

Métodos e Técnicas Aplicadas aos Estudos Geomorfológicos

Evlyn M.L. de Moraes Novo

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Divisão de Sensoriamento Remoto
12 227.03 São José dos Campos - São Paulo
evlyn@ltid.inpe.br

Abstract This paper focuses on the evaluation of methods and techniques which are currently used in geomorphological studies. It is divided into three sections. In the first section the goals of the geomorphological explanation are explored; in the second section some methodological issues such as the induction versus deduction controversy are discussed; in the third section a review of the available techniques is presented with emphasis on remote sensing.

Introdução

O objetivo deste trabalho é apresentar algumas idéias relativas ao tema: Métodos e Técnicas Aplicadas aos Estudos Geomorfológicos. As idéias aqui apresentadas não são novas e nem originais; encontram-se amplamente discutidas em Goudie (1981), Douglas e Spencer, (1985)

Para atender ao objetivo proposto, este trabalho encontra-se organizado em três seções. Na introdução, procurar-se-á delimitar o objeto de investigação da Geomorfologia, identificando as questões básicas as quais este ramo de conhecimento busca a responder, e sua pertinência científica e sócio-econômica. Na segunda seção serão analisados os aspectos metodológicos e na terceira e última seção serão discutidas algumas técnicas aplicadas aos estudos geomorfológicos, com ênfase ao sensoriamento remoto orbital e ao geoprocessamento.

A Geomorfologia é o estudo da formas de relevo incluindo a descrição, classificação, origem, desenvolvimento e sua história. A Geomorfologia tem como objetivo básico explicar a origem e transformação relevo terrestre; quando um geomorfólogo olha o canal fluvial do rio Amazonas, ele está interessado em conhecer: a) que processos deram origem à sua forma atual; b) com que intensidade e frequência estes processos atuaram no passado e atuam no presente; c) como estes processos se relacionam no tempo e no espaço.

A resposta a estas questões tem interesse não apenas científico, mas também econômico e social, subsidiando a tomada de decisões em relação ao aproveitamento e ocupação territorial, visto que o relevo é a base concreta sobre a qual se assentam os solos, a vegetação, as comunidades humanas, etc. Muitos dos problemas de enchentes urbanas, pôr exemplo, enfrentados pelas sociedades urbanas, resulta da falta de incorporação de conhecimento geomorfológico às decisões de políticas.

Métodos em Geomorfologia

As fontes de conhecimento em qualquer ciência são a *experiência* e a *razão*. A experiência fornece os dados necessários à elaboração racional. O encadeamento lógico da experiência e razão criou, historicamente, dois métodos básicos para se chegar a uma explanação científica: o método indutivo e o método dedutivo. Em ambos os métodos, a experiência tem precedência: no método indutivo, como fonte de dados que serão à mensuração, classificação e ordenação antes de serem generalizados e convertidos em leis e teorias explanatórias; no método dedutivo, como fonte de um modelo conceitual da realidade que orientará a formulação de hipóteses, e conseqüentemente o estabelecimento de procedimentos de aquisição de dados e teste de hipóteses, as quais, se refutadas, serão substituídas pôr novas hipóteses, novos procedimentos até que se chegue a leis e teorias mais próximas à realidade.

Via de regra, entretanto, o que se utiliza é uma alternância dos dois métodos, sendo as generalizações induzidas "protomodelos" conceituais que orientam a formulação de novas hipóteses. Independentemente do tipo de raciocínio utilizado para se alcançar a explanação científica, é importante ressaltar algumas de suas características fundamentais tais como a parcimônia, segundo a qual, entre duas teorias, a mais simples é sempre a mais adequada (a natureza não se organizaria de forma complexa se pudesse fazê-lo de forma simples); a dialética, segundo a qual, todos os fenômenos estão sujeitos à lei da ação recíproca e conexões universais e às leis da transição da mudança quantitativa em qualitativa, e lei da unidade e luta dos contrários (todos os processos possuem aspectos contraditórios internos que se chocam).

