, G. 1998. *Processos de erosão no Centro e Sul do Segundo Planalto paranaense: evolução de encostas e influência da erosão subterrânea na expansão de voçorocas*. Florianópolis. 210 p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina.
- Camargo, G. & Oliveira, M.A.T. 1998. Análise tridimensional de volumes de solo e evolução de encosta em área afetada por erosão em voçorocas e em túneis no Sul do Segundo Planalto Paranaense, *Revista GEOSUL*, **14**(27): 430-436.
- Clement, A.C.; Seager, R. & Cane, M.A. 1999. Orbital controls on the El Niño/Southern Oscillation and the tropical climate. *Paleoceanography*, **14**(4): 441-456.
- Coelho Netto A.L.; Fernandes, N.F.; Oliveira M.A.T.; Dietrich, W.E.; Montgomery, D.R.; Davis, J.C.; Proctor, I.; Vogel, J. & Southon, J. 1991. Ciclos de agradação no médio vale do rio Paraíba do Sul: datações absolutas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., São Paulo. *Anais...* São Paulo, SBG. p. 33-34.
- Colinvaux, P.A.; Oliveira, P.E. de & Bush, M.A. 2000. Amazonian and neotropical plant communities on glacial time-scales: the failure of the aridity and refuge hypotheses. *Quaternary Science Reviews*, **19**: 141-169.
- Dansgaard, W.; Johnsen, S.J.; Clausen, H.B.; Dahl-Jehnsen, D.; Gundestrup, N.S.; Hammer, C.U.; Hvidberg, C.S.; Steffensen, J.P.; Sveinbjörnsdóttir, A.E.; Jouzel, J.J. & Bond, G. 1993. Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, **364**: 218-220.
- Dietrich, W.E. & Dunne, T. 1993. The channel head. In: Beven, K. e Kirkby, M.J. (eds): *Channel Network Hydrology*, John Wiley & Sons Ltd, p. 175-219.
- Fard, A.M. 2001. Recognition of abrupt climate changes in clastic sedimentary environments: an introduction. *Global and Planetary Change*, **28**: 9-12.
- Faulkner, H. 1995. Gully erosion associated with the expansion of unterraced almond cultivation in the coastal Sierra de Lujar, S. Spain, *Land Degradation and Rehabilitation*, **6**: 179-200.
- Fernandes, N.F. & Dietrich, W.E. 1996. Modeling hillslope evolution under cyclic climatic oscillations: the time required to steady-state. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**: 157-162.
- Fitzpatrick, E. A. 1984. *Micromorphology of Soils*. Nova York: Chapman and Hall, 433p.
- Grimm, A.M.; Barros, V.R. & Doyle, M.E. 2000. Climate variability in Southern South America associated with El Niño and La Niña events. *Journal of Climate*, **13**: 35-58.
- GRIP Members 1993. Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. *Nature*, **364**: 203-207.
- Guerra, A.T. & Guerra, A.J.T. 1997. *Novo dicionário geológico-geomorfológico*. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 648 p.
- Henderson, G.M. & Slowey, N.C. 2000. Evidence from U-Th dating against Northern Hemisphere forcing of the penultimate deglaciation. *Nature*, **404**: 61-66.
- Hostetler, S.W. & Clark, P.U. 2000. Tropical climate at the Last Glacial Maximum inferred from glacier mass-balance modeling. *Science*, **290**: 1747-1750.
- Hugget, R. 1990. Catastrophism. *Systems of Earth History*. Edward Arnold, London, 246 p.
- Hughes, T. 1992. Abrupt climate change related to unstable ice-sheet dynamics: toward a new paradigm. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* (Global Planetary Change Section), **97**: 203-234.
- Iriondo, M. & Latrubesse, E.M. 1994. A probable scenario for a dry climate in central Amazonia during the late Quaternary. *Quaternary International*, **21**: 121-128.
