

Evolução de Vertentes em Meio Tropical Úmido: avaliação e mapeamento de limiares

Antonio Carlos Colangelo

USP - Universidade de São Paulo
Departamento de Geografia - Lab. Sensor. Remoto
05.508-900 - São Paulo - S.P.
accolang@usp.br

Abstract. In humid tropics, where slopes have very strong gradients, conspicuous mass movements have been reported by concerned literature, and its relationships with some variables and its thresholds are presented. In this paper we discuss some results with respect to evaluation and mapping the hazard areas. Both laboratorial and field tests are very important in this approach. In the field, apparent cohesion and apparent angle of internal friction are recorded by means of the soil sheargraph apparatus. Combining this results with the Atterberg limits and morphological mapping, was possible to make a detailed mapping with respect to the risk of mass movement in two little catchment areas near "São Luis do Paraitinga", in the "Planalto Atlântico", São Paulo State.

Keywords: Mass Movement, Slope Stability Analysis, Slope Stability Mapping, Mechanical Parameters.

Introdução

Integrar resultados de cartografia geomorfológica de detalhe com ensaios provenientes da mecânica dos solos, tanto os de campo como os de laboratório, com vistas à produção de mapeamento de áreas de risco de ocorrência de movimentos de massa vem sendo um dos objetivos centrais da linha de pesquisa que desenvolvemos no Departamento de Geografia. Todo problema que abarca questões referentes a prognósticos, sejam eles de natureza temporal ou espacial, envolve tomadas de decisão quanto: a eleição das variáveis mais relevantes; a hierarquização destas variáveis; a análise da estrutura de relações que se pode abstrair da convergência de tais variáveis nos casos estudados (emergentes), e; a delimitação e hierarquização das áreas de risco de ocorrência de determinado tipo de processo, como produto da análise espacial combinada de fatores morfológicos e variáveis de natureza mecânica.

Para atingir os objetivos a que nos propomos, foi imprescindível desenvolver uma técnica de fotointerpretação geomorfológica apropriada onde são, num primeiro momento, fotointerpretados os tipos de formações superficiais (elúvios, ilúvios, colúvios e alúvios), para em seguida ser feito o mapeamento morfológico: este último fundamentado em *unidades geométricas elementares de relevo*, Colangelo (1989, 1996). Por oferecer um suporte morfológico (qualitativo) suficientemente rigoroso para a análise morfométrica subsequente, os resultados a serem atingidos neste caso, cremos, devem abranger uma esfera de interpretação muito maior no domínio da Geoecologia. Com isto é possível interpretar resultados numa perspectiva que integre morfologia do relevo,

morfometria, formações superficiais e processos erosivos.

Método e Materiais Empregados

Para a realização deste trabalho foram utilizadas 15 fotografias aéreas na escala de 1:25.000, do levantamento de 1962, sendo fotointerpretada uma área de cerca de 150 Km². Foram utilizados também mapas topográficos na escala de 1:10.000, para o levantamento morfométrico - com base na transposição da informação referente à fotointerpretação e controle de campo.

No campo, foram também realizados ensaios rápidos em materiais superficiais inconsolidados parcialmente drenados, para a determinação da resistência ao cisalhamento, com o aparelho "sheargraph". Tais ensaios, realizados em horizontes B e C, permitem medir a resistência ao cisalhamento dos materiais, que é expressa através dos parâmetros: ângulo de fricção interna e coesão aparentes.

No laboratório, foram determinados os teores de umidade, bem como a textura e os limites de Atterberg (limites de plasticidade e liquidez), dos mesmos materiais testados no campo. Com isto, foi possível verificar a relação entre teor de finos (silte+argila+ferro) e ângulo de fricção interna, bem como a relação entre a variação do teor de umidade e o comportamento da resistência ao cisalhamento (expressa como ângulo de fricção aparente).