Independentemente do método utilizado, um aspecto fundamental da investigação científica é a observação e a aquisição de dados sobre os fenômenos estudados.

Goudie (1981) identifica 4 linhas de investigação em Geomorfologia no tocante à observação e aquisição de dados: a) observação de campo; b) observação em laboratório; c) observação em gabinete; d) pesquisa teórica. As observações de campo podem ser quantitativas (declividade, vazão, largura do canal, granulometria da carga em suspensão, etc) ou qualitativas (presença de cascalheira; tipo de escoamento superficial da água, etc). As observações de laboratório podem ser de dois tipos: medidas de propriedades dos materiais amostrados em campo (propriedades químicas do material intemperizado, datação de amostras, etc.) ou medidas feitas em simulações ou experimentos controlados para testar algum tipo específico de processo (simulações de escoamento fluvial, por exemplo). As observações de gabinete são centradas na análise de mapas (ou imagens) para derivar informações quantitativas (densidade de drenagem, por exemplo), ou informações qualitativas (identificação de superfícies de erosão, por exemplo).

A capacidade adquirir dados é central a qualquer explanação científica. O papel das técnicas geomorfológicas é permitir que as variáveis relevantes à explanação científica sejam adequadamente caracterizadas e medidas. Um dos grandes problemas em ciência, entretanto, é o da definição das variáveis relevantes à explanação de um dado fenômeno. Outro aspecto fundamental, é que os procedimentos utilizados para medir o comportamento das variáveis sejam

Tendo em vista a variabilidade nas taxas de atuação de processos geomorfológicos, um problema fundamental é a frequência de aquisição de dados. Processos infreqüentes, como é o caso das avalanches, para serem estudados, devem ser monitorados continuamente enquanto que processos regulares, podem ser monitorados menos frequentemente.

padronizados para que resultados de pesquisas realizadas em diferentes locais sejam comparáveis.

Técnicas de Pesquisa em Geomorfologia

1. Escalas temporais e frequência de aquisição de dados

A maior parte das técnicas de pesquisa em geomorfologia busca determinar taxas de operação de processos geomorfológicos no tempo e no espaço. Algumas técnicas, como as de determinação de propriedades dos materiais, permitem a previsão de escorregamentos; outras técnicas, como pôr exemplo, estudos de morfometria de bacias de drenagem, permitem a extrapolação de processos do passado atuando no presente. Algumas técnicas são mais adequadas a certas escalas temporais e de observação que outras.

A tabela 1 apresenta as taxas de atuação de diferentes processos geomorfológicos. Pela análise da tabela 1 pode-se observar que certos processos apresentam taxas de atuação extremamente variáveis, como é o caso do escoamento de detritos sólidos, cujas taxas variam de cm/hora a km/hora, enquanto outros processos as taxas são relativamente constantes como é o caso do processo de solifluxão que atua a uma taxa de 1mm/dia.

Uma das fontes de erro em estudos geomorfológicos é justamente a falta de adequação entre as campanhas de aquisição de dados e as taxas de atuação do processo em análise. A tabela 2 mostra o erro percentual na estimativa da carga anual de sedimento de rios quando diferentes frequências de aquisição de dados são adotadas.

Tabela 1 - Variabilidade das taxas de atuação de alguns processos geomorfológicos selecionados (Adaptada de Goudie, 1981).

	Taxa de Atuação
solifluxão	1mm/dia
escoamento de glaciais rochosos	1cm/dia a 1m/ano
percolação de água subterrânea	1cm/dia a 1km/ano
fluxo de lama	1m/s a 1km/hora
migração de dunas	1cm/dia a 1m/ano

Tabela 2 - Comparação de estimativas da carga anual de sedimentos obtidas de taxas obtidas com diferentes intervalos de aquisição (Adaptada de Goudie, 1981).