- Jouzel, J.; Barkov, N.I.; Barnola, J.M.; Bender, M.; Chappellaz, J.; Genthon,

- C.; Kotlyakov, V.M.; Lipenkov, V.; Lorius, C.; Petit, J.R.; Raynaud, D.; Raisbeck, G.; Ritz, C.; Sowers, T.; Stievenard, M.; Yiou, F. & Yiou, P. 1993. Extending the Vostok ice-core record of palaeoclimate to the penultimate glacial period. *Nature*, **364**: 407-412.
- Kadomura, H. 1995. Palaeoecological and palaeohydrological changes in the humid tropics during the last 20 000 years, with reference to equatorial Africa. In: Gregory, K.J.; Starkel, L. & Baker, V.R. (eds.). *Global Continental Palaeohydrology*. Chichester, John Wiley. p. 177-202.
- Knox, J.C. 1993. Large increases in flood magnitude in response to modest changes in climate. *Nature*, **361**: 430-432.
- Knox, J. C. 1995. Fluvial systems since 200 000 years BP. In: Gregory, K.J.; Starkel, L. & Baker, V.R. (eds.), *Global Continental Palaeohydrology*. Chichester, John Wiley. p. 87-108.
- Latrubesse, E.M. & Franzinelli, E. 1993. Rios da Amazônia. Reconstrução das condições hidrológicas do passado. *Ciência Hoje*, **16**(93): 40-43.
- Latrubesse, E.M. & Franzinelli, E. 1998. Late Quaternary alluvial sedimentation in the upper Rio Negro Basin, Amazonia, Brazil: palaeohydrological implications. In: Benito, G.; Baker, V.R. & Gregory, K.J. (eds.) *Palaeohydrology and Environmental Change*. Chichester, John Wiley. p. 259-271.
- Ledru, M.P.; Bertaux, J.; Sifeddine, A. & Suguio, K. 1998. Absence of Last Glacial Maximum records in lowland tropical forests. *Quaternary Research*, **49**: 233-237.
- Maslin, M.A.; Li, X.S.; Loutre, M. F. & Berger, A. 1998. The contribution of orbital forcing to the progressive intensification of Northern hemisphere glaciation. *Quaternary Science Reviews*, **17**: 411-426.
- Meis, M.R.M. & Machado, M.B. 1978. A morfologia de rampas e terraços do médio Vale do rio Doce. *Finisterra*, **13**(6): 201-218.
- Meis M.R.M. & Moura J.R.S. 1984. Upper Quaternary Sedimentation and Hillslope Evolution: Southeastern Brazilian Plateau. *American Journal of Science*, **284**: 241-254.
- Mélières, M.A.; Rossignol-strick, M. & Malaizé, B. 1997. Low latitude insolation at the origin of the $\delta^{18}\text{O}$ variations of the atmospheric oxygen. *Geophysical Research Letters*, **24**: 1235-1238.
- Nemec, W. & Kazanci, N. 1999. Quaternary colluvium in west-central Anatolia: sedimentary facies and palaeoclimatic significance. *Sedimentology*, **46**: 139-170.
- Oliveira, M.A.T. 1989. Erosion disconformities and gully morphology: a three-dimensional approach. *CATENA*, **16**: 413-23.
- Oliveira, M.A.T. 1997. Towards the integration of subsurface flow and overland flow in gully head extension: issues from a conceptual model for gully erosion evolution. *South African Journal of Geography*, **2**(79): 120-128.
- Oliveira, M.A.T. 1999a. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: Guerra, A.J.T.; Silva, A.S. & Botelho, R.G.M. (eds.) *Erosão e Conservação dos Solos no Brasil*, Rio de Janeiro, Bertrand Brasil. p. 57-99.
- Oliveira, M.A.T. 1999b. Cabeceiras de drenagem: registros pedoestratigráficos e interpretação paleohidrológica. In: Congresso da ABEQUA, 7., 1999, Porto Seguro, *Anais...* Porto Seguro, ABEQUA, viiabequa_icp005.pdf
- Oliveira, M.A.T. 2000. Past and present gully erosion rates on Southern Brazilian valley-heads: paleo-hydrologic interpretation of slope channel linkages. In: GLOBAL CHANGE MEETING: LINKAGE OF HILLSLOPE EROSION TO SEDIMENT TRANSPORT AND STORAGE IN RIVER AND FLOODPLAIN SYSTEMS, 2000, Almeria, Espanha. *Abstracts and Field Guide...* Almeria, p.21.