Feitas as regressões onde estão relacionados o teor de umidade e o ângulo de fricção interna aparente para os materiais de horizontes B e C de solos, nas três litologias estudadas (micaxisto, migmatito e granito), ingressamos com os valores médios dos respectivos limites de plasticidade (LP, em % de h) para obtermos,

através das curvas, os valores dos ângulos de fricção aparentes que foram, por sua vez, utilizados como parâmetros na determinação dos limiares de declividade para a análise de estabilidade de vertentes.

Os limiares de declividade das vertentes para a análise de estabilidade foram obtidos através da aplicação do modelo de vertente infinita, considerando o envoltório de resistência de Mohr-Coulomb para materiais de vertente cujo intercepto de coesão está próximo de zero, sendo portanto desprezível, Skempton e Delory (1957) apud Carson (1975). Estes limiares são calculados considerando-se duas situações extremas quanto à pressão neutra da água presente no solo: drenagem livre ($m=0$) e saturação completa ($m=1$).

$$Dl = \text{arc tan} \{ (1 - m \cdot P_w/P) \tan F_r' \}$$

Onde: Dl = limiar de declividade
 m = posição relativa do nível de saturação
 P_w = peso específico da água
 P = peso específico do solo úmido
 F_r' = ângulo de fricção interna aparente

Para a situação de drenagem livre ($m=0$) o limiar de declividade da vertente será equivalente ao ângulo de fricção interna aparente ($Dl=F_r'$). Na condição de saturação ($m=1$) o limiar de declividade equivale a aproximadamente a metade do ângulo de atrito aparente $\{Dl = \text{arc tan}(1/2 \tan F_r')\}$, o que Carson definiu como limiar de declividade do tipo 'semi-frictional'.

No nosso caso, foi feita uma adaptação do modelo acima, já que em ambiente tropical úmido, onde os mantos de alteração são muito profundos, os movimentos de massa ocorrem na ausência de lençol freático. Isto significa que, próximo à superfície de ruptura potencial, susceptíveis portanto à ocorrência de movimentos de massa, os valores apresentados pelas pressões neutras da água intersticial ficam em torno de zero, não apresentando valores positivos, como nos lençóis mais profundos. Até o momento, a solução metodológica encontrada para a determinação dos limiares de declividade neste tipo de ambiente, refere-se à inclusão do limite de plasticidade como parâmetro relevante na análise de estabilidade.

A idéia é simples: uma vez estando estabelecidas as curvas de regressão, as quais correlacionam o teor de umidade do material e o ângulo de atrito aparente, para cada tipo litológico e horizonte de solo estudados, basta plotar em tais curvas os respectivos valores referentes aos limites de plasticidade médios medidos, para que se obtenham os ângulos de fricção aparentes correspondentes. Cumpre lembrar que embora o ângulo de fricção interna seja um parâmetro intrínseco do material, as variações de umidade do solo produzem variações na resistência ao cisalhamento, variações estas que se manifestam em termos de variações na fricção

aparente, conforme pode-se apreender da equação de Coulomb-Terzaghi.

$$S = (c-u) + (T_n-u) \tan F_r$$

ou

$$S = c' + T_n(1-u/T_n) \tan F_r$$

ou ainda

$$S = c' + T_n \cdot \tan F_r'$$

sendo,

$$\tan F_r' = (1-u/T_n) \tan F_r$$

Onde:

S = resistência ao cisalhamento
 u = tensão neutra da água
 T_n = tensão normal
 F_r = ângulo de fricção interna
 F_r' = ângulo de fricção aparente

Devemos ressaltar também, que embora as tensões neutras da água afetem diretamente apenas a coesão e a tensão normal ao plano de cisalhamento, elas acabam por mascarar o ângulo de fricção interna, intrínseco do material. Na verdade, o que temos condições de medir no campo é o ângulo de fricção aparente.

A utilização dos limites de plasticidade médios, para cada tipo de material, se justifica na medida em que estes correspondem a limiares a partir dos quais os materiais (teoricamente) devem passar do estado semi-sólido para o estado plástico, o que, em caso de estender-se esta condição por toda uma superfície, as expectativas de ocorrência de movimentos de massa tornam-se muito grandes. Assim cremos, que o risco de ocorrência destes processos pode ser mais adequadamente avaliado, tanto pela via gráfica como pela cartográfica.

