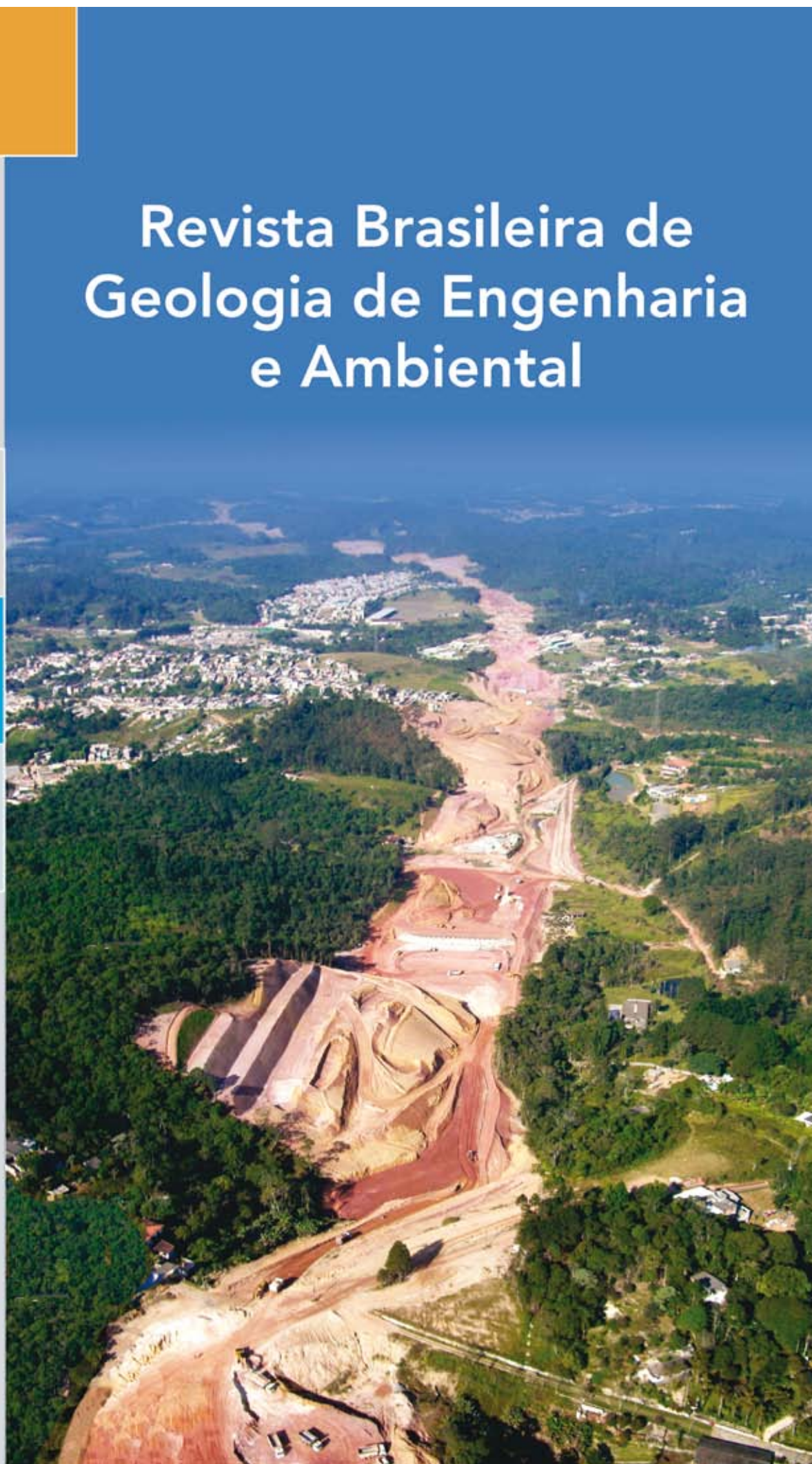




ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

# Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental



ISSN 2237-4590

Volume 1  
Número 1  
Novembro 2011

*Edição Especial*





ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

# **RBGEA**

## **REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

**REVISTA BRASILEIRA DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E AMBIENTAL**

*Publicação Científica da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*

EDITOR

Lázaro Valentim Zuquette - USP

CO EDITOR

Fernando F. Kertzman - GEOTEC

REVISORES

Antonio Cendrero - Univ. da Cantabria (Espanha)

Alberto Pio Fiori - UFPR

Candido Bordeaux Rego Neto - IPUF

Clovis Gonzatti - CIENTEC

Eduardo Goulart Collares - UEMG

Emilio Velloso Barroso - UFRJ

Fabio Soares Magalhães - BVP

Fabio Taioli - USP

Frederico Garcia Sobreira - UFOP

Guido Guidicini - Geoenergia

Helena Polivanov - UFRJ

Jose Alcino Rodrigues de Carvalho - Univ. Nova de Lisboa (Portugal)

José Augusto de Lollo - UNESP

Luis de Almeida Prado Bacellar - UFOP

Luiz Nishiyama - UFU

Marcilene Dantas Ferreira - UFSCar

Marta Luzia de Souza - UEM

Newton Moreira de Souza - UnB

Oswaldo Augusto Filho - USP

Reinaldo Lorandi - UFSCar

Ricardo Vedovello - IG/SMA

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Rita Motta - Editora Tribo da Ilha

FOTO DA CAPA

Obras do Rodoanel trecho sul, nas proximidades da represa Billings.,  
tirada em 08 de julho de 2008 . Fabrício Araujo Mirandola - IPT

---

**Edição Especial**

**Circulação:** Novembro de 2011

**Tiragem:** 2.500

ISSN 2237-4590

---

São Paulo/SP

Novembro/2011



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA  
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

**Av. Prof. Almeida Prado, 532 - IPT (Prédio 11) 05508-901 - São Paulo - SP**  
Tel.: (11) 3767-4361 - Telefax: (11) 3719-0661 - E-mail: abge@ipt.br - Home Page: <http://www.abge.com.br>

DIRETORIA - GESTÃO 2009/2011

**Presidente:** Fernando Facciolla Kertzman  
**Vice-Presidente:** Gerson Salviano de Almeida Filho  
**Diretora Secretária:** Kátia Canil  
**Diretor Financeiro:** Luiz Fernando D'Agostino  
**Diretor de Eventos:** Elisabete Nascimento Rocha  
**Diretor de Comunicação:** Marcelo Fischer Gramani

CONSELHO DELIBERATIVO

Elaine Cristina de Castro, Elisabete Nascimento Rocha, Fabio Canzian da Silva, Fabrício Araújo Mirandola, Fernando Facciolla Kertzman, Fernando Ximenes T. Salomão, Gerson Almeida Salviano Filho, Ivan José Delatim, Kátia Canil, Leonardo Andrade de Souza, Luiz Antonio P. de Souza, Luiz Fernando D'Agostino, Marcelo Fischer Gramani, Newton Moreira de Souza, Selma Simões de Castro.