- Oliveira, M.A.T. 2001. "Adhesion flow" and regressive gully-head expansion in Southern Brazil: field experiment results. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM SOIL EROSION RESEARCH FOR THE 21ST CENTURY, 2001, Honolulu, Hawaii, *Proceedings...* Honolulu, ASAE, p. 603-606.
- Oliveira, M.A.T. & Pereira, K.N. 1998. Identificação de Solos Colúviais em Áreas de Cabeceira de Drenagem: Cerro do Touro, Campo Alegre (SC). *Revista GEOSUL*, **14**(27): 476-481.
- Oliveira, M. A. T.; Paisani, J. C. & Camargo, G. 2000a – Gully head erosion rates on field experiments during E.N.S.O. periods: study case examples from Southern Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GULLY EROSION UNDER GLOBAL CHANGE, 2000, Leuven, Bélgica, *Abstracts...* Leuven, Universidade Católica de Leuven, p.52
- Oliveira, M. A. T.; Paisani, J. C. & Camargo, G. 2000b. Estimativa de expansão de voçorocas à partir de experimentos de campo durante oscilação El Niño/La Niña, de 1995 a 1998 no Sul do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 3., 2000, Campinas. *Anais...* Campinas, UGB, p. 190-191.
- Oliveira, M. A. T.; Camargo, G.; Paisani J. C. & Camargo Filho, M. 2001a. Erosão e sedimentação atual em cabeceiras de drenagem: interpretação paleohidrológica de conexões entre encostas e canais. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 8., 2001, Imbé. *Boletim de Resumos...* Imbé, ABEQUA, p. 271-273.
- Oliveira, M. A. T.; Paisani, J. C.; Camargo, G. & Camargo Filho, M. 2001b. Análise macro e microscópica de estruturas sedimentares atuais e pretéritas: base para interpretação paleohidrológica de depósitos de baixa encosta. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 8., 2001, Imbé, *Boletim de Resumos...* Imbé, ABEQUA, p. 273-275.
- Oliveira, P.E. 1996. Glacial cooling and forest disequilibrium in Western Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **68**: 129-138.
- Paisani, J. C. 2001. Estruturas de dissipação: considerações de uma revisão conceitual. In: Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, 8., 2001, Imbé (RS), *Boletim de Resumos...* Imbé, ABEQUA, p. 50-51.
- Paisani, J. C. Estruturas de dissipação: uma revisão conceitual. *Pesquisas em Geociências* (Volume Especial do VIII ABEQUA), UFRGS, Porto Alegre. (Submetido).
- Paisani, J. C. & Oliveira, M. A. T. 1998. Identificação de Paleossolos em Áreas de Cabeceira de Drenagem: O Caso da Colônia Quero-Quero, Palmeira (PR). *Revista GEOSUL*, **14** (27): 470-475.
- Paisani, J. & Oliveira, M. A. T. 1999. Dinâmica da área de contribuição para formação de escoamento superficial saturado – cabeceira de drenagem da Colônia Quero-Quero, Palmeira (PR). *Revista Geociências – UNESP*, **18** (2): 261-284.
- Parker, S.P. 1997. *Dictionary of earth sciences*. London, Macgraw-hill, 468 p.
- Pellerin, J.; Oliveira, M. A. T.; Scheibe, L. F.; Buss, M. D. B. & Herrmann, M. L. P. 2000. Risques Naturels en Santa Catarina - Brésil Subtropical. In: COLLOQUE GÉOMORPHOLOGIE ET RISQUES NATURELS, 2000, Lille, *Resumés...* Lille.