Outra particularidade do método aqui proposto refere-se à análise das variáveis coesão e atrito ao longo de perfis longitudinais (relativos) de vertentes, o que permite, numa etapa posterior, avaliar os níveis de risco de ocorrência dos movimentos de massa ao longo destes perfis. Como não dispunhamos de catenas completas, mas de muitos dados dispersos nas áreas amostrais, resolvemos agrupá-los por tipo de embasamento litológico e horizonte de solo (B ou C), computando o posicionamento relativo de cada ponto de amostragem no seu perfil de vertente.

O princípio é simples e está fundamentado na idéia de que, pelo menos teoricamente, é possível analisar o comportamento de variáveis ao longo de um perfil de vertente hipotético, cujos dados tenham sido, na realidade coletados em distintas vertentes. Sendo o comprimento da vertente um dado muito variável, se quisermos analisar, por exemplo, o comportamento da coesão em materiais de horizontes B de solo, de vertentes em embasamento granítico, para uma mesma área, basta estabelecer o posicionamento topográfico

relativo para cada ponto de amostragem, independentemente do fato de pertencerem a uma mesma vertente. Assim, se um dado foi coletado no topo da vertente, a posicionamento relativo será 100%. Se, por outro lado, tiver sido coletado na base, o posicionamento relativo será 0,0%. Entre estes dois extremos existem, portanto, infinitos posicionamentos intermediários.

Este método parece bastante útil, na medida em que é raro, no campo, ter-se condições de medir, ou executar ensaios, ao longo de todo um perfil longitudinal de vertente. É mais comum ter-se uma quantidade de dados dispersos por uma dada área. Os ensaios 'in situ' aplicados neste trabalho, por exemplo, exigem, que haja cortes nos materiais superficiais e que estes atinjam os horizontes C de alteração da rocha. Além disto, é necessário ter uma boa base de apoio para a sua realização o que, graças aos cortes de estrada e às superfícies de ruptura de escorregamentos, exigiria a abertura de trincheiras bastante grandes, o que tornaria o trabalho oneroso além de também agressivo ao meio ambiente. Por isto enfatizamos a utilidade do método do posicionamento topográfico relativo.

A questão metodológica final refere-se à integração dos resultados da parte experimental, ensaios de mecânica de solos, com a parte referente à cartografia do relevo. Todo o problema aqui resume-se em se dispor de um suporte morfológico em cartograma, a partir do qual a morfometria, e tudo que esteja relacionado direta ou indiretamente com a geometria das formas de relevo possa ser analisado dentro de uma perspectiva geoecológica. Inclui-se aqui, o problema do mapeamento de áreas de risco de ocorrência de movimentos de massa.

O *mapa de feições mínimas* exibe nove tipos de unidades geométricas de relevo, a partir da combinação dos elementos convexo, retilíneo e côncavo nos dois planos ortogonais - planta e perfil. Para cada unidade mapeada foram medidas a área, a declividade média e a orientação média. São nove tipos de formas, nove classes de declividade e nove classes de orientação de vertente, o que representa um total - teórico - de 729 combinações possíveis.

A partir dos limiares de declividade, obtidos na etapa experimental do trabalho, foi possível estabelecer inicialmente três níveis de risco, os quais foram posteriormente analisados em combinação ao fator formas de relevo e à variável orientação de vertentes. Dos nove tipos de *unidades geométricas elementares de relevo*, três foram eleitas as de maior risco: tipo 4 - fluxo mesodispersor-radial; tipo 5 - fluxo de transição ou neutro, e; tipo 6 - fluxo mesoconcentrador radial. Estes tipos foram eleitos a partir de dados estatísticos em levantamentos de campo. Em particular, estas formas dos tipos 4, 5 e 6 apresentam todas perfis retilíneos, embora podendo em planta exibir formas