Freqüência de Aquisição dos Dados	Porcentagem de Erro Ano 1	Porcentagem de Erro Ano 2
medidas contínuas (referência)		
1 medida por ano	27.2	63.5
medidas sazonais	15.1	61.0
medidas sazonais de acordo com os níveis do rio	4.2	30.7
medidas de acordo com os níveis do rio	4.0	30.7

A necessidade de se adequar a freqüência de observação de certos processos às suas taxas de atuação no tempo e no espaço acaba por limitar as técnicas disponíveis. O uso de sensoriamento remoto, por exemplo, no estudo de processos de erosão de solo, muito popular atualmente, traz uma limitação intrínseca que é a freqüência efetiva de aquisição de dados, a qual, para o caso dos dados mais populares (as imagens do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat) pode chegar a se restringir a uma cena por ano. Esta baixa freqüência de aquisição de dados, bem como a concentração de cenas de boa qualidade em uma data específica por si só representam fontes de erro no estudo de processos, limitando a aplicação desta técnica para esta finalidade.

Estudos, envolvendo escalas temporais maiores, entretanto, como o processo de sedimentação e formação de ilhas, já podem ser abordados a partir da análise de dados de sensoriamento remoto.

2 - Escalas espaciais e escalas de observação

Outro aspecto fundamental em geomorfologia é o da descrição das formas de relevo. Esta descrição pode ser feita através da cartografia geomorfológica ou através de estatística descritiva. Independentemente da técnica de descrição adotada dois aspectos são fundamentais: a escala da investigação e a fonte dos dados.

A escala de investigação influencia a natureza do relacionamento entre as variáveis, e portanto o tipo de questões que podem ser respondidas. A correlação entre a amplitude altimétrica e o desvio padrão da altitude, por exemplo, variou de 0.97 até 0 quando a grade de amostragem utilizada na aquisição de dados passou de

475 m para 6000 m. A escala dos dados disponíveis para o estudo influencia, portanto, a seleção de técnicas de aquisição e tratamento dos dados. Levantamentos regionais de relevo podem derivar informações úteis sobre declividade a partir de análises de cartas topográficas, enquanto o estudo de processos de vertente, necessita de dados de declividade obtidos em medidas diretas de campo. Em resumo, os seguintes fatores condicionam a seleção adequada das técnicas: 1) a escala de investigação: regional, local; 2) a avaliação inicial da variabilidade espacial do fenômeno em estudo; 3) o tempo disponível para a aquisição dos dados; 4) disponibilidade de fontes de dados.

As principais fontes de dados para a análise espacial dos processos geomorfológicos são os mapas, os dados de sensoriamento remoto e os dados de campo. Em geral existe uma superposição de dados, visto que tanto os mapas quanto as imagens necessitam de informações de campo para serem validados. Portanto, frequentemente, os estudos geomorfológicos exploram as três fontes. A tabela 3 resume os principais escalas de mapas topográficos e os tipos de dados que fornecem.

Os dados de sensoriamento remoto incluem todos aqueles derivados sem a intervenção humana direta no processo de medição, independentemente do tipo de imagem (da região visível do espectro às microondas) ou do tipo de plataforma utilizada. Mesmo fotografias obtidas a partir do solo, com câmeras fotográficas portáteis podem fornecer informações sobre processos: um exemplo disso é o uso de fotografias sequências para medir o processo de expansão de ravinas. A tabela 4 resume as aplicações que produtos de sensoriamento remoto, com diferentes escalas podem ter em estudos geomorfológicos.

Tabela 3 - Escalas de mapas topográficos e dados geomorfológicos que podem ser derivados (fonte: Goudie, 1981)

Escala	Finalidade
$\leq 1:50\ 000$	Mapeamento Regional
$\geq 1:25\ 000$	Estudos Morfométricos

Tabela 4 - Produtos de sensoriamento remoto em diferentes escalas e suas aplicações em estudos geomorfológicos.