NÚCLEO RIO DE JANEIRO

**Presidente:** Nelson Meirim Coutinho - **Vice-Presidente:** Antonio Queiroz  
**Diretor Secretário:** Eusébio José Gil - **Diretor Financeiro:** Cláudio P. Amaral  
**End.:** Av. Rio Branco, 124 / 16º andar - Centro - 20040-916 - Rio de Janeiro - RJ  
**Tel :** (21) 3878-7878 **Presidente - Tel.:** (21) 2587-7598 **Diretor Financeiro**

NÚCLEO MINAS GERAIS

**Presidente:** Maria Giovana Parizzi - **Secretário:** Frederico Garcia Sobreira  
**Tesoureiro:** Luís de Almeida P. Bacellar - **Diretor de Eventos:** Leonardo A. Souza  
**End.:** Univ. Fed. de Ouro Preto - Depto. Geologia - 35400-000 - Ouro Preto/MG  
**Fone:** (31) 3559.1600 r 237 **Fax:** (31) 3559.1606 -

REPRESENTANTES REGIONAIS	UF
ROBERTO FERES	AC
HELIENE FERREIRA DA SILVA	AL
JOSÉ DUARTE ALECRIM	AM
CARLOS HENRIQUE DE A.C. MEDEIROS	BA
FRANCISCO SAID GONÇALVES	CE
NORIS COSTA DINIZ	DF
JOÃO LUIZ ARMELIN	GO
MOACYR ADRIANO AUGUSTO JUNIOR	MA
ARNALDO YOSO SAKAMOTO	MS
KURT JOÃO ALBRECHT	MT
CLAUDIO FABIAN SZLAFSZTEIN	PA
MARTA LUZIA DE SOUZA	PR
LUIZ GILBERTO DALL'IGNA	RO
CEZAR AUGUSTO BURKERT BASTOS	RS
CANDIDO BORDEAUX REGO NETO	SC
JOCÉLIO CABRAL MENDONÇA	TO





A Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) é uma proposta da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) no sentido de suprir uma lacuna nacional para publicação de trabalhos científicos técnicos e de exemplos de aplicação da Geologia de Engenharia e Ambiental, que venham agregar conhecimentos aos profissionais, pesquisadores e comunidade em geral, tanto em nível nacional como internacional.

A frequência será de três números regulares por ano, e números especiais, no caso de seleção de trabalhos relacionados a um tema específico.

A RBGEA terá o primeiro número na forma impressa, e, logo que tiver uma sequência definida, será uma publicação eletrônica, impressa anualmente. Com este periódico espera-se que haja um avanço nas relações entre os profissionais que atuam na formação e pesquisa e aqueles que atuam nas outras esferas da profissão. Assim, será reforçada a relação que tornou a atividade de Geólogo de Engenharia e Ambiental relevante em diversos países, fazendo com que a profissão ocupe uma posição de destaque na sociedade, com questões relevantes relacionadas ao Planejamento Urbano e as Obras de Infraestrutura e tantos outros.

Espera-se que esta publicação atinja seus objetivos e venha subsidiar estudantes e profissionais da Geologia de Engenharia nas suas atividades, seja nas universidades, nos institutos, nas empresas de economia mista, públicas ou privadas.

A Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (RBGEA) destina-se à divulgação

de investigações, estudos e soluções de problemas de engenharia e ambientais decorrentes da interação entre a Geologia e as atividades humanas - (incluindo aspectos relevantes da Geologia relacionados à Engenharia Civil, Mineração e Recursos Hídricos, assim como relacionados à previsão de eventos perigosos, às áreas contaminadas, aos processos geológicos, à prevenção e remediação de áreas degradadas) -, Planejamento Territorial e Ambiental, Banco de Dados e Casos Históricos; além destes estudos serão também contemplados os processos modernos, as novas técnicas de campo e laboratório e temas científicos de interesse amplo e caráter original, sempre relacionados com a Geologia de Engenharia e Ambiental e com as ciências da terra de uma forma geral, seja do Brasil seja de outros países, publicados na língua portuguesa e espanhola.

O primeiro número apresenta artigos históricos de três profissionais que dão nome aos Prêmios da ABGE para os destaques de nossa categoria: Ernesto Pichler, Lorenz Dobereiner e Fernando Luiz Prandini, bem como uma série inicial de artigos encomendados pelos Editores. A segunda edição continuará com autores convidados pelos Editores; e a terceira edição será um dos melhores trabalhos escolhidos no 13º CBGE. Na sequência, haverá publicações digitais reunindo os artigos submetidos por diversos autores.

Boa leitura à todos.

**Lazaro V. Zuquette e  
Fernando F. Kertzman**







- 9** BOÇOROCAS  
*Ernesto Pichler (In memorian)*
- 17** CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO DE FUNDAÇÃO DA UHE CACHOEIRA PORTEIRA  
*Lorenz Dobereiner (In memorian)*  
*Fernando Pires de Camargo*  
*Alarico A. C. Jácomo*
- 29** O BRASIL E A GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO TERRITORIAL E URBANO  
*Fernando Luiz Prandini (In memorian)*
- 41** UM BREVE RELATO SOBRE A GEOLOGIA DE ENGENHARIA  
*Lazaro Valentin Zuquette*
- 57** INTEGRAÇÃO DE ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS APLICADOS A PROJETOS DE ENGENHARIA E À AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: ESTAMOS AVANÇANDO?  
*Omar Yazbek Bitar*  
*Amarilis Lucia Casteli Figueiredo Gallardo*  
*Sofia Julia Alves Macedo Campos*  
*Tânia de Oliveira Braga*  
*Caio Pompeu Cavalhieri*
- 73** GEOLOGIA APLICADA A BARRAGENS: UMA REVISÃO DE PROCEDIMENTOS  
*Luiz Ferreira Vaz*  
*Magali Dubas Gurgueira*  
*Talita de Oliveira Muzzi*
- 93** CONTRIBUIÇÃO PARA A GEOLOGIA DE ENGENHARIA APLICADA ÀS CIDADES. EXPERIÊNCIA DE LONGA DURAÇÃO EM BELO HORIZONTE – MG  
*Edézio Teixeira de Carvalho - GEOLURB*
- 109** GESTÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS NO BRASIL  
*Margareth Mascarenhas Alheiros*
- 123** IMPORTÂNCIA DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA E GEOMECÂNICA NA MINERAÇÃO  
*Sérgio N. A. de Brito*  
*Paulo R. C. Cella*  
*Rodrigo P. Figueiredo*



# CONTRIBUIÇÃO PARA A GEOLOGIA DE ENGENHARIA APLICADA ÀS CIDADES. EXPERIÊNCIA DE LONGA DURAÇÃO EM BELO HORIZONTE – MG

EDÉZIO TEIXEIRA DE CARVALHO  
GEOLURB\* - edeziotc@gmail.com

## RESUMO ABSTRACT

Constitui pretensão do autor neste trabalho pontuar características distintivas do objeto da Geologia de Engenharia aplicada aos meios urbanos das quais partes da humanidade parecem ter-se esquecido, como a de sua perenialidade em face de componentes seus naturalmente transitórios, e do itinerante, a água, tão maltratada pela lei e pela rejeição. Tem também, com um exemplo de análise cartográfica, a pretensão de aproximar trabalhos cartográficos simplificados da capacidade de recepção dos setores profissionais usuários, e a de divulgar o método geológico aplicado a soluções compartilhadas centradas nos aterros de resíduos inertes que as cidades continuarão a produzir.

**Palavras-Chave:** Geologia de engenharia, geologia urbana, cidades, análise cartográfica, resíduos sólidos.

## CONTRIBUTION TO THE ENGINEERING GEOLOGY APPLIED TO THE CITIES. LONG TIME EXPERIENCE IN BELO HORIZONTE - MG

The author's intention in this work is to point out the distinguishing characteristics of the object of engineering geology applied to urban areas of which parts of humanity seem to have forgotten, like its perennality in the face of its components naturally transient and itinerant water so mistreated by law and rejection. It has also, with an example of cartographic analysis, the intention of bringing simplified cartographic works to the reception capacity of the professional sectors users, and to disclose the geological method as applied to shared solutions focused on landfills of inert waste that cities will continue to produce.

**Keywords:** Engineering geology, urban geology, cities, waste disposal, cartographic analysis.

## 1 INTRODUÇÃO

A geologia de engenharia aplicada às cidades é domínio técnico-científico de campo aberto. De um lado, isto ocorre porque tem suas técnicas e métodos, lastreados na geologia, desafiados a acompanhar a dinâmica de seus pilares conceituais situados nos domínios da física, química e biologia. De outro, ela deve acompanhar também a expansão previsível de seu objeto material – a Cidade. Este, ao longo da história das civilizações, experimentou todos os ambientes geológicos, com soluções de crescente complexidade e dinâmica criatividade. Desfazendo o temor de que o experimento urbanístico terá conhecido o “fim da história” por causa de regulamentações coercitivas

da criatividade, em países como o Brasil, desde o nível constitucional até a cadeira do agente local interpretando a Lei, veem-se florescer alhures a criação. As cidades não se constroem apenas sobre as plataformas que a natureza oferece. Estas vão sendo criadas até no meio do mar de acordo com o projeto do edificado.