convexas, tipo 4; retilíneas, tipo 5, ou; côncavas, tipo 6. As hipóteses por nos levantadas, na busca de justificativas para este fato refere-se ao posicionamento topográfico destas unidades em relação ao sistema de vertente. Em primeiro lugar, devemos considerar que, independentemente do tipo de litologia considerado, são unidades de conexão entre os setores convexos acima e côncavos abaixo, no perfil de vertente, e que portanto conectam subsistemas hidrodinâmicos antagônicos. Isto significa que nestes setores, não raro devem ocorrer situações conflitantes entre variáveis que, ao atingirem seus valores limiares, podem vir a desencadear processos os mais diversos, dentre os quais os de movimentos de massa. Do ponto de vista dos materiais de superfície, nestes setores de perfis retilíneos desenvolvem-se os horizontes B texturais, os quais apresentam evolução remontante no perfil de vertente, o que é atestado por diversos trabalhos como os de Boulet (1978) e Furian (1994). A polêmica sobre a natureza das argilas presentes nestes horizontes B, iluviação ou neoformação, é de pouco interesse neste trabalho, já que importa saber que eles existem, têm um desenvolvimento remontante, ocupam principalmente estes setores retilíneos de vertente e representam descontinuidades texturais acentuadas nos perfis de solo. Neste sentido, condicionam também importantes descontinuidades estruturais e de permeabilidade em relação aos materiais de horizontes C. Todos os aspectos acima apontados devem favorecer a ocorrência de movimentos de massa nas unidades de relevo consideradas.

Das nove classes de orientação de vertente estabelecidas, oito mais a classe *omnidirecional*, três também foram eleitas como as de maior risco (SE, S e NW), por estarem voltadas para os ventos mais frequentes e de maior magnitude, representando no contexto climato-geográfico em questão - tropical úmido com forte influência oceânica - maior aporte de umidade, não só em termos de umidade relativa como também em termos de impacto direto das chuvas, principalmente as de final de verão. Por outro lado, é importante frisar também que, no Hemisfério Sul, a estas mesmas vertentes SE e S vinculam-se níveis de radiação solar inferiores àqueles observados nas vertentes norte. Sabe-se também estas discrepâncias entre os níveis de radiação por face de vertente, são tanto mais acentuadas quanto maiores forem as declividades no sistema de relevo em estudo e/ou maior a latitude. Sendo as declividades bastante elevadas na área aqui estudada, devemos concluir que não podemos desprezar este fator porque, de alguma maneira, deve constituir um agravante no risco de ocorrência de movimentos de massa nas vertentes SE e S. E isto, não apenas pelo maior aporte de umidade, mas também por haver condições de manutenção mais efetivas dos seus

níveis nos materiais, nas vertentes voltadas para estas faces.

Uma vez eleitos, os fatores e variáveis foram hierarquizados da seguinte maneira:

Do ponto de vista hierárquico, a variável declividade é a mais importante. Das nove classes de declividades definidas no trabalho (0-5; 6-10; 11-15; 16-20; 21-25; 26-30; 31-35; 36-45; >45 graus) as que incluem valores superiores a 25 graus receberam a nota 12; valores entre 21 e 25 graus - nota 8; valores entre 15 e 20 graus - nota 4, e; àquelas cujas declividades são inferiores a 15 graus não se atribuiu nenhum valor. Esta valoração está fundamentada no trabalho experimental, que permitiu estabelecer os limiares de declividade das vertentes, pela aplicação do modelo de vertente infinita.

Em segundo lugar na hierarquia aparecem as formas de relevo, sendo que para os tipos de maior risco, tipos 4 - 5 e 6, foi atribuída a nota 2.

Por fim, em terceiro lugar na hierarquia, estão as orientações de vertente. Pelos motivos anteriormente apontados as classes de orientação SE, S e NW foram consideradas críticas, e a elas, por ocuparem o último lugar na hierarquia atribuiu-se a nota 1.