Produto	Escala	Aplicação
Fotografia Aérea Pancromática ou Colorida	1:20 000 e maiores	Mapeamento da topografia de planícies de inundação;
	1:20 000 a 1:50 000	Estudo de padrões de declividade, geomorfologia costeira.
Imagens orbitais	1:50 000 e menores	Identificação de controles estruturais do relevo; dinâmica de dunas; padrões de inundação

Embora os dados de sensoriamento remoto tenham o seu maior potencial de aplicação em estudo de fenômenos relativamente estáticos, há exemplos criativos de aplicações de sensoriamento remoto em estudos que envolvem processos dinâmicos. Como exemplo, pode-se citar o trabalho recente de Sippel et al (1994) que descreve a utilização de dados do sensor SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer (SMMR) em operação a bordo do satélite Nimbus-7 com a finalidade de mapear os limites da planície de inundação do rio Amazonas. Trata-se de um sensor passivo de microondas que mede a emissão termal natural da superfície terrestre. A grandeza radiométrica medida em duas polarizações diferentes é a temperatura de brilho, sendo que as diferenças de temperatura de brilho entre a polarização vertical e horizontal (DT) é sensível à presença de água na superfície. Quanto maior DT maior é participação da água no sinal oriundo da superfície. Os autores encontraram uma estreita correlação entre as variações de nível da água do rio Amazonas e DT e usaram estes dados para estudar as flutuações da área inundada pela planície Amazônica entre 1979 e 1985. Os resultados do estudo indicaram a adequação desse dados para a compreensão dos padrões de inundação em escalas regionais.

Com a proposição do SBR (Satélite Brasileiro de Sensoriamento Remoto) caracterizado por sua órbita equatorial, que permitirá a aquisição de até 8 cenas sobre uma mesma área por dia (Ruddorf et al. , 1996), com resoluções médias (160 m x 160 m) amplia-se o potencial de utilização de dados orbitais em estudos de processos geomorfológicos, os quais atualmente são limitados por

uma frequência de imageamento inferior as taxas de transformação sofridas pelas formas de relevo.

Mais informações sobre a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto em Geomorfologia podem ser encontradas em Short e Blair, (1986).

3 - Técnicas de aquisição de dados em laboratório

Estas técnicas permitem a análise das propriedades físicas e químicas dos materiais que interferem nos processos geomorfológicos. Tais propriedades envolvem a distribuição granulométrica, composição mineralógica, densidade, porosidade, teor de umidade, condutividade, resistência, taxas de decomposição, etc. Todas estas técnicas encontram-se amplamente descritas em Goudie (1981) e tem sido constantemente aperfeiçoadas, servindo para complementar as informações derivadas de sensoriamento remoto e de observações de campo.

4 - Técnicas de tratamento e análise dos dados

Um aspecto crucial para a explanação científica é o tratamento e a análise de dados. Com o avanço da computação, com a disponibilidade de aplicativos para manipulação e visualização de dados, com o desenvolvimento de linguagens de alto nível tem se tornado cada vez mais fácil o tratamento de grandes volumes de dados.

Dentre as técnicas disponíveis para a análise espacial dos processos geomorfológicos pode-se destacar os sistemas de informações geográficas. O uso eficiente de tais sistemas, entretanto, depende do avanço no

desenvolvimento de modelos conceituais que permitam a previsão do comportamento do sistema em função das transformações nas suas variáveis. Sem o desenvolvimento de tais modelos e sua incorporação efetiva na análise dos dados, o uso da tecnologia de geoprocessamento fica limitada à simples cartografia digital. Para que a incorporação de tais técnicas resulte em avanços teóricos significativos, torna-se urgente o desenvolvimento e teste de modelos, quer empíricos, quer físicos. A tabela 5 resume algumas linhas de pesquisa identificadas em trabalhos recentemente publicados no Brasil e internacionalmente. A tabela não exaure todas as publicações disponíveis, mas representa uma amostra do que tem sido as pesquisas em Geomorfologia e as técnicas utilizadas. Pela análise da tabela 5 pode-se verificar uma ênfase em estudos que enfocam o relacionamento entre variáveis quer internas ao sistema geomorfológico quer entre aquelas e a dos sistemas controladores das formas de relevo.