Este é artigo de cunho conceitual, filosófico, lógico, epistemológico. Reconhece o autor a elástica extensão dos conceitos aqui tratados de plataforma geológica das cidades e do próprio conceito de cidade, e opta por jogar um facho de luz sobre conceitos da ferramenta e de seu objeto. Procedimentos metodológicos típicos do ferramental da geologia de

\* GEOLURB – Geologia Urbana e de Reabilitação, Belo Horizonte, MG, Brasil. geolurb@gmail.com. Edézio Teixeira de Carvalho, Eng. Geólogo, Mestre em Geologia de Engenharia pela Universidade Nova de Lisboa.

engenharia aplicada aos meios urbanos, compa-  
recem com finalidade mais propriamente ilustra-  
tiva. Destacam-se dois tipos de trabalho de cunho  
metodológico: A caracterização de unidades de  
terrenos nos trabalhos de diagnóstico, inspirada  
em Grant (1974) e o projeto de intervenção de ob-  
jetivos tipicamente múltiplos (soluções comparti-  
lhadas) aqui chamado Método Geológico aplicado  
à implantação de aterros de resíduos inertes, da  
qual deu o autor em Santos (2002) notícia publica-  
da. Nesta segunda atividade passa o geólogo do  
papel de gerador de dados a um papel de maior  
participação executiva.

## 2 CONCEITOS BÁSICOS, DEFINIÇÕES GERAIS, CONSIDERAÇÕES LÓGICAS

A balizar o campo conceitual desta exposição  
há dois elementos extremos: O Objeto Cidade e  
a Ferramenta Geologia de Engenharia Aplicada  
às Cidades. Invertendo a ordem, conceitua-se ini-  
cialmente a ferramenta e a seguir seu objeto.

### 2.1 Geologia de engenharia aplicada às cidades. Conceitos básicos

A ferramenta tem três níveis de conceituação  
bem caracterizados:

- a) a geologia como ciência;
- b) a geologia urbana como domínio do campo  
da lógica da geologia aplicada aos meios ur-  
banos;
- c) a geologia de engenharia como domínio do  
campo tecnológico.

A geologia não é ciência de campo exclusivo,  
circunscrito, mas uma superestrutura apoiada em  
três pilares conceituais: as ciências naturais Quími-  
ca, Física e Biologia. Portanto, algumas ferramen-  
tas da geologia são típicas desses campos. Outras  
ferramentas da geologia são dela exclusivas por  
não caberem nos campos parcelares daquelas ci-  
ências, que, para os fins de compreensão da Terra  
e de operação sobre ela, devem ser consideradas  
**ciências parcelares**, não obstante essenciais e sem  
as quais a geologia não viveria.

A prática da geologia trata de dois objetos ir-  
restritamente intercambiáveis no tempo e no espa-  
ço: o Fato Geológico e o Processo Geológico. Essa

intercambiabilidade entre Fato e Processo pode  
ser sumariada na assertiva abaixo:

***Fato Geológico condiciona Processo Geológico e  
Processo Geológico gera Fato Geológico.***

A assertiva tem concisão propositada, como  
a do enunciado de lei cara aos geólogos — *o pre-  
sente é a chave do passado* — embora deva ser lida  
em sua abrangência mais ampla. É evidente para  
o geólogo atento que o fato geológico, ao colocar  
condicionamentos ao processo geológico, oferece-  
lhe materiais que dele vão participar, como areias  
transportadas em torrentes, que arranharão as  
bordas dos leitos de escoamento e integrarão o  
produto final na forma de um depósito aluvial.

A Geologia Urbana é o domínio da abran-  
gência conceitual das aplicações da geologia aos  
meios urbanos, com capacidade de concepção  
para oferecimento de alternativas não substituti-  
vas, mas complementares, ao urbanismo, arquite-  
tura, engenharia construtiva e sanitária. Embora  
não englobando a geologia urbana toda a geolo-  
gia ambiental, fenômenos ambientais passados  
nos meios urbanos e os neles urdidos devem ser  
considerados da alçada da geologia urbana.

A Geologia de Engenharia é o braço operati-  
vo da Geologia Urbana. Na formulação mais co-  
mum, integra com a mecânica dos solos e a das  
rochas a geotecnia, base teórica da engenharia  
geotécnica. A geologia de engenharia responde  
nesse tripé pela posição, geração, evolução dos  
materiais naturais, quer enquanto fixados nos  
substratos rochosos, quer transitantes pela super-  
fície levados por água, gelo, ventos ou ao sabor da  
lei da gravidade.

É oportuno assinalar que, dada a mobilização  
de massas geológicas consequente à implantação das  
cidades e a sua exposição a escoamentos de vazão  
crescente e concentrada, pode o processo geológico  
assumir aí relevância superior à do fato geológico.

### 2.2 Componentes do sistema geológico

No âmbito da geologia aplicada aos meios ur-  
banos, parece conveniente o uso do designativo *pla-  
taforma geológica*, que transmite a idéia de interação

entre suporte do edificado e o edificado na formação da Cidade. Nos estudos urbanos e ambientais, o campo da geologia tem sido designado por *meio físico*, estabelecendo compartimentação formal com os demais, meio biótico e meio antrópico. Evidentemente o meio biótico é componente real do sistema geológico. Ainda mais longe se deve ir nestas observações porque o meio antrópico tem aspectos naturalmente incluídos no sistema geológico, no que diz respeito ao papel de agente geológico racional no sentido dado por Ter-Stepanian (1988), da espécie humana. Consequência natural dessa compartimentação é a **restrição de abrangência** do campo da geologia, a rigor amputação, forma nada sutil de *sacrificio dell'intelletto* a reclamar atenção dos geólogos e de suas associações.

Expõe-se a concepção aqui adotada de composição da plataforma geológica, omitidos componentes menores:

- Componente permanente: o arcabouço mineral, incluídas aí as formações superficiais móveis e as de origem ou contribuição antrópica;
- Componente transitório: flora e fauna;
- Componente itinerante: fluidos intersticiais, especialmente a água circulante.

### 2.2.1 COMPONENTE PERMANENTE

Responde pelo suporte físico do edificado. O termo permanente pretende estabelecer diferenciação com o caráter típico dos demais, necessariamente variantes com o tempo. Não obstante pode ser modificado por processos naturais ou por intervenções projetadas. Em regiões sujeitas a grandes modificações da configuração superficial em processos endógenos ou exógenos, o componente permanente tem este caráter pontualmente suspenso, mas retomado a seguir após as adaptações que acompanham os eventos causadores. Nas cidades planejadas ou em reurbanizações drásticas são comuns operações de terraplenagem de grande envergadura. Exemplos dessas operações destinadas a melhorar, com êxito ou não, as configurações superficiais das plataformas geológicas são:

- a) elevação do piso de áreas inundáveis por meio de resíduos inertes ou bota-fora geológico;
- b) regularização superficial por meio de operações de corte e aterro de terrenos naturalmente muito ondulados, ou densamente rasgados por ravinas;

- c) enchimento de cavidades naturais ou de grandes cavidades de erosão ou cavas de mineração com resíduos inertes.

A elevação do piso é recurso usado frequentemente de modo artesanal para afastar ou reduzir a frequência de inundações. Aqui é listado como atividade planejada para ocupação pioneira de vales ou para reurbanização de áreas extensas de favelas, com objetivos múltiplos (disposição de inertes, controle de risco geológico, controle de inundações, conservação da água) configurando o princípio das soluções compartilhadas proposto por Carvalho e Prandini (1998). Já aqui é oportuno chamar atenção para um fato muito importante: as elevações de pisos em altos vales de cabeceiras, por aterros marginais ou confinados nos eixos desses vales oferecem às águas pluviais reservatório adicional em comparação com o pré-existente, desta forma reduzindo as vazões de pico para jusante. Essas elevações, em faixas marginais de baixos vales, contrariamente ao acréscimo de reservatório geológico, ocupam o espaço que a água ocuparia no leito maior dos cursos d'água. Sumariamente: um aterro de resíduos em alto vale, com 1000 m<sup>3</sup> de volume, oferece (ordem de grandeza) 200 m<sup>3</sup> de reservatório adicional à água, e, descontada a umidade higroscópica, cerca de 100 m<sup>3</sup> de capacidade de regularização. Colocado na planície aluvial de um rio, em seu leito maior, portanto, leito das cheias excepcionais, esse mesmo aterro, toma a esse leito maior 900 m<sup>3</sup> de capacidade de armazenamento. Funciona ele aí, portanto, exatamente como o assoreamento indesejável.