Com isto temos um total de 16 combinações possíveis, representando níveis de risco de ocorrência de movimentos de massa de 0 a 15, o que perfaz um total de 16 níveis. Estes 16 níveis foram posteriormente reagrupados em cinco classes de níveis de risco, a saber: (0 a 1) Muito Baixo Risco; (2 a 3) Baixo Risco; (4 a 7) Médio Risco; (8 a 11) Alto Risco, e; (12 a 15) Muito Alto Risco.

O reagrupamento dos níveis de risco é extremamente importante na etapa de síntese cartográfica, pelas dificuldades de visualização de uma gradação extensa. Além disto, qual seria o significado de 16 níveis de risco, quer dizer, o que significa a diferença entre, por exemplo, os níveis 5 e 6? Uma resposta a esta pergunta poderia ser dada apenas do ponto de vista analítico, não tendo nenhum significado do ponto de vista da síntese.

Movimentos de Massa e Evolução de Vertentes: em Granitos, Migmatitos e Micaxistos

Das três litologias estudadas, os materiais de horizontes C, em granitos, parecem ser os que suportam maiores declividades, embora sejam das áreas cartografadas as que apresentaram menores declividades (bacia Fazenda São José - 11,2 graus de declividade média). Um aspecto que reforça o que acabamos de expor é que a colúviação em granitos, bacia fazenda São José, é menos expressiva em área (13%) se comparada com a encontrada bacia Fazenda São Carlos (30%), em migmatitos, cuja declividade média é de 16 graus. Isto indica que os materiais superficiais em granitos são, dentre os que estudamos, os mais estáveis, e são

portanto menos susceptíveis à ocorrência de movimentos de massa. Isto acontece porque eles dispõem de reserva de atrito a ser mobilizado, como se pode apreender dos limiares médios encontrados em materiais de horizontes C e B: declividades de 38,5 e 27 graus respectivamente, para a condição de drenagem livre ($m=0$), caindo para 22 e 14 graus respectivamente, para a condição de saturação ($m=1$).

Comparando o comportamento dos limiares de declividade ao longo do perfil (relativizado) de vertente nas três litologias, observa-se que os materiais superficiais em granitos são, novamente, os que toleram as maiores declividades, chegando a um máximo de 55 graus, na condição de drenagem livre, caindo para 35 graus, na condição de saturação completa, no terço inferior da vertente. São valores bastante elevados, porém coerentes com o fato de 68% (média) da amplitude topográfica dos perfis de vertentes em granitos, estarem associados ao elemento convexo, que condiciona declividades progressivamente maiores em direção à base do perfil. O elemento geométrico retilíneo é o mais restrito nestes perfis, com 18% (média), localizados sempre no seu terço inferior. Entretanto, em vertentes sobre granitos, não raro encontramos convexidade que se estende até o contato com o sistema de depósitos fluviais, nos fundos de vale. Outro dado importante refere-se às vertentes eluviais (autóctones) que, na área amostral mapeada, em granitos (Bacia Fazenda São José B), apresentam 30% do total da sua superfície coberta por vertentes com perfil convexo, valor que nos migmatitos cai para 20%.

Devemos lembrar que o relevo *mamelonado* mais típico, portanto com mais *policonvexidade*, desenvolve-se, sem dúvida, em áreas de embasamento granítico e, ao tudo indica, onde o clima é suficiente úmido porém não muito frio. Sem dúvida, as características isotrópicas e heterométricas do material de origem têm uma participação importante, na medida em que não exibem características lito-estruturais planares, as quais estão associadas a formas retilinizadas. Outra explicação clássica aponta para um desequilíbrio acentuado no balanço erosivo, a favor da incisão fluvial, em detrimento da erosão interfluvial (recoo das vertentes). Esta última explicação pode vir acrescida de outra, que faz alusão à baixa permeabilidade da rocha (granito), o que levaria a uma elevação do escoamento superficial interfluvial, que vai ter nos canais fluviais, que assim teriam maior vazão e, portanto, maior eficácia no trabalho de erosão vertical (linear). Por este raciocínio, a incisão fluvial venceria, no tempo, o recoo das vertentes, produzindo perfis convexos. Restaria explicar por que o aumento no escoamento superficial interfluvial não seria também suficientemente eficaz para implementar a erosão interfluvial (em área), acionando assim o conjunto de processos responsáveis pelo recoo das vertentes. Isto deveria, ao contrário do proposto,

