

# *Pesquisas em Geociências*

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

---

## **Mudanças ambientais globais e geoindicadores**

*Lilian Coltrinari*

*Pesquisas em Geociências*, 28 (2): 307-314, maio/ago., 2002.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20304>

---

Publicado por

## **Instituto de Geociências**

---



## **Portal de Periódicos UFRGS**

UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL

---

### **Informações Adicionais**

**Email:** [pesquisas@ufrgs.br](mailto: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

## Mudanças ambientais globais e geoindicadores

LYLIAN COLTRINARI

Departamento de Geografia USP, C. P. 2530, 01060-970 São Paulo (Brasil) – lylian@usp.br

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

**Abstract** - Global changes are modifications in the Earth System natural environment (physical, chemical, biological) as a consequence of interactions between atmosphere, oceans, cryosphere, and solid Earth, with the biota including humankind. These changes happen on a wide range of time scales, from years to hundreds of millions of years and they are significant features of Earth history. Geoindicadores are measures of surface or near-surface geological processes and phenomena that vary significantly over periods of less than 100 years and that provide information meaningful for environmental assessment. They measure geological (mainly abiotic) variations that are important for understanding the terrestrial environment. There has been much interest on the subject of environmental monitoring of ecosystem dynamics and integrity but on the other hand it seems to be forgotten the search for indicators of natural processes and change in soils, landforms, surface, and groundwater that determine the character of the physical environment in general. Natural environmental changes in landscape features result from internal variations in geological and climatic parameters which lead to adjustments in surface processes and materials, and in vegetation. Anthropogenic activities act as external stresses that modify thresholds of stability and hamper understanding geoindicadores changes. Procedures to quantify natural and man-made changes and to determine modifications in the recent past are proposed, with special reference to the Brazilian tropics.

**Keywords** - global environmental changes, geoindicadores, humid tropics.

### INTRODUÇÃO

As mudanças ambientais globais são transformações no ambiente terrestre – geosfera, e na vida que o habita – biosfera, partes inseparáveis do Sistema Terra. O conceito Sistema Terra propõe a visão integrada dessas mudanças como resultado das interações entre atmosfera, oceanos, gelo e terras emersas, e os sistemas biológicos. O conhecimento dessas interações depende da integração de escalas temporais e espaciais muito variadas, desde a tectônica de placas e as mudanças de composição da atmosfera, que abrangem períodos de milhões a bilhões de anos, até os fluxos de massa e energia entre a terra, os oceanos, a atmosfera e a biosfera, na escala entre segundos e horas (NASA, 1988). As mudanças ambientais rápidas, de menor amplitude e efeitos espaciais mais restritos, são por vezes difíceis de perceber e pesquisar devido à impossibilidade de perceber e estabelecer distinções entre as mudanças naturais em escala decenal ou secular, e os efeitos derivados da interferência humana na paisagem.

A idéia de estabelecer parâmetros, avaliar os componentes naturais das mudanças e definir a contribuição das ciências da Terra à compreensão das mudanças globais de curto prazo, surgiu na Comissão de Ciências Geológicas para o Planejamento Ambiental

(COGEOENVIRONMENT) da União Internacional de Ciências Geológicas (IUGS) que criou, no início dos anos 90, um grupo de trabalho sobre geoindicadores.

O uso de indicadores como instrumento de avaliação do estado dos ecossistemas e da sociedade iniciou-se no final da década de 1940 mas o marco da atual fase de discussões sobre o ambiente natural e sua sustentabilidade foi a publicação, em 1987, do relatório Brundtland (World Commission on Environment and Development, 1987). O texto enfatizava a necessidade de mudanças sociais e econômicas para manter o equilíbrio dos ecossistemas e o bem-estar das populações, porém pouca atenção foi dada às mudanças nos sistemas naturais que criam o pano de fundo dinâmico dos acontecimentos humanos (Berger, 1996b). No mesmo ano, no âmbito da Cúpula da Terra, a Agenda 21 recomendou medidas para melhorar a qualidade das intervenções antrópicas nos ambientes terrestres. e promoveu a discussão de acordos internacionais sobre mudanças globais e biodiversidade, entre outros.

O grupo de trabalho, criado em 1992 e extinto em 1999, tinha como objetivo sistematizar, numa lista de geoindicadores, as evidências geológicas e geomorfológicas dos processos que originam essas mudanças de curto prazo e podem oferecer informações valiosas sobre os sistemas ambientais em diversos intervalos temporais.

Em respeito ao meio ambiente, este número foi impresso em papel branqueado por processo parcialmente isento de cloro (ECF).