Conclusão

Pela breve análise realizada neste artigo pode-se verificar que a Geomorfologia dispõe de um elenco de técnicas de aquisição e análise de dados. Para que estas técnicas sejam entretanto incorporadas à pesquisa geomorfológica no Brasil, há uma necessidade crescente de que tais métodos sejam divulgados ao nível de graduação, principalmente através do fomento de pesquisas de iniciação científica. A análise das publicações mais recentes em Geomorfologia no Brasil indica que muitas das técnicas de observação e análise de dados utilizadas em países do primeiro mundo não se encontram ainda incorporadas no cotidiano do pesquisador brasileiro. Cabe aos professores

universitários, que preparam as novas gerações de estudantes, transferir este domínio de técnicas aos alunos dos cursos de Geografia, para que eles não se encontrem em desvantagem em relação a profissionais de outras áreas de conhecimento. O domínio de técnicas de pesquisa é fundamental para o avanço da ciência em qualquer campo. Embora, existam correntes da Geografia que advoguem a existência de um método exclusivamente geográfico, e técnicas essencialmente geográficas, a visão que orienta este artigo, é a de que geográfico é o objeto de estudo, e não o método. Este é apenas científico.

Bibliografia

DOUGLAS, I. ; SPENCER, T. *Environmental Change and Tropical Geomorphology*. Londres. Allen e Unwin., 1985.p.378.

GOUDIE, A. (ed.) *Geomorphological Techniques*. Londres .Allen & Unwin, 1981, 395.

RUDORFF, B.F.T.; EPIPHANIO, J.C.N.; SHIMABUKURO; BOGOSSIAN, O.L.; KRUG, T. Brasil cria satélite para fotografar a Amazônia. *Ciência Hoje* 20 (115):58 -61, 1996.

SHORT, N.M.; BLAIR JR., R.W. *Geomorphology from Space*. Washington. NASA SP-486, 1986, p.717.

SIPPEL, S.J.; HAMILTON, S.K.; MELACK, J.M.; CHOUDHURY, B.J. Determination of Inundation area in the Amazon River Floodplain Using the SMMR 37 Ghz Polarization difference. *Remote Sensing of Environment* 48:70-76, 1994.

Tabela 5 - Linhas de pesquisa em Geomorfologia e Técnicas de Aquisição e Análise de Dados

Linha de Pesquisa	Objetivo	Técnicas	Publicação/ Ano
Modelagem de Erosão do Solo	Examinar o efeito da topografia sobre a cobertura vegetal e sua relação com erosão do solo	Sensoriamento Remoto, Computação Gráfica e Sistema de Informações Geográficas	Earth Surface Processes and Landforms / 1996
Deslizamento de Solo (soil creep)	Estudar o relacionamento entre deslizamento de solo, teor de umidade do solo e temperatura.	Medidas de campo usando um equipamento que registra deslocamento do solo ao longo de uma direção	Earth Surface Processes and Landforms/1996
Modelagem de formas de relevo	Descrever adequadamente a forma de vales glaciais	Aquisição de dados numéricos de seções transversais em cartas topográficas na escala 1:24 000 e modelagem estatística	Earth Surface Processes and Landforms/1996
Controle estrutural de formas de relevo	Estudar a relação entre o perfil longitudinal de rios e atividade tectônica recente	Aquisição de dados em cartas topográficas na escala 1:24 000 e análise de perfis longitudinais de rios pertencentes a bacias de drenagem submetidas a diferentes tipos de controle estrutural	Annals of Geomorphology/ 1995
Análise de formas	Avaliar o uso de fractal em geomorfologia	Apresentar uma revisão do uso de fractais em geociências	Geociências/ 1995
Processos erosivos	Estudo da relação entre morfometria de encostas e o desenvolvimento de boçorocas	Medições em campo e em cartas topográficas na escala 1:10 000 e análise de fotografias aéreas	Geociências/ 1994