conduzir a um equilíbrio no balanço erosivo do sistema morfogenético em questão. Outra explicação às vezes utilizada, refere-se à isotropia da rocha matriz combinada à velocidade de ataque intempérico diferenciada nas faces, arestas e vértices dos blocos individualizados pelos planos de diaclasamento e fraturas. Sendo a velocidade de ataque maior nos vértices (três planos), menor nas arestas (dois planos) e ainda menor nas faces (um plano), todo bloco tenderia ao arredondamento, e daí a convexidade acentuada no perfil das vertentes, sendo que a rocha é desprovida de elementos lito-estruturais planares. Esta explicação pode ser válida no que se refere à alteração mais profunda da rocha, mais é deficiente para explicar os perfis sustentados por materiais pedogeneizados, ou seja, providos de uma organização própria totalmente diferenciada daquela referente ao material de origem. Sobre a convexidade das formas nos topos das vertentes, Gilbert (1909) já havia feito referência à importante participação do rastejo (reptação).

Foi necessário revisar um pouco estas concepções, para passarmos agora a expor a nossa contribuição sobre este tema, que está fundamentada numa visão funcionalista sobre os sistemas físicos terrestres.

O Papel das Redes Interfluviais de Eluviação e Iluviação nos Sistemas Morfogenéticos da Área de São Luis do Paraitinga.

As redes interfluviais correspondem às superfícies cobertas por materiais superficiais inconsolidados de natureza 'autóctone', ou seja que não apresentam evidência de transporte por fluxos hídricos superficiais, nem por gravidade. Quando ocorrem associadas a formas de relevo dispersoras, as chamamos aqui de *elúvios*, quando ocorrem associadas a formas de concentração de drenagem são aqui denominadas *ilúvios*. São redes porque, a exemplo dos canais fluviais e dos divisores de águas, estão integradas num conjunto único e contínuo, e também podem ser mapeadas.

A *rede de eluviação interfluvial*, integra um conjunto de unidades que tradicionalmente chamamos de topos, colos, patamares, ombreiras, esporões e frentes de interflúvio. A *rede de iluviação interfluvial*, corresponde a unidades morfologicamente antagônicas às anteriores, integrando bacias de captação, vertentes laterais e fundos de anfiteatros.

Dependendo dos condicionantes climático-litológicos locais deve haver predominância de uma unidade sobre a outra, de modo que eluviação e iluviação integram um par antagônico extremamente importante para a manutenção do equilíbrio dos sistemas de vertente interfluviais. São, na verdade, morfologias, processos e materiais diferenciados a partir de um antagonismo hidrodinâmico, que por sua vez interage com as formas, os materiais e os processos.

Estamos numa área onde o clima tropical úmido atua sobre rochas cristalinas e cristalofílicas ácidas, o processo geoquímico predominante é a laterização, tendo geralmente latossolos nos topos dos interflúvios e uma transição para podzólicos, em direção à base das vertentes. Podemos assim, com alguma restrição, associar as *redes de eluviação interfluviais* (dispersoras) à predominância de latossolos vermelho-amarelos e oxidação, enquanto que às *redes de iluviação interfluviais* (concentradoras) aos latossolos intergrades e os podzólicos vermelho-amarelos, além de predomínio de processos redutores.

Isto é importante na medida em que, havendo um fator de correlação satisfatório entre morfologia, pedogênese e hidrodinâmica, é possível inferir muitos dados a partir do dado morfológico, considerando o grau de detalhamento aqui tratado. Por exemplo, na sub-bacia São José B, em granitos, sabemos que 78% da área mapeada corresponde às redes de eluviação-iluviação, sendo que dos 78% acima, 58% correspondem aos elúvios (dispersores), enquanto que os restantes 42% correspondem aos ilúvios (concentradores). Isto significa que os *elúvios* cobrem efetivamente 45% de toda a área, enquanto que os *ilúvios* cobrem os 33% restantes, que totalizam os 78%.