## OS GEOINDICADORES

### Definição

Em 1994 o grupo de trabalho da COGEOENVIRONMENT definiu *geoindicadores* como medidas de magnitudes, freqüências, taxas e tendências de processos ou fenômenos geológicos que ocorrem em períodos de cem anos ou menos em, ou próximo à superfície terrestre e podem apresentar variações significativas para a avaliação e compreensão das mudanças ambientais rápidas. Os processos monitorados na litosfera e na hidrosfera são predominantemente abióticos e medem tanto as mudanças catastróficas quanto as graduais, mas perceptíveis no espaço de uma vida humana. Sua aplicação pode ser complexa e de custo elevado mas, na maioria dos casos, é relativamente simples e de baixo custo. Podem, ainda, contribuir ao desenvolvimento de novas formas de avaliação integrada das paisagens terrestres e à melhor compreensão das mudanças ambientais e a sustentabilidade (Berger, 1996b).

### Metodologia

Os geoindicadores focalizam os componentes abióticos da paisagem e os processos físicos e químicos associados, limitando a consideração das interações com os seres vivos aos corais, os depósitos orgânicos (turfas e solos), a influência de animais e plantas no intemperismo, erosão e deposição, e o papel dos microorganismos que intervêm na química da água subterrânea e os processos cársticos (Thomas, 1990 *apud* Berger, 1996a).

Projetados para uso em avaliações do ambiente em escala local, nacional e internacional por cientistas da Terra e especialistas em pesquisa e gerenciamento ambientais, os geoindicadores são instrumentos de pesquisa e conhecimento das condições do ambiente e das mudanças que nele acontecem, assim como dos efeitos que essas modificações causam no ambiente e/ou seus habitantes e, ainda, suas implicações para o planejamento e a definição de políticas ambientais (Berger, 1996a). A lista original (Tab. 1) inclui vinte e sete geoindicadores, cada um deles iden-

Tabela 1 - Geoindicadores: influencias naturais x influências humanas (modificado de Berger, 1996a)

Geoindicador	Influência natural	Influência humana
Química e padrões de crescimento dos corais	*	*
Crosta e fissuras na superfície do deserto	*	+
Formação e reativação de dunas	*	+
Magnitude, duração e freqüência das tempestades de poeira	*	+
Atividade em solos congelados	*	+
Flutuações das geleiras	*	-
Qualidade da água subterrânea	+	*
Química da água subterrânea na zona não saturada	*	*
Nível da água subterrânea	+	*
Atividade cárstica	*	+
Nível e salinidade dos lagos	*	*
Nível relativo do mar	*	+
Seqüência e composição dos sedimentos	*	*
Sismicidade	*	+
Posição da linha de costa	*	*
Colapso das vertentes (escorregamentos)	*	*
Erosão de solos e sedimentos	*	*
Qualidade do solo	+	*
Fluxo fluvial	*	*
Morfologia dos canais fluviais	*	*
Acumulação e carga de sedimentos nos rios	*	*
Regime da temperatura em sub -superfície	*	+
Deslocamento da superfície	*	+
Qualidade da água superficial	*	*
Atividade vulcânica	*	-
Extensão, estrutura e hidrologia das áreas úmidas	*	*
Erosão eólica	*	+

\* = muito influenciado(a) por, ou muito útil para; + = pode ser influenciado(a) por, ou serve para; - = não é importante ou não tem utilidade. A tabela ilustra, de forma geral, os papéis relativos das mudanças naturais e induzidas pelo homem na modificação das paisagens e os sistemas geológicos.

tificado por nome, descrição, significado, causa (humana ou natural), ambiente onde se aplica, tipos de sítios de monitoramento, escala espacial, método de medição, frequência de mensuração, limitações na aquisição de dados e para monitoramento, aplicação ao passado e ao futuro, limiares possíveis, referências básicas e outras fontes de informação, os aspectos ambientais e geológicos relacionados, acompanhados de uma avaliação global.

A diversidade dos ambientes terrestres e as múltiplas formas, magnitudes e duração das pressões exercidas pela intervenção antrópica sugerem, entretanto, a necessidade permanente de revisões e refinamento da lista original e um conhecimento mais profundo da dinâmica dos processos a serem monitorados (Berger & Iams, 1996). É urgente, também, a introdução de indicadores que avaliem mais precisamente as interações entre parâmetros bióticos e abióticos e seus efeitos no equilíbrio das paisagens, em particular na zona tropical (Coltrinari, 1996), conforme o demonstra a dificuldade dos programas de monitoramento de geoindicadores em desenvolvimento em áreas tropicais para sistematizar seus resultados no formato proposto pela COGEOENVIRONMENT (Berger, comunicação pessoal).