- Pellerin, J.; Oliveira, M.A.T.; Scheibe, L.F.; Buss, M.D. B. & Herrmann, M.L.P. Les crues et laves torrentielles catastrophiques du 23 décembre 1955 dans l'État de Santa Catarina (Brésil subtropical). *Géomorphologie: relief, processus, environnement*, **1**: 51-60 (no prelo).
- Pontelli, M. E. & Pellerin, J. 1998. Estratigrafia relativa dos depósitos de leques aluviais nas bacias hidrográficas dos Rios Rocinha e Amola Faca: Timbé do Sul (SC). *Revista GEOSUL*, **27**: 457-461.
- Pontelli, M. E.; Pellerin, J. & Paisani, J. C. 2001. Cartografia de riscos de enxurradas de diferentes magnitudes em ambiente de leques aluviais: proposta metodológica com base no Sul do Estado de Santa Catarina, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 8., 2001, Imbé. *Boletim de Resumos...* Imbé, ABEQUA, p. 276-277.
- Pye, K. (Ed.) 1994. *Sediment transport and depositional processes*. Blackwell Scientific Publications, 397 p.
- Schumm, S.A. 1977. *The fluvial system*. Chichester, Wiley. p. 336.
- Servant, M.; Soubiès, F.; Suguio, K.; Turcq, B. & Fournier, M. 1989. *Alluvial fans in Southeastern Brazil as an evidence for early Holocene dry climate period*. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GLOBAL CHANGES IN SOUTH AMERICA DURING THE QUATERNARY, 1989, São Paulo. Special Publication n.1: 75-77.

- Shotyk, W. 1992. Organic soils. In: Martini, I.P. & Chesworth, W. (ed.). **Weathering, Soils and Paleosoils**. Developments in Earth Surface Processes 2. Amsterdam, Elsevier. p. 203-224.
- Sowers, T. & Bender, M. 1995. Climate records covering the last deglaciation. **Science**, **269**: 210-214.
- Suguio, K.; Turcq, B.; Servant, M.; Soubiès, F. & Fournier, M. 1989. Holocene fluvial deposits in Southeastern Brazil: chronology and paleohydrological implications. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GLOBAL CHANGES IN SOUTH AMERICA DURING THE QUATERNARY, 1989, São Paulo. **Special Publication n.1**: 70-73.
- Suguio, K.; Turcq, B. & Cordeiro, R.C. 1996. On the paleoclimates of the last 60 ky in the Eastern Amazon. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, **68**: 101-107.
- Stevaux, J. C. & Santos, M. L. 1998. Palaeohydrological changes in the Upper Paraná River, Brazil, during the late Quaternary: a facies approach. In: Benito, G.; Baker, V.R. & Gregory, K.J. (ed.). **Palaeohydrology and Environmental Change**. Chichester, John Wiley. p. 273-285.
- Thomas, M. F. & Thorp, M. B. 1996. The response of geomorphic systems to climate and hydrological change during the Late Glacial and early Holocene in the humid and sub-humid tropics. In: Branson, J.; Brown, A. G. & Gregory, K. J. (ed.). **Global Continental Changes: the Context of Palaeohydrology**, p. 139-153 (Geological Society Special Publication n. 115).
- Thomas, M. F.; Nott, J. & Price, D. M. 2001. Late Quaternary sedimentation in the humid tropics: a review with new data from NE Queensland, Australia. **Geomorphology**, **39**: 53-68.
- Turck, B.; Pressinotti, M. N. & Martin, L. 1997. Paleohydrology and paleoclimate of the past 33,000 years at the Tamanduá river, Central Brazil. **Quaternary Research**, **47**: 284-294.
- Van Andel, T. A. 1992. **New views on an old planet**. Cambridge, Cambridge University Press, 439 p.
- Vandenberghe, J. & Nugteren, G. 2001. Rapid climatic changes recorded in loess successions. **Global and Planetary Change**, **28**: 1-9.
- Veldkamp, A. & Tebbens, L. A. 2001. Registration of abrupt climate changes within fluvial systems: insights from numerical modelling experiments. **Global and Planetary Change**, **28**: 129-144.