Acreditamos que o *domínio de dispersão hídrica* associado à *rede de eluviação interfluvial* desempenha uma importante função nos sistemas morfogenéticos nesta área, regulando os processos superficiais e abastecendo os lençóis profundos. Por serem muito extensas quando em granitos, estas superfícies de dispersão de drenagem (elúvios) correspondem à morfologia mais adaptada aos frequentes e intensos fluxos de escoamento superficial pluvial, vinculados principalmente às chuvas do fim do verão.

Função Hidrológica e Geomorfológica da Convexidade das Formas no Relevo Mamelonado

Nos sistemas de derivação hídrica (dispersão), o desenvolvimento de escoamento laminar difuso ou micro-anastomosado é função das características da chuva, por isto devemos considerar duas situações principais: chuvas com intensidade inferior ao coeficiente de infiltração e chuvas com intensidade superior ao coeficiente de infiltração do solo.

Na primeira situação, durante a fase inicial dos episódios de chuva, a saturação dos horizontes mais superficiais de solo, no perfil de vertente, é um fenômeno que tem um desenvolvimento remontante. Por isso, espera-se que a evolução do escoamento superficial deva seguir no mesmo sentido, em direção ao topo da vertente, porque a frente de saturação faz esse mesmo movimento.

Na segunda situação, quando a intensidade da chuva supera o coeficiente de infiltração, estes

processos de derivação hídrica por aumento progressivo da superfície de escoamento, funcionam como válvulas de regulação para os fluxos de superfície, porque operam no sentido de adelgaçar progressivamente a lâmina de água de modo a diminuir o escoamento superficial. Tal redução do escoamento poderia levar, teoricamente, até mesmo ao total desaparecimento do fluxo de superfície assim que, num determinado nível topográfico a jusante, o fluxo de superfície se equiparasse com a condutividade hidráulica do solo. Aqui está a principal função que podemos atribuir à *policonvexidade* das formas no relevo *mamelonado*: fazer com que, do ponto de vista hidrológico o sistema morfogenético dê conta de episódios de chuvas torrenciais, próprios das áreas tropicais úmidas. Sobre a caracterização destes episódios e sua relação com eventos catastróficos, do tipo avalanche de detritos, Cruz (1974) faz uma análise bastante detalhada.

Devemos ressaltar que os materiais vinculados a estas áreas de dispersão (eluviação) apresentam maior permeabilidade, quando comparados aos materiais das áreas de concentração hídrica (iluviação). Apresentam concentração relativa de materiais arenosos, por partida de material fino - argila principalmente. O que Ab'Saber indica como mamelonização das formas, não constitui apenas uma simples resposta morfológica dos sistemas morfogenéticos ao condicionante climático, mas acima de tudo uma questão de sobrevivência dos sistemas naturais, submetidos a episódios habituais de chuvas de forte magnitude e frequência. O problema com que a natureza se depara é o de reduzir ao máximo o poder erosivo dos fluxos de superfície.

Ao contrário do que pode parecer, as formas de relevo vinculadas às áreas de maior poder de captação de drenagem de uma bacia hidrográfica, com os condicionantes lito-climáticos aqui considerados, correspondem às *redes de eluviação interfluviais*, ou *redes de dispersão hídrica*, que por vezes se estendem até a base das vertentes. Executam, ao que tudo indica, uma função extremamente importante do ponto de vista da captação de drenagem para a regulação dos processos erosivos superficiais e o abastecimento dos lençóis profundos. Esta maior eficiência na captação dos fluxos hídricos pelas superfícies convexas se deve, portanto, à existência de uma superfície de drenagem que se amplia numa razão geométrica no sentido da jusante, combinada à presença de materiais superficiais mais permeáveis nestes setores convexos, principalmente quando em topo ou alta vertente.