Outra leitura dos geoindicadores propõe que indicadores e índices de mudanças nos componentes geomorfológicos do ambiente sejam utilizados como instrumentos de avaliação dos impactos durante a implantação dos projetos de planejamento (Rivas *et al.*, 1997). A metodologia considera uma realidade complexa (o ambiente), onde se identificam os elementos ou componentes geomorfológicos significativos e se definem os tipos de interações com as atividades humanas. A seguir identificam-se parâmetros ou qualidades relevantes que descrevam essas interações, se propõem os indicadores para avaliação dos impactos e se estabelecem categorias de impactos. O processo finaliza com a integração da avaliação dos impactos geomorfológicos (AIG) no estudo de impacto ambiental (EIA). Para descrição e inventário dos componentes geomorfológicos utilizam-se mapas descritivos (materiais superficiais, unidades de paisagem) e interpretativos (cartas de risco, de qualidade da paisagem).

Quanto às interações entre feições geomorfológicas e intervenções antrópicas, sua diversidade reflete a natureza variada das interações entre as atividades humanas nos diferentes tipos de projetos, e as categorias de feições geomorfológicas que fazem parte do ambiente. Em consequência, os parâmetros utili-

zados na avaliação dos impactos sobre os recursos e reservas geomorfológicos são também variados e requerem tratamento diferenciado. A integração final das informações é difícil, já que impactos diferentes são expressos em unidades ou magnitudes diferentes, e para obter um índice de impacto geomorfológico é necessário transformar unidades heterogêneas em homogêneas (Rivas *et al.*, 1997).

Em síntese, a quantidade e complexidade das variáveis a considerar, a diversidade dos ambientes e das interações decorrentes da intervenção antrópica, e a multiplicidade de combinações possíveis dos componentes geológicos e geomorfológicos numa área específica sugerem que as metodologias acima citadas podem ser úteis para definir parâmetros e critérios de avaliação dos impactos que afetam as feições geomorfológicas. Faltam, entretanto, respostas adequadas para a avaliação dos impactos nos processos atuais, a identificação das contribuições das dinâmicas natural e antrópica e a formulação de prognósticos relativos às mudanças derivadas da intervenção humana nos sistemas naturais.

Essas limitações se acentuam na zona tropical, onde a intervenção antrópica e seus efeitos são mais evidentes e há necessidade de testar metodologias que permitam desenvolver e aplicar geoindicadores específicos para as áreas urbanas e industriais, onde se encontram as maiores concentrações urbanas e as pressões sobre o ambiente natural são mais intensas.

## MUDANÇAS GLOBAIS NOS TRÓPICOS

As pressões antropogênicas sobre os sistemas naturais afetam a cobertura vegetal e a estabilidade do solo mediante mudanças na magnitude, frequência e duração dos fluxos naturais. A avaliação destas mudanças nos trópicos poderia utilizar, de modo mais efetivo, informações e técnicas geomorfológicas para melhorar a compreensão dos impactos nas formas de relevo, os materiais que as sustentam e os processos que as criam e modificam.

As variações dos parâmetros climáticos são também de grande importância para a geomorfologia continental e global; entretanto, as relações entre clima e processos geomorfológicos são difíceis de quantificar em qualquer ambiente terrestre e, em particular, na zona tropical. A simplificação das relações entre o clima e o relevo torna-se inválida quando o conhecimento das durações espaciais e temporais e a magnitude e a frequência dos fluxos hidrológicos, junto com a influência da cobertura vegetal, é fator funda-

mental para o entendimento das mudanças na superfície sólida. Além disso, junto com a zonalidade climática, deve ser considerada a história geológica das paisagens, para que possam ser compreendidas as diferenças entre (e dentro de) as terras baixas tropicais estáveis e altamente intemperizadas e os cinturões orogênicos tectonicamente ativos. (Douglas, 1985).

A ausência de dados sobre os processos geomorfológicos e o caráter aparentemente aleatório das intervenções antrópicas aumentam as dificuldades existentes para administrar, recuperar, conservar e preservar os recursos naturais. As mudanças naturais de, e nas paisagens resultam de ajustes internos nos parâmetros geológicos e climáticos e originam, por sua vez, modificações na vegetação e nos processos, materiais e formas. Essas interações, assim como as variações temporais e espaciais que as afetam, são também pouco conhecidas. Simultaneamente, as atividades antrópicas atuam como pressões externas que modificam os limiares de estabilidade e prejudicam a compreensão das mudanças nos geoindicadores, como acontece, por exemplo, nos canais fluviais por causa das flutuações da vazão e da carga sólida associadas à erosão acelerada das vertentes que resultam do desmatamento seletivo das florestas (Coltrinari, 1996).

#### **A degradação da floresta e do solo**

A vegetação arbórea ocupa 40% da zona tropical e aproximadamente a metade dessa porcentagem é de florestas úmidas (*rainforest*). O resto é ocupado por florestas sazonais, as savanas com árvores -como o cerrado brasileiro, e outros tipos de vegetação, como os mangues (Vanclay, 1993). As florestas tropicais, como a que ocupa a Amazônia brasileira, têm forte influência no clima global e na composição química da atmosfera, além de outras influências na regularização do clima, e sua destruição aumenta a amplitude térmica, modifica a umidade relativa e o albedo superficial e causa modificações na distribuição temporal e espacial das precipitações (Molion, 1991).

Sob floresta densa e saudável, a umidade do solo na zona das raízes é aproveitada pelas plantas para manter o controle da temperatura, estreitamente relacionado com a respiração das folhas e com a fotossíntese, que saturam o ar a uma taxa conhecida, a evapotranspiração potencial. Quando a umidade do solo decresce abaixo de um limite crítico, ou a vegetação é esparsa ou está degradada, o índice de evaporação diminui abaixo deste valor. Com o solo descober-

to, a evaporação pode ser muito inferior a esse limiar, e será determinada pela história da precipitação recente, a ação capilar e a difusão muito lenta do vapor de água nos poros do solo. A erosão e a degradação do solo e, até, o desenvolvimento de ravinas pode acontecer junto com a mudança na vazão e na carga de sedimentos, o aumento das áreas inundadas e as mudanças na morfologia dos canais (NASA, 1988; Gupta, 1993).

Há muito tempo que a atividade humana causa impactos na vegetação. De acordo com Vanclay (1993), a cada ano são destruídos em torno de 17 milhões de ha de florestas tropicais. A África apresenta a maior taxa de destruição (1,7 % / ano) mas a maior área desmatada localiza-se na Amazônia brasileira, onde o desmatamento aumentou gradualmente, de cerca de 2,4% da área florestada (início da Transamazônica), para 3,8% em 1978 e 10,5% em 1991. Entre 1978 e 1988 a destruição anual calculada atingiu 22.000km<sup>2</sup> +/- 10%. Atualmente o desmatamento ao longo das bordas sul e leste da floresta e das rodovias que a atravessam representa a maior ameaça para as áreas relativamente preservadas, acessíveis por via fluvial, ameaça a que se somam as mudanças em trâmite no Código Florestal.

#### **A mineração**

As mudanças nos geoindicadores devidas ao desmatamento (instabilidade do solo pelos fluxos superficiais, modificações no perfil dos canais fluviais por alterações na carga líquida e sólida dos rios) extrapolam a superfície sólida e o desmatamento não é a única fonte de degradação física e química da paisagem. Na mineração de superfície, a ocupação se inicia com a derrubada da vegetação, seja esta floresta ou úmida ou cerrado, seguida da decapagem do solo e a abertura de poços e túneis para acompanhar os veios de ouro. Os materiais inconsolidados do rejeito permanecem na superfície, onde a ausência de cobertura vegetal favorece o desencadeamento de erosão linear dando origem a sulcos e ravinas e a conseqüente sedimentação a jusante. Além das mudanças nos canais, como a perda de profundidade por assoreamento, o aumento da carga sólida reduz a transparência da água e danifica os ecossistemas fluviais.

#### **O crescimento urbano**

Uma síntese das mudanças originadas pela urbanização em ambientes tropicais pode ser encontrada no

estudo de Douglas (1977) sobre Kuala Lumpur (Malásia Peninsular). A derrubada da vegetação, a construção desordenada de habitações precárias, abertura de poços e outras atividades típicas da transição entre o período pré-urbano e a fase inicial da urbanização causaram, entre outros efeitos, aumento dos picos de escoamento de tormenta, desenvolvimento de sulcos e ravinas, assoreamento de vales, perdas de solo e enriquecimento orgânico dos rios. Nas etapas seguintes registrou-se novo aumento da intensidade do escoamento e dos riscos de enchentes, causados pelo aumento da superfície impermeabilizada pela construção de casas e pavimentação das ruas e a obstrução de bueiros e canos de esgoto, além da poluição do sistema de águas pelos resíduos domésticos, e dos rios pelos detergentes e resíduos industriais. Vários desses problemas começaram a fazer parte do cotidiano das cidades brasileiras a partir dos anos 70.

Além de mudanças na hidrologia, a geomorfologia, o clima e a vegetação, muitas áreas urbanas do mundo tropical estão expostas a riscos geológicos ou ambientais importantes, como as localizadas nas proximidades de margens ativas de placas ou no cinturão dos ciclones tropicais (Gupta, no prelo). Esses problemas poderão multiplicar-se no futuro em decorrência do crescimento da população. Pesquisas recentes mostram que a população urbana dos países em desenvolvimento, localizados em sua maioria nas zonas tropical e subtropical, aumentou cinco vezes em 40 anos, de 286 milhões para 1.515 bilhões entre 1950 e 1990 (United Nations (1994) *apud* Gupta & Ahmad (1999)), e deverá chegar a 4.000 milhões em 2025. Entre as cidades que terão crescimento muito grande estão México, Bombaim e São Paulo (Gupta, op. cit.).

Outro efeito do crescimento vertical e horizontal das cidades e a acumulação de calor é a 'ilha de calor', decorrente das mudanças nos fluxos naturais de matéria e energia e associado à redução da evaporação e às características térmicas dos edifícios e superfícies pavimentadas. O termo aplica-se a uma área construída onde a temperatura média do solo é superior àquela das áreas circundantes, criando circulação de ar. A direção dos ventos é modificada e durante tempo calmo - e conforme a morfologia do sítio, tipo de tempo e distribuição dos edifícios, a cidade pode atrair ventos das áreas circundantes, aumentando a poluição. De acordo com Lombardo (1985) o efeito da ilha de calor pode aumentar a precipitação entre 5 e 10% devido ao ar quente ascendente e a alta concentração de aerossóis. O ar poluído e o calor urbano podem induzir a adaptação e, até, a desaparecimento da flora e da fauna.

Maiores precipitações causam, em geral, aumento na frequência dos movimentos de massa e a erosão linear nas vertentes e na taxa de assoreamento de vales e planícies pelos sedimentos erodidos. Este é o caso de São Paulo, onde a área urbana cresceu aproximadamente 3.500 ha/ano entre 1974 e 1987 (Cavalheiro, 1991) em decorrência do crescimento da população associado ao desenvolvimento industrial e causou a expansão do sítio original nas colinas sedimentares em direção às rochas pré-cambrianas profundamente intemperizadas da borda da bacia.

### A acidificação

A acidificação do ar, a terra e a água é o processo cumulativo e múltiplo provocado por poluentes ácidos, ou que transformam-se em ácidos por reações químicas na atmosfera, o solo e a água. É mais uma consequência da concentração industrial e da inexistência de planejamento urbano e industrial (Sevá, 1991). A acidificação pode estar relacionada com processos naturais que favorecem a concentração de compostos mais ácidos, ou com processos técnicos que usam ou emitem ácidos ou compostos acidíferos em seus resíduos e emissões.

O dióxido de enxofre é provavelmente o principal componente da acidificação atmosférica em muitas regiões brasileiras. Uma estimativa mínima das emissões anuais pode ser calculada a partir da quantidade de petróleo e carvão queimados e processados, e seu conteúdo em enxofre: mais de 60 milhões de toneladas/ano de petróleo (brasileiro e importado) com conteúdo de enxofre entre 0,1-5%; aproximadamente 15-20 milhões de toneladas/ano de carvão vegetal e mineral, com 1-8% de enxofre. Os cálculos indicam uma produção anual de 2,5-3,5 Mt de dióxido de enxofre no interior e em torno das principais áreas metropolitanas. As taxas de acidificação no Brasil são similares àquelas das áreas de produção e queima de carvão da Europa. A chuva ácida danifica e destrói a vegetação e induz mudanças na paisagem, como aconteceu em Cubatão, no litoral de São Paulo, onde a destruição de 60km<sup>2</sup> de mata atlântica provocou movimentos de massa e erosão pelo fluxo superficial intensificado.

### GEOINDICADORES PARA OS TRÓPICOS ÚMIDOS

As propostas apresentadas a seguir em ordem cronológica se baseiam em pesquisas realizadas no

Brasil (Coltrinari (1996), Diniz (no prelo)) e em áreas urbanizadas localizadas na zona tropical úmida (Gupta, no prelo). Esta comunicação inclui as listas dos geoindicadores e informações sobre metodologia e fontes de dados utilizadas.

De acordo com Coltrinari(1996) a evolução das paisagens dos trópicos úmidos é pouco conhecida e os dados relativos aos componentes naturais e aos processos que os afetam são escassos ou insuficientes, prejudicando a distinção entre mudanças naturais e antropogênicas. Os indicadores então propostos, revisitos neste texto, podem ser monitorados em escalas espaço-temporais variáveis de acordo com o tamanho, extensão, amplitude, duração e periodicidade dos processos e os parâmetros monitorados. Entre eles merecem atenção especial a distribuição sazonal da chuva, os ciclos vegetais e o ciclo anual das queimadas, capazes de causar mudanças importantes nos geoindicadores na zona tropical úmida.

Os geoindicadores sugeridos são:

- erosão do solo (fluxos superficiais e movimentos de massa)
- erosão remontante nas cabeceiras
- expansão das superfícies de solo nu
- mudança de fluxo não concentrado a concentrado
- morfometria e morfologia das vertentes
- movimentos de massa e sinais de movimentos futuros
- morfologia dos canais fluviais
- vazão e carga sólida dos rios
- coluvionamento e aluvionamento
- conteúdo de matéria orgânica no solo
- volume e área dos depósitos tecnogênicos
- erosão e sedimentação costeiras
- deltas
- mudanças qualitativas e quantitativas na cobertura vegetal
- poluição/acidificação do ar, a terra e a água

Para coleta de dados, monitoramento dos geoindicadores e avaliação das mudanças pretéritas (Quaternário Superior) as fontes e metodologias são:

- trincheiras, vertentes de ravinas, parcelas para monitoramento geomorfológico e amostras de solo e materiais superficiais para análises físicas e químicas e estudos micromorfológicos
- mapas e perfis de vertentes, mapas topográficos e temáticos, imagens e fotografias aéreas e terrestres, outros produtos de sensoriamento remoto e bancos de dados

- monitoramento meteorológico e hidrológico e dados derivados
- levantamento de campo da vegetação e monitoramento meteorológico no andar inferior da vegetação e clareiras
- relatórios científicos, técnicos, políticos, sócio-econômicos e dissertações/teses em geografia, geologia, geoquímica, hidrologia, engenharia, etc.
- dados geológicos, arqueológicos, paleontológicos, etc. e datações
- documentos, mapas, fotografias de paisagens

Os geoindicadores e parâmetros considerados referem-se a exemplos e tipos de degradação da paisagem brasileira com a intenção de mostrar as interações entre processos naturais e antropogênicos que podem causar mudanças ambientais de curto prazo. Servem também para verificar que a degradação e vários indicadores não são diferentes daqueles estudados em outros ambientes e podem, em consequência, ser monitorados mediante a utilização de métodos e instrumentos similares. As diferenças surgem quando se comparam os atributos dos processos e seus efeitos nos indicadores – ritmo, intensidade, magnitude, duração, permanência. É provável que, em muitos casos, essas diferenças estejam relacionadas com variações na cobertura vegetal, cujo monitoramento específico seria necessário para completar a pesquisa dos geoindicadores (Coltrinari, 1996).

Diniz (no prelo) apresenta um sistema geo – ambiental que utilizou tecnologia de SIG (Sistema de Informação Geográfica) para elaborar cenários para geoindicadores no Estado de São Paulo, elaborado a partir da Base de Dados Geo – Ambiental do Estado de São Paulo ou Sistema GAIA. O sistema foi desenvolvido no âmbito de um projeto interno no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) do Estado de São Paulo e vem sendo aplicado para o zoneamento ambiental, monitoramento de unidades de conservação e manejo de recursos hídricos. O Sistema GAIA é formado por uma base de dados, um banco de imagens e um banco alfa – numérico que pode ser utilizado em cenários de geoindicadores, aplicando atributos e critérios da geologia de engenharia à avaliação ambiental. Diniz (op. cit.) enfatiza a importância do gerenciamento correto de dados e informações, já que a pesquisa dos geoindicadores demanda e utiliza grande quantidade de informações e dados muito diversos para melhorar a compreensão dos processos ambientais e físicos e avaliar de forma integrada os impactos sobre as construções humanas. Ao mesmo tempo, dadas a diversida-

de e amplitude dos problemas ambientais no Estado de São Paulo, é necessário que o Sistema GAIA archive, preserve e processe as informações disponíveis em formato acessível para pesquisadores e demais usuários.

Os cenários dos geoindicadores, baseados na lista já citada (Berger, 1996a), são os processos geológico – geomorfológicos atuais, e os critérios da engenharia fornecem a medida dos respectivos atributos condicionantes, conforme a seguinte lista:

- erosão (ton/ha/ano)
- movimento de massa ( $m^3$ /evento x chuva mm acumulada/72 horas)
- sedimentação ( $m^3$ /ton/ano)
- colapso cárstico ( $m^2$ /número de ocorrências)
- colapso de solo ( $m^2$ /número de ocorrências)
- expansão de solo ( $m^2$ /número de ocorrências)
- recalque ( $m^2$ /número de ocorrências)
- sismicidade (intensidade MM/número de ocorrências)

A produção dos cenários dos geoindicadores, apresentada de forma sumária e ainda em sua fase inicial, é contribuição metodológica importante para o desenvolvimento de trabalhos futuros e fonte de informação sobre riscos e problemas geoambientais que não constam da cartografia convencional. Mostram também que há ainda muita pesquisa e muitos dados a coletar na procura de aperfeiçoamento dos cenários atuais e do avanço na quantificação e detalhamento dos processos geológico – geomorfológicos para uso no monitoramento.

O tema dos geoindicadores de Gupta (no prelo) é a urbanização na zona tropical e suas consequências na hidrologia, geomorfologia, clima, vegetação, e a qualidade do ar e da água. A intensidade e velocidade dessas mudanças demandam avaliações precisas e rápidas das transformações que afetam o ambiente urbano. Para tanto, apresenta geoindicadores selecionados por sua eficiência para medir os impactos ambientais e pelo tipo de dados necessários para sua utilização e chama a atenção para a escassez de informações quantitativas sobre as cidades da zona tropical.

Os geoindicadores estão agrupados em dois conjuntos: o primeiro segue o formato proposto por Berger (1996a), e o segundo foi organizado para aplicação em cidades localizadas em sítios tais como deltas ou planícies costeiras, vertentes íngremes, ou na proximidade de bordas de placas convergentes ou trans-

versas. O objetivo das propostas é criar meios de avaliar corretamente a qualidade mutável do ambiente geológico urbano e os riscos a que as cidades estão expostas de forma permanente, tanto para prevenir maior deterioração do ambiente urbano como para melhorar a qualidade de vida de suas populações.

Do primeiro grupo fazem parte indicadores úteis para todas as áreas urbanas, cuja aplicação é urgente nas cidades dos trópicos:

- intensidade e magnitude das inundações
- diminuição, transferência e recarga da água subterrânea
- instabilidade das vertentes
- modificações nos canais fluviais
- mudanças na temperatura, precipitação e evapotranspiração
- mudanças no uso da terra
- aumento de contaminantes e partículas sólidas no ar urbano
- destino da água servida

O segundo grupo é sugerido por Gupta (op. cit.) como meio de registrar problemas específicos:

- inundação de áreas baixas (cidade em planícies de inundação e deltaicas)
- colapso de vertentes (áreas íngremes e cidades próximas a margens de placas convergentes e transversas)
- subsidência do solo (cidades em planícies costeiras e áreas deltaicas)
- perturbações sísmicas (cidades em margens ativas de placas)
- riscos vulcânicos (cidades em margens ativas de placa)
- deslocamento de areia e de dunas nos trópicos áridos

A lista de geoindicadores inclui o detalhamento de atributos e parâmetros similares aos que figuram na lista original de geoindicadores (Berger, 1996a).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conteúdo das três propostas que acabam de ser lidas é praticamente unânime na indicação dos processos e/ou eventos que desencadeiam ou acentuam a degradação do ambiente na zona tropical, em particular nos trópicos úmidos, e na constatação da velocidade e intensidade com que as mudanças e seus

efeitos acontecem. Destacam também a dificuldade em estabelecer limites claros entre os efeitos dos processos naturais e aqueles dos processos antrópicos ou antropogênicos, em particular nas áreas onde a expansão das concentrações urbanas chega antes que os pesquisadores.

A diversificação e o aprofundamento do conhecimento geomorfológico global e, em especial da zona tropical, poderão contribuir ao desenvolvimento de novos conceitos e métodos e à consideração mais demorada da influência dos efeitos antropogênicos nas paisagens, fazendo com que as lacunas apontadas sejam eliminadas. A introdução e desenvolvimento dos estudos de processos, a adoção e atualização das técnicas de campo e laboratório e o interesse crescente pelas pesquisas multidisciplinares e multiescalares incentivaram o desenvolvimento das pesquisas aplicadas em geomorfologia, em particular em áreas sujeitas a riscos naturais ou às pressões antrópicas, e seus resultados poderão, em seu momento, contribuir ao desenvolvimento das pesquisas básicas. É possível também que a pesquisa dos geoindicadores se constitua em um ramo independente dentro da geomorfologia aplicada.

De um ponto de vista mais abrangente, constata-se que as mudanças no ambiente terrestre são cada vez mais rápidas como consequência do aumento da população humana e do nível de consumo de recursos básicos, e das mudanças na tecnologia e nas organizações sócio – políticas (Turner II *et al.*, 1995), e demandam conhecimento atualizado e detalhado sobre os ecossistemas e sua sustentabilidade

Iniciativas como as da COST (Cooperação Européia na Pesquisa Científica e Técnica), seus projetos ou ações podem constituir fonte importante desse tipo de informações. O projeto 623, cujo tema é 'Erosão do solo e mudanças globais' focaliza três assuntos principais, cada um deles coordenado por um grupo de trabalho. Esses temas são: 'Relação de processos de erosão através de escalas temporais e espaciais', 'Limiares – chave para a erosão do solo' e 'Bancos de dados para estudos de erosão'. Como cada um desses programas deve responder a questões relativas tanto à pesquisa básica quanto a problemas práticos, os resultados obtidos podem ser utilizados tanto para alimentar e melhorar os modelos de erosão do solo conhecidos quanto para o aconselhamento dos pequenos proprietários, gerentes de grandes propriedades e pessoas afetadas pela poluição generalizada. Informações sobre esse e outros projetos similares podem ser obtidas

no *site* da Associação Polonesa de Geomorfologia (<http://main.amu.edu.pl/~sgp/gw/gw.htm>), The Virtual Geomorphology.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berger, A. 1996a. Introduction to geoinicator checklist. In: Berger, A. & Iams, W.J.(eds.). **Geoindicators: assessing rapid environmental changes in Earth systems**. Rotterdam, A. A. Balkema, p. 383- 457.
- Berger, A. 1996b. The geoinicator concept and its application: an introduction. In: Berger, A. & Iams, W.J.(eds.). **Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in Earth systems**. Rotterdam, A. A. Balkema, p.1-14.
- Berger, A. & Iams, W.J.(eds.). 1996. **Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in Earth systems**. Rotterdam, A. A. Balkema, 466 p.
- Coltrinari, L. 1996. Natural and anthropogenic changes in the Brazilian tropics. In: Berger, A. & Iams, W.J.(eds.) **Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in Earth systems**. Rotterdam, A. A. Balkema, p. 295-310.
- Diniz, N. C. (no prelo). A geo-environmental data base due to elaborate geoindicators scenarios of São Paulo State based on engineering-geological criteria. **Environmental Geology**.
- Douglas, I. 1977. The impact of urbanisation on fluvial geomorphology in the humid tropics. In: Alexandre, J. (coord.) **Géomorphologie dynamique dans les régions intertropicales**. Zaire, Presses Universitaires du Zaïre, p. 229 – 242 / *Géo – Eco – Trop*, 2 (1-2).
- Douglas, I. 1985. Global mega - geomorphology. In: Hayden, R.S. (ed.). **Global mega – geomorphology**. USA, NASA, CP 2312, p.10 – 17.
- Gupta, A. 1993. The changing geomorphology of the humid tropics. In Vitek, J. D. & Giardino, J.R. (eds.). **Geomorphology: The research frontier and beyond**. Amsterdam, Elsevier, p. 165 – 186.
- Gupta, A. (no prelo) Geoindicators for tropical urbanisation. **Environmental Geology**.
- Gupta, A. & Ahmad, R. (1999) Geomorphology and the urban tropics: building an interface between research and usage. **Geomorphology**, 31: 133-149.
- Lombardo, M.A. 1985. **Ilha de calor nas metrópoles: O exemplo de São Paulo**. São Paulo, Hucitec.
- Molion, L.C.B. 1991. The Amazonia and the global climate. *Boletim IG-USP, Publicação Especial*, 8: 15 –23.
- NASA 1988) **Earth Science System: A closer view**. Washington, D.C., National Aeronautics and Space Administration Advisory Council, Earth System Science Committee. 208p.
- Reynolds, R. 1985. Tropical meteorology. **Progress in Physical Geography**, 9: 157-186.
- Rivas, V.; Rix, K.; Francés, E.; Cendrero, A. & Brunsten, D. 1997. Geomorphological indicators for environmental impact assessment: consumable and non – consumable geomorphological resources. **Geomorphology**, 18, (3-4): 169-182.
- Sevá, O. 1991. Onde estão as 'manchas ácidas' no Brasil? **Estudos Avançados**, 11(5):81-107.
- Turner II, B.L.; Skole, D.; Sanderson, S.; Fischer, G.; Fresco, L. & Leemans, R. 1995. **Land-use and land-cover change: Science/ research plan**. Stockholm and Geneva. (IGBP Report, n. 35/HDP Report, n. 7), 132p.
- United Nations (1994) Population, environment and development. In UNITED NATIONS EXPERT GROUP MEETING ON POPULATION, ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1992, New York. **Proceedings...** New York, United Nations, 58p.
- Vanclay, J.K. 1993. Saving the tropical forests: needs and prognosis. **Ambio**, 22 (4): 225-231.
- World Commission on Environment and Development. 1987. **Our common future**. Oxford, Oxford University Press, 398p.