As regularizações superficiais do item b) acima, em áreas bem drenadas, podem ser neutras em termos de alteração do volume de armazenamento total disponível, por exemplo, nos casos de solos espessos. Entretanto, as condições de entrada da água podem ser melhoradas com a operação e o controle hidrológico tornar-se-á mais eficaz. Naturalmente as urbanizações espontâneas tendem a ocupar as cristas e os vales, deixando as encostas de perfil sigmoidal desocupadas, gerando riscos para uns e outros. A situação é muito penetrativa em vales da Mantiqueira de Minas Gerais, onde declividades naturais suaves são restritas a margens fluviais e a topos de espigões. É também muito frequente ainda em Belo Horizonte.

O enchimento de cavidades do item c) é objeto do Método Geológico, matéria destacada neste artigo.

## 2.2.2 COMPONENTE TRANSITÓRIO

O componente transitório, compartilhado com a biologia, tem nos aspectos geológicos massa e forma de agregação ao arcabouço mineral, grande relevância no metabolismo urbano por sua típica transitoriedade e variações sazonais. Da transitoriedade resulta não poderem acompanhar a vida das cidades. Já deste ponto se pode estruturar consequências práticas de grande relevância. Uma delas: inexistente sentido prático em preservar árvore comum isolada, se ela não cumprir função especial ou se comprometer funções essenciais da cidade porque chegará naturalmente ao termo de sua vida enquanto a cidade continuará. Por outro lado, o agrupamento em praça ampla ou o bosque em parque poderão ser objeto de preservação, sem prejuízo das substituições **regulares** requeridas pelo estado das árvores que o integram.

Funções urbanas do componente transitório, para só ficar na cobertura vegetal, são:

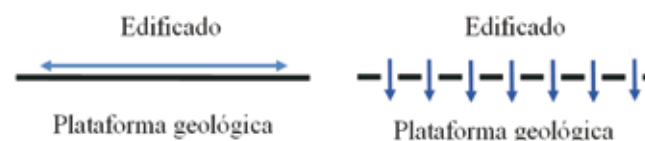
- função auxiliar de proteção e imobilização de massas geológicas do componente permanente;
- proteção e nutrição da fauna admitida no meio urbano;
- função auxiliar do processo de infiltração das águas pluviais;
- proteção do componente permanente em face de insolação excessiva e do escoamento torrencial;
- controle de ruídos;
- atenuação do processo de formação de ilhas de calor;
- controle de poluição do ar;
- participação na configuração estética dos meios urbanos.

Vegetais e animais conviventes no meio urbano são afetados pela sazonalidade. Entre os vegetais árvores caducifólias ou frutíferas e herbáceos; entre os animais aves de arribação. Cada cidade deve ter forma adequada de manejo e controle de excessos. Considerando a decantada sustentabilidade dos tempos atuais, a cidade atenta poderá estabelecer para o transitório um processo regular de substituição de árvores com aproveitamento local da madeira, como combustível ou

mobiliário urbano<sup>1</sup>. A transitoriedade do componente é variável e deve ser considerada em face da permanência da cidade.

## 2.2.3 COMPONENTE ITINERANTE

Para efeitos práticos é a água gravítica do espaço poroso do solo. O ar atmosférico e vapor d'água que ocupam os poros dos solos não saturados é também componente itinerante, mas sua importância relativa é pequena. A água da plataforma geológica compreende a parcela circulante sobre o arcabouço mineral (Figura 1) ou no seu interior e uma parcela fixa nos poros de solos e rochas (umidade higroscópica). Seguindo os fenômenos climáticos, o componente itinerante é alvo de variações sazonais, que provocam alterações sazonais do componente transitório.



**Figura 1** - Esquemas básicos da Cidade com placa tecnológica impermeável e contínua e da cidade com placa tecnológica mantida permeável pela adoção de técnicas e procedimentos dos assentamentos geossuportados.

A condição de componente itinerante do sistema geológico impõe que a água enfrente condições de entrada distantes do ideal. Na Figura 1, lado esquerdo, as águas pluviais incidentes sobre o Edificado não atravessam a fronteira deste com a plataforma geológica, porque essa fronteira não é sempre uma membrana permeável, mas uma placa quase contínua, impermeável – o *antropostroma* de Passerini, citado por Rohde (1996). Ainda nesse lado esquerdo, a imagem muito comum de amplos alagamentos em avenidas e praças pode não ser causada só por bloqueio, mas por outro fato muito comum, o de tais vias públicas terem sido implantadas em nível muito baixo, inexistindo, portanto, reservatório geológico não saturado disponível.

Pode-se, numa formulação simplificada, esquematizar a organização de campos da gestão das águas como se mostra no Quadro 1. O quadro revela

1 No corrente ano a cidade de Belo Horizonte, em consequência de uma queda de árvore no parque Municipal sobre uma caminhante, que teve morte instantânea, resolveu remover algumas centenas de árvores indicadas por especialistas em inspeção sistemática, e aproveitou a madeira para a confecção de bancos para o próprio parque.

12 campos de gestão da água. Considerando as ações mais comumente destacadas na área do saneamento, veem-se que apenas 2 campos são sistematicamente contemplados de forma objetiva, mediante projetos e obras. Frequentemente são postos sob a responsabilidade de agentes diversos, portanto sem garantia de cooperação mútua — o **suprimento** baseado em mananciais superficiais (situação dominante no Brasil) e o **escoamento pluvial**, não inibido, atenuado, mas ampliado com sistemas de drenagem eficazes. Os demais campos são negligenciados ou tratados de forma ampla através de legislação. A solução ideal, sem dúvida complexa do ponto de vista gerencial, requer a consideração de todos os campos e atuar com prioridade naqueles onde o contexto local prometa os maiores benefícios. Nos campos do

Quadro estão mensagens associando a origem da água com a dimensão de gestão. Sem preocupação especial com aspectos quantitativos, por exemplo, no campo 13, se as águas pluviais fossem incluídas no Suprimento, esse aproveitamento retiraria águas de circulação e atenuaria as inundações; no campo 12 os aquíferos superficiais de rochas gnáissicas poderiam, por exemplo, em Belo Horizonte, contribuir para a atenuação de inundações em vários pontos da cidade. Reflexões como estas estão frequentemente associadas com ingenuidade, em geral suportadas por alegações quantitativas. Em verdade cada telhado, cada quadra desportiva, individualmente, são contribuintes infinitesimais para os caudais tecnogênicos que a urbanização gera. No entanto, aos milhares geraram grandes vazões.

**Quadro 1** - Matriz de gestão de água

DIMENSÕES DE GESTÃO	FONTES DE SUPRIMENTO			
	SUPERFICIAL	SUBTERRÂNEA	PLUVIAL	SERVIDA
Suprimento	11 Básico ou Complementar, com tratamento, cobrindo todos os usos	12 Complementar ou básico, e em geral sem tratamento, cobrindo todos os usos	13 Complementar, uso conforme o coletor (telhado, pátio, rua)	14 Complementar, uso sequencial este com tratamento
Agente geodinâmico	21 Erosão, inundações, assoreamento	22 Aquíferos superficiais não explorados são pouco receptivos a infiltrações	23 Erosão, inundações, assoreamento altos custos de prevenção	24 Infiltração ou reuso reduz ação geodinâmica e outros custos
Veículo de poluentes e contaminantes	31 Potencial antes da captação e tratamento. Acidental depois	32 Potencial Gravidade dada pela natureza do aquífero e qualidade da proteção	33 Poluição do ar (Chuvvas ácidas); inclusão de resíduos conforme o coletor	34 Com cargas Biodegradáveis ou inertes a infiltração não polui o solo

Modificado de Carvalho, 1999.

Examinando o Quadro 1, ficam claras as possibilidades:

- Matriz suprimento que lance mão de todas as fontes possíveis protege a regularidade das águas superficiais, reduzindo a pilhagem que hoje se faz ao campo circundante das cidades, onde as águas são buscadas. No campo 22, haverá um aquífero superficial mais receptivo à infiltração, perna ambientalmente mais saudável do *ciclo hidrológico*; no campo 23, menos água escoando para promover os processos geodinâmicos indesejáveis. No campo 24, dois benefícios adicionais tornam-se possíveis.
- Nos campos 31 a 34, nota-se que uso sistemático das demais fontes torna as populações mais convencidas da necessidade de proteger todas as fontes de água e não só os mananciais superficiais. Nessa proteção o uso dos resíduos urbanos inertes pode desempenhar papel relevante;

- Desse exame fica ainda claro que a administração formal de apenas dois dos 12 campos da gestão das águas torna o êxito econômico, ambiental e social uma impossibilidade material concreta.

### 2.3 Conceitos operativos de cidade

Num ponto as civilizações concordaram ao longo da história: embora muitas cidades tenham perecido, em geral por perda de função, a Cidade é obra feita para a **eternidade**. Considerando assim a questão, ela pode escolher os elementos da primeira natureza com que admita conviver. Nenhuma cidade admitiu conviver com leões à solta. Por outro lado, a suposta preservação permanente determinada por lei inexistente em cidade que não consiga imobilizar as massas geológicas eficazmente, surgindo aí a primeira grande contradição. Rios em

seus trânsitos urbanos não podem ter suas margens implantadas ao sabor do acaso. Nascentes nem sempre podem ser intocáveis, sem que daí resultem problemas geotécnicos, ambientais, sanitários, de insalubridade. Ao longo da história, cidades tiveram nascentes soterradas, que ficaram invisíveis permanentemente, mas a água que descarregavam precocemente foi beneficiada e com ela o patrimônio hídrico da Terra. Cidades optaram por esgotamento objetivando saneamento por meio de drenagem, de impacto a rigor negativo, porque antecipa o retorno da água ao mar, em grande perda para a humanidade. Nascentes verdadeiras, falsas, antrópicas, podem ser reposicionadas para garantia do bom funcionamento da cidade, da segurança sanitária e geotécnica, ou de

bom resultado estético, como ocorre no mundo inteiro em cidades de qualidade referencial. No vaso fechado que é a terra, podemos escolher os lugares mais indicados para certos componentes. Cidades que elegem ciclovias como modais de transporte pessoal prioritários removem justificadamente árvores de onde devem transitar as bicicletas, assim também por onde transitam cadeirantes, mas não abrem mão das árvores porque elas podem viver, abrigar, sombrear nos parques e largas avenidas.

É oportuno promover uma reapreciação de conceitos emitidos anteriormente (Carvalho, 1999a) para evitar fragmentação indesejável. Na ocasião apresentaram-se duas visualizações esquemáticas de estrutura da cidade convencional e da cidade geossuportada, reproduzidas nas Figuras 2 e 3.

Figura 2. Estrutura da cidade convencional.

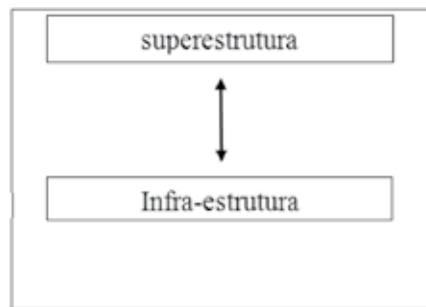
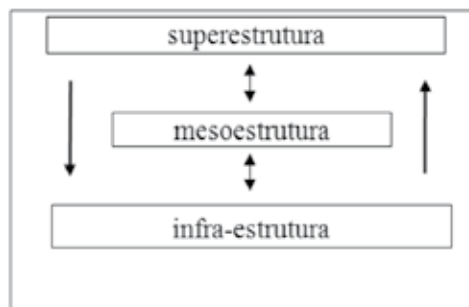


Figura 3. Estrutura da cidade geossuportada.



Na cidade convencional (Figura 2), tacitamente a Cidade identifica-se com o Edificado, porque nela refere-se à infraestrutura, como sendo o conjunto das estruturas que são de fato de intermediação, porque, além de ruas, compõem a infraestrutura as linhas de abastecimento de água, gás, os cabos de energia e telefônicos, os trilhos. Essas estruturas têm funções diferentes das que se podem dizer finalísticas, como as moradias, teatros, educandários, prédios industriais e comerciais. Imaginando que uma estrutura do tipo finalístico, como um prédio de apartamentos, tenha ficado obsoleto, demole-se esse prédio e constrói-se outro (em Londres demoliu-se um famoso estádio, que completara 100 anos), que foi demolido, por ter ficado obsoleto, e construiu-se outro. O mesmo não é tão fácil de fazer com uma rua ou praça, cheia de prédios. Fixe-se, portanto, que a má concepção ou execução de uma rua implica uma dificuldade de solução, dir-se-ia uma **rigidez de grau superior** ao de uma casa mal feita ou obsoleta. Fique também claro que a verdadeira base sobre a

qual está edificada a cidade é matéria escura do planejamento urbano nas cidades convencionais. Essas cidades olham para suas bases físicas com um olhar mais intuitivo que científico.

Na cidade geossuportada (Figura 3) separam-se claramente as funções de uma mesoestrutura idêntica à infraestrutura da cidade convencional, da verdadeira infraestrutura, que, agora, pode ser substituída por seu designativo próprio *plataforma geológica*.

As diferenças de concepção são claras e repercutem diretamente no metabolismo urbano. Com efeito, a explicitação da camada estrutural plataforma geológica com função de infraestrutura é, na prática, a explicitação de que, simbolicamente, 50% da cidade estão prontos antes de ser assentado o primeiro tijolo. A totalidade desses 50% quer em componentes materiais, quer em participação no metabolismo urbano, é de natureza geológica, compreendendo fatos e processos.

No Quadro 2, alguns critérios foram escolhidos para fins de comparação do desempenho dos aparelhos urbanos da cidade convencional e da



cidade geossuportada. A comparação é hipotética porque a cidade convencional da experiência brasileira pode ser uma cidade de relativo êxito, quer por ter plataforma muito favorável, quer por ter sido cuidadosa em aspectos visíveis do seu planejamento e implantação. Pode também ser uma dessas centenas de cidades das serras do Mar e da Mantiqueira, dos deslizamentos e das inundações. Pode ser um desses grandes aglomerados dos halos suburbanos de São Paulo, Rio, Belo Horizonte, dos

incêndios e da violência, onde não houver senão o descanso do fogão para a criança apoiar o caderno dos deveres escolares, é apenas um dos sintomas de que a moradia não cumpre de forma minimamente ideal o papel de infraestrutura para a vida humana como preconiza Van-Rooy (1996). Do outro lado da comparação, a cidade geossuportada sem restrições é, naturalmente, uma idealização, uma utopia, um desses limites que a humanidade deve sempre ter por meta.

**Quadro 2 – Comparação entre a Cidade Convencional e a Cidade Geossuportada**

CRITÉRIO	CIDADE CONVENCIONAL	CIDADE GEOSSUPOORTADA
Estabilidade do terreno	Conhecimento variável: prevenção assistemática: sem contenção sistemática de massas geológicas superficiais. Contenções preventivas pontuais ou não executadas pelo custo proibitivo	Bom nível de conhecimento; prevenção sistemática; contenção sistemática de massas geológicas superficiais.  Contenções preventivas gerais com eficácia mais abrangente e custos médios diluídos
Água de suprimento	Suprimento baseado na água superficial do campo	Usa complementarmente a subterrânea e a pluvial
Escoamento pluvial	Drenagem pluvial baseada na vazão prevista com altos coeficientes de escoamento. Vias em fundos de vales com greides baixos	Drenagem pluvial com base em vazão admissível.  Elevação previa de pisos em fundos de vales
Resíduos inertes	Exporta ou tolera lançamento clandestino. Exporta bota-fora geológico e o reservatório de água	Usa resíduos inertes para promover a correção de terreno mal conformado ou erodido e para absorver águas pluviais
Lixo	Exporta para aterros sanitários ou lixões na zona rural	Recicla metodicamente reduzindo o volume final
Esgotos	Solução padrão: coleta e tratamento esta parte raramente implantada substituída por descarga em bruto nos rios	Solução padrão: Coleta e tratamento. Há disposição para procedimentos inovadores
Impactos ou efeitos colaterais de obras particulares	Deixados para solução do poder público	Neutralizados ou absorvidos na própria obra. Exemplo: Coletas as águas desviadas dos telhados
Resultado geral	Metabolismo urbano insubmisso e exigente de verbas crescentes para seu controle tardio assoreamento de baixos vales ou transito direto de solo erodido. Ressecamento de topos e afloramento de lençol freático em baixos vales. Instalação da insalubridade	Metabolismo humano previsível e controlado: eventos geodinâmicos previsíveis previstos e de efeitos atenuados. Reduzida perda de solo em terras altas; reduzido transito de solo erodidos em ruas e sistemas de drenagem. Economias na limpeza publica. Condições de salubridade mantidas mesmo em terras baixas.

Nas cidades convencionais, o metabolismo urbano pode tornar-se insubmisso porque tem, muitas vezes, mesoestruturas viárias mal concebidas ou apenas improvisadas, às margens das quais se instalaram as edificações finalísticas. Muitas delas estão posicionadas em greide baixo o piso térreo das edificações, expostas igualmente a

inundações frequentes. São essas situações de grau de rigidez elevado que inviabilizam as soluções ideais. Todavia, a existência de extensos setores urbanos degradados de regiões montanhosas com moradias precárias e sob alto risco geológico, às vezes, ocupando fundo e paredes de voçorocas, representam possibilidades de reurbanizações, cujas

futuras moradias poderão atender de fato a todas as características desejáveis de infraestrutura da vida humana, apontadas por Van-Rooy (*op. cit.*). Nesses casos, não há qualquer rigidez estrutural, técnica, ou econômica impeditiva, senão apenas o apego ao ócio intelectual.

### 3 MÉTODOS

#### 3.1 Unidades de terrenos baseadas em cartas topográficas

##### 3.1.1 CARACTERÍSTICAS

A cartografia geológica pura não atende diretamente às necessidades da Gestão; igualmente não atendem a essas necessidades isoladamente mapas de simples declividades com limites relacionados à legislação. A elaboração de unidades de terrenos inspiradas nas formulações originais de Grant (1974) é um caminho. Na solução de problemas cartográficos, práticos na Região Metropolitana de Belo Horizonte e em outras cidades do interior mineiro, este autor teve oportunidade de trabalhar com escalas intraurbanas e regionais (1:2.000 a 1:50.000).

A legibilidade de cartas geotécnicas, de fácil compreensão para geólogos, não o é para outros profissionais. Em geral o geólogo não integra os quadros municipais<sup>2</sup>. O autor tem trabalhado com opção simples que permite definir unidades de terrenos com as virtudes de serem reconhecíveis e delimitáveis em cartas hipsométricas de escala adequada, e a que se podem associar expectativas de comportamento perante solicitações inerentes à urbanização. Afinal, a essas unidades de terrenos correspondem comportamentos dominantes, um significado físico, portanto.

Essa cartografia pode ser baseada em dois critérios de apropriação independente, o geológico e o fisiográfico (geodependente, mas independentemente apropriável). Um mapa elaborado

2 Não obstante a lei federal 6766/79, que trata do parcelamento do solo urbano, estabeleça a proibição do parcelamento onde as condições geológicas o desaconselhem, são muito poucas as cidades de Minas Gerais com geólogos em seus quadros permanentes.

com base nesses dois critérios pode ser chamado litomorfológico. Quando o substrato é homogêneo, salvo pelas condições de estado, variações comportamentais principais ficam por conta dessas condições e da morfologia. Num dos casos, cobrindo parte do território de Belo Horizonte, a proximidade (não identidade) dos aspectos litológicos de ocorrência mais comum tornou possível trabalhar exclusivamente com o fator morfológico. As unidades de terrenos adotadas, em número de três, são de visualização imediata e de simples compreensão como se pode ver no fragmento de análise cartográfica simples elaborada em uma das últimas áreas sob processo de urbanização na cidade (Figura 5). Seguem as definições:



**Figura 5** - Unidades de Terreno resultantes de análise cartográfica simples e expedita. Os designativos representam superfícies de Topo e Transição de diferentes categorias. CA é a Calha Aluvial.

Superfície de Topo é a superfície topográfica cimeira, em termos locais, convexa, correspondente aos resíduos remanescentes da paleotopografia da área, tendo sido a parte mais alta dela uma superfície ondulada sobre a qual o processo erosivo promoveu entalhamento de novas linhas de drenagem, deixando fragmentos da superfície anterior interconectados por topos remanescentes. O caso ilustrado, na Figura 5, distingue uma superfície de topo especial, porque localmente é o principal divisor (ST1); as demais (ST2) são espígonas secundários.

Superfície de Transição é a superfície esculpida pelo entalhamento erosivo em curso. É formada por vertentes dos novos vales abertos. O designativo objetiva caracterizar bem o fato de essa superfície oferecer **leito de trânsito** aos materiais erodidos da superfície anterior. Na ilustração STr1 é uma superfície complexa, com comportamento predominante de superfície de transição, mas fragmentado em numerosas feições menores; STr2 são superfícies de transição bem definidas.

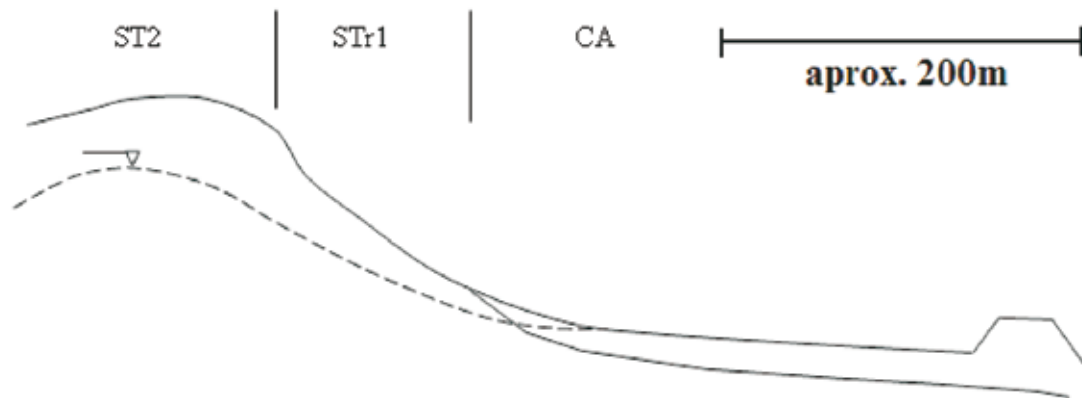
A Calha Aluvial compreende aluviões fluviiais e leques aluviais e rampas de colúvio, podendo incluir corpos de *talus* com blocos expostos ou encobertos.

Já aqui se tiram conclusões úteis embora não necessariamente muito precisas: a Calha Aluvial é caracteristicamente a superfície triunfante a longo prazo, porque cresce sobre a Superfície de Transição, enquanto esta, cedendo sob a Calha Aluvial, avança sobre a Superfície de Topo, que é a superfície sem futuro (no tempo geológico). Não obstante esse destino aparentemente obscuro da Superfície de Topo, é ela, nas porções nucleares, afastada do rebordo erosivo, a mais estável e segura para o tempo de duração da vida humana e mesmo de uma civilização. Com efeito, na Super-

fície de Topo não há deslizamentos, não há erosão ou esta é facilmente contida; não há inundações, não há assoreamento e dificilmente haverá ascensão capilar. Trata-se de área salubre, ensolarada, bem arejada. Se contar com bom e firme acesso, tudo o mais para ela se resolve bem: água, esgotos, disposição de resíduos inertes e lixo. Ela nunca estará a jusante de outras áreas ou, na forma popular, *debaixo de*.

### 3.1.2 IDENTIFICAÇÃO

Superfície de Topo: nos maciços cristalinos de Minas Gerais e grande parte do Brasil, oriental, seus restos representam a extensão residual da paleotopografia da área. Exibe feições convexas e até planas inclinadas em pequenos trechos, aí acomodadas a estruturas planares e raramente côncavas, estas admitidas apenas como inclusões. Do ponto de vista geotécnico, a mais marcante característica é a estabilidade, exceto nas bordas, que vem sendo desgastada em benefício da Superfície de Transição (limite marcado por ruptura de declive), ou localmente, onde o escoamento concentrado artificialmente gerou profundo ravinamento.



**Figura 6.** Seção local do mapa de unidades de terreno da Figura 5, mostrando a relação predominante entre as unidades de terreno obtidas por análise cartográfica. ST2, STr1 e CA já conhecidos.

Superfície de Transição: é formada pelas médias e altas vertentes dos vales entalhados na superfície anterior. Quanto à forma, é em regra côncava, mas pode ser plana inclinada, às vezes com pequenas inclusões convexas.

Calha Aluvial: compreende baixas aluviais marginais a cursos d'água. Nos vales formações coluviais interdigitam-se com os aluviões. Assim

corpos coluviais de materiais granulares finos estão incluídos na Unidade de Terreno Calha Aluvial. Por esta razão, eventualmente, em seções transversais, a Calha Aluvial aparecerá "subindo" os vales até a parte mais alta dos cones aluviais ou leques. Na seção da Figura 6, apresentam-se formas de contato comuns entre as unidades de terrenos.

### 3.1.3 EXEMPLOS DE EXPECTATIVAS GERAIS DE COMPORTAMENTO DAS UNIDADES DE TERRENOS

O comportamento das Unidades de Terrenos depende da posição, conformação morfológica e

natureza dos constituintes. As expectativas que mais diretamente interessam à gestão estão resumidas no Quadro 3:

**Quadro 3** – Comportamento geral das Unidades de Terreno.

COMPORTAMENTO	SUPERFÍCIE DE TOPO	SUPERFÍCIE DE TRANSIÇÃO	CALHA ALUVIAL
Escoamento	Divergente	Convergente	Indiferente ou axial
Nível freático	Profundo	Variável	Raso a aflorente
Capacidade de carga	Uniforme lateralmente e variável em profundidade	Variável lateralmente e em profundidade	Em geral baixa
Retenção de poluentes	Eficaz nas áreas com manto de intemperismo espesso	Eficácia variável	Baixa eficácia

## 3.2 O método geológico

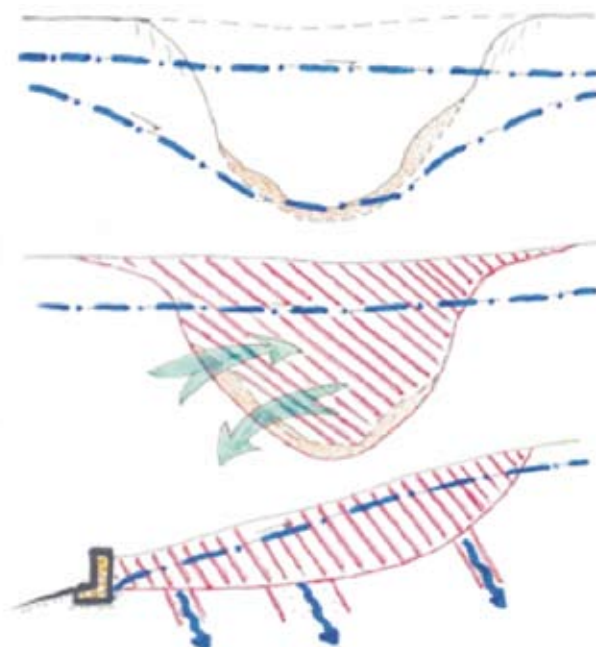
### 3.2.1 DESCRIÇÃO GERAL

Na elaboração das cartas geotécnicas, o geólogo desempenha papel típico de suas origens de investigador da terra, mas não pode ficar limitado a isto porque precisa desenvolver contatos com o aspecto executivo de certas intervenções urbanas.

Uma das mais dinâmicas atividades humanas, integrante do metabolismo urbano, é a que envolve a manipulação de materiais geológicos para a construção das cidades e dos resíduos a eles associados, seja sob a forma de sobras, seja sob a forma de escombros gerados nas demolições. Os volumes envolvidos, consideradas todas as modalidades, são muito grandes. A existência, nas áreas urbanas e proximidades, de cavidades de mineração, ou formadas por erosão, e de anfiteatros de cabeceiras naturais nas regiões montanhosas, oferece possibilidades de recepção beneficiadas pelas pequenas distâncias de transporte e às vezes por boas condições de confinamento.

Consultando outras ordens de problemas urbanos aparentemente independentes, quais sejam o do risco geológico em geral e o do descontrole das águas pluviais em particular, a geologia, ciência básica da gestão territorial, tem a responsabilidade compartilhável mas especialmente concentrada sobre ela de analisar, conceber, propor, acompanhar, implantar soluções compartilhadas

como propostas por Carvalho & Prandini (1998) dos problemas em verdade conexos que interligam esses componentes de praticamente todas as cidades. Essa participação é tão mais crucialmente necessária, quanto se sabe da escassez de resultados alcançados pela geologia geradora de dados, não por sua desimportância, mas pela dificuldade de transformação da proposta em ação quando essa transformação não é feita com a participação do gerador da proposta.



**Figura 7** – Primeiro desenho ilustrativo do Método Geológico, para ilustrar a reabilitação de uma voçoroca; as setas da seção central foram usadas para simbolizarem a interação entre o material colocado e o maciço hospedeiro.

O Método Geológico surgiu em 1989 no campus da UFMG, Belo Horizonte, em experimento aplicado à estabilização de voçoroca nascente, ainda sem atingir o lençol freático, mas em intensa atividade, descarregando sua carga sob a forma de lama no estacionamento a jusante.

Embora nascido para a reabilitação de áreas degradadas sem resíduos inertes, estendendo-se a seguir para a disposição destes em cavidades de erosão, em Betim e Contagem (Garcia et al. 2002), a universalidade do método, quanto ao que diz respeito à estabilidade física, recomenda sua aplicação, com adaptações contextuais justificadas, a todos os tipos de resíduos gerados nas áreas urbanas e industriais com muito proveito para a melhoria da qualificação da plataforma geológica das áreas receptoras, inclusive pedreiras e cavas fechadas de mineração, sem taludes frontais. O objetivo passa rapidamente da unicidade – reabilitação de áreas degradadas ou disposição de resíduos – para a duplicidade e finalmente para a multiplicidade, com a inclusão do controle da água, do risco geológico e da salubridade urbana.

### 3.2.2 PRINCÍPIOS FÍSICO E GEOLÓGICO DO MÉTODO GEOLÓGICO

Os argumentos da física aplicáveis ao Método Geológico são os vinculados à estabilidade. A primeira condição apresentada é a seguinte: quando um corpo (o depósito) é colocado sobre dada base de apoio, a ele associam-se três hipóteses de equilíbrio – instável, indiferente, estável. Entre os equilíbrios estáveis, o que se associa a uma energia potencial mínima é o mais estável. Imaginando uma disposição que evite o fundo de vale, em benefício de meia-encosta, ainda que estável, o equilíbrio resultante será mais precário que o proposto pelo Método Geológico. A segunda condição é que o aterro feito no interior de voçoroca antiga estará naturalmente confinado porque o estado de tensão antigo pode ser tratado como condição de contorno e constitui garantia de que um estado de tensão sem precedentes não será criado pelo enchimento, sendo esta a forma prática de tratar a questão da estabilidade sem a necessidade de entrar em análises quantitativas especiais.

Durante a execução deve ser aplicada rigorosamente a recomendação do lançamento por basculamento direto ou empurrão por trator a partir da plataforma de recepção. Esse lançamento, quando se tratar de materiais de granulometria extensa,

proporciona a seleção por tamanho que dispõe blocos, seixos e finos em segregação granulométrica, de modo que o contato com a superfície do maciço receptor será feito pelo material mais grosseiro no fundo e parte baixa das paredes, ou das vertentes. Quando a frente de lançamento avança para jusante, o depósito avança sobre material permeável e de alta resistência. As consequências hidrogeotécnicas benéficas que esta forma de lançamento determina são evidentes quanto à drenagem, pois substituído com vantagens técnicas e econômicas a drenagem de fundo baseada em drenos tubulares ou em cordões de brita envolta em geotêxtil, mas ela impõe um gradualismo seguido de montante para jusante na compressão do terreno de fundação e paredes. Assim não se formam bolsões de subpressões, que poderiam deflagrar deslizamentos frontais porque a fronteira drenante fica sempre para jusante.

Consequências operacionais do ponto de vista geológico são:

- criação de reservatório de controle posto à disposição de águas pluviais em condições de captação eficiente e segura;
- recuperação de nascentes esgotadas;
- regularização de vazões;
- retardamento do retorno da água ao mar;
- purificação da água por filtração;
- geração de áreas planas em regiões montanhosas a custos inferiores aos de terraplenagem.

Ao término deste bloco, resulta a conclusão seguinte: as cidades promoveram classificação temática de “problemas”, separando-os; assim separaram também suas soluções. No presente caso, o Método Geológico é ferramenta a serviço da solução compartilhada de problemas aparentemente autônomos proposta e descrita em linhas gerais por Carvalho & Prandini (*op. cit.*).

### 3.2.3 PROCEDIMENTOS PARA A IMPLANTAÇÃO

É aqui dispensada a exposição dos critérios de eleição das áreas de recepção. Escolhida e caracterizada a área, elabora-se o respectivo projeto e, uma vez aprovado nas instâncias competentes, começa a implantação pela seguinte ordem preferencial:

#### 3.2.3.1 Dique retentor

Execução do dique retentor de gabião (ou equivalente) frontal. A execução da obra de contenção

frontal antes do início do enchimento objetiva evitar que cheguem a cursos d'água situados a jusante materiais detríticos diversos incorporados a enxurradas geradas por chuvas que ocorram antes da conclusão dos taludes frontais com os seus respectivos controles de escoamento. Conforme recomendado com base na exploração local, a execução deve ser precedida do necessário saneamento da faixa de implantação do dique devendo o material movimentado ser encostado a montante do futuro dique. As condições de encaixe no terreno do piso e ombreiras devem ser verificadas pelo autor do projeto ou pelo responsável técnico pela execução. Em nenhuma hipótese se deve abrir mão de engastamento adequado de pelo menos 0,5 metro em terreno firme. O uso de filtro de geotêxtil deverá ser adotado em casos especiais.

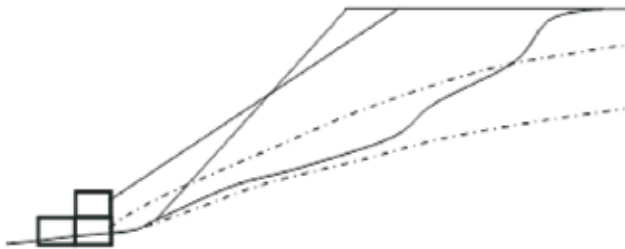


Figura 8 - Aterro de 1 bancada com talude suavizado.

### 3.2.3.2 Lançamento

Descarga de entulho de caçamba ou bota-fora geológico, tendo início na extremidade superior da cavidade ou anfiteatro, onde se formará a plataforma de lançamento. Nesta o material a dispor deve ser diretamente basculado pelos caminhões. No caso de haver necessidade (ou interesse especial do empreendedor) de promover descontaminação com fins de reciclagem, o material deve ser descarregado na plataforma para que seja objeto de triagem por catadores, antes do lançamento final, que pode ser feito mediante empurrão por trator;

espalhamento do material por trator e regularização do acréscimo da plataforma. Esta operação encerra a principal garantia, do ponto de vista hidrogeotécnico, do bom comportamento esperado para o conjunto aterro-macijo hospedeiro. Com efeito, o lançamento da forma descrita de material de granulometria extensa, de silte-argila a calhaus, resulta numa seleção de tamanhos por rolamento dos calhaus e blocos à frente dos finos. No lançamento podem-se alternar materiais, como no caso da Figura 9. Quando a frente de lançamento avança, seixos, blocos e calhaus estarão forrando o fundo da feição e suas baixas vertentes, de modo a introduzir naturalmente amplo contato permeável altamente atrítico, com o terreno natural do fundo e paredes. A drenagem de fundo estará naturalmente implantada e funcionará eficazmente. As numerosas passadas dos caminhões carregados e da máquina de espalhamento garantem compactação natural. Ao final do processo de enchimento, a compacidade resultante não será devida exclusivamente a esse fato, mas também ao acréscimo do peso próprio estático e das forças de percolação descendentes pela infiltração de águas pluviais, medidos à razão de  $(\gamma_{sub} + i \gamma_w)$  por unidade de peso de solo sob percolação descendente.

Alcançada a extensão prevista para cada esplanada, o talude que a separa da seguinte deve ter seu ângulo reduzido de cerca de  $38^\circ$  a  $42^\circ$  (ângulo de repouso natural), para cerca de  $33^\circ$  (ângulo final dos taludes das bancadas). Na Figura 8, em aterro de uma só bancada, o talude resultante do lançamento é suavizado como acima referido. No caso de aterro com talude frontal de várias bancadas, os taludes são suavizados a partir da bancada superior e é nessa ocasião que são implantadas esplanadas e bermas que separam as bancadas do talude frontal. Pode o projeto manter os taludes no ângulo de repouso, com bermas mais largas para manter a inclinação média.

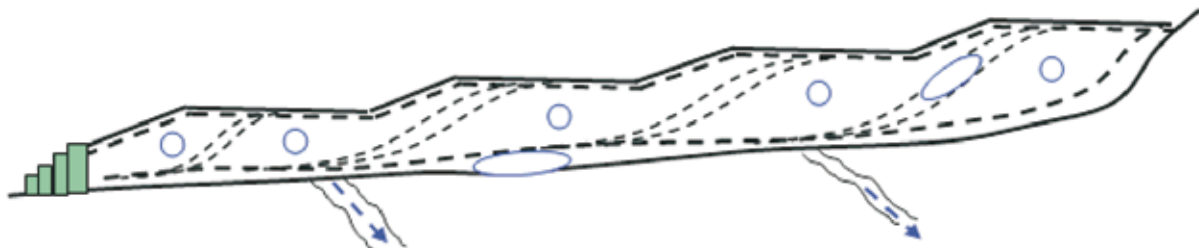


Figura 9 - Seção de aterro de resíduos zonado, em que resíduos de demolição foram previstos para introduzirem elementos filtrantes (tensor permeabilidade representado por elipsóides alongados) em bota-fora siltoso-micáceo de xisto (permeabilidade baixa, invariante, representada por círculos). A implantação criaria esplanadas horizontais de grande utilidade em terreno montanhoso, regularizaria a vazão e estabilizaria as baixas vertentes, além de reduzir a distância de transporte em mais de 20 quilômetros sentido ida. O projeto não foi implantado por haver nascente de vazão insignificante no meio do talvegue.

### 3.2.3.3 Cobertura

Havendo disponível material do grupo RCC caracterizado como bota-fora geológico, constituído de solo argilo-siltoso, ele deve