A questão sobre a função nos parece tão importante quanto a questão sobre a gênese destes tipos de formas de relevo. Por exemplo, as áreas de concentração de drenagem ou de iluviação, coincidentes com as porções autóctones nas bacias de captação, apresentam horizontes B mais argilosos, menos permeáveis, o que favorece portanto o desenvolvimento de escoamento

superficial pluvial, que interfere imediatamente sobre o deflúvio dos rios.

A função de captação de drenagem para a alimentação de lençóis profundos, exercida pela rede de eluviação interfluvial (dispersão hídrica), fica mais clara se pensarmos que lâminas de mais de 100mm de chuvas podem cair em algumas horas, principalmente no fim do verão, quando episódios desta magnitude podem ocorrer após muitos dias consecutivos de chuvas de intensidade menor. O sistema natural neste caso deve adaptar-se, e consegue: principalmente porque os episódios extremos são relativamente frequentes, nestas áreas.

Níveis de Risco e Evolução de Vertentes

A análise os níveis de risco de ocorrência de movimentos de massa, nas duas áreas de amostragem, Bacia Faz. São José (4,5Km², granitos) e São Carlos (2 Km², migmatitos xistosos), indica que os níveis de alto e muito alto risco nas duas bacias cobrem, respectivamente, 8,1% e 27,2% das áreas das respectivas bacias. Se somarmos os dados sobre a área ocupada pela colúviação nas duas bacias, 13% e 30% respectivamente, podemos concluir que as vertentes eluviais e iluviais de áreas em migmatitos estão sofrendo evolução mais intensa que as de áreas em granitos, o que deve, na escala geológica do tempo, levar a um rebaixamento ainda maior das áreas circunvizinhas aos 'stocks' e batólitos graníticos.

Devemos salientar que existe uma relação inversa entre nível de risco e superfície ocupada pela unidade geométrica de relevo correspondente. Entretanto, o elevado grau de dissecação do relevo em algumas áreas faz com que o somatório das áreas de alto risco não seja desprezível, como no caso dos migmatitos e micaxistos.

Referências Bibliográficas

- AB'SABER, A. N.: O Domínio dos Mares de Morros no Brasil, *Geomorfologia*, 2, IGEOG-USP, 1966, p. 8.
- BOULET, R.: Toposéquences des sols tropicaux en Haute-Volta: Equilibre et Déséquilibre Pédobioclimatique. *Mémoires ORSTOM*, 85, 1978 p. 267.
- CARSON, M. A.: Thresholds and Characteristic Angles of Straight Slopes. *Mass Wasting, 4th Ghelph Symposium on Geomorphology*, Ontario, Canada, 1975, p. 19-34.
- COLANGELO, A. C.: Carta de Feições Mínimas, *XIV Congresso brasileiro de Cartografia*, Gramad-RS, 1989, p. 375-380.
- COLANGELO, A. C.: Movimentos de Massa e Evolução Geomorfológica das Vertentes no Alto Vale do Paraíba do Sul - São Luis do Paraitinga -

- S.P. *Tese de Doutorado*, Departamento de Geografia, FFLCH-USP, 1995, p. 172.
- COLANGELO, A. C.: O Modelo de Feições Mínimas, ou das Unidades Elementares de Relevo: Um Suporte Cartográfico para Mapeamentos Geocológicos. *Revista do Departamento de Geografia da FFLCH-USP*, 10, 1996, p.29-40.
- CRUZ, O.: a Serra do Mar e o Litoral na Área de Caraguatatuba-Sp, *Teses e Monografias*, 11, IGOG-USP, 1974, p. 181.
- FURIAN, S.: Morphogenese/Pedogenese en Milieu Tropical Humide de la Serra do Mar, Brésil, *Thèse Doct.*, Rennes, França, 1994, p. 177.
- GILBERT, G. K.: The Convexity of Hilltops, *J. Geol.*, 17, 1909, p. 344-350.
- SKEMPTON, A. W. ; DELORY, F.A.: Stability of Natural Slopes in London Clay. *Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. and Found. Eng.*, 248, 2, 1957: p. 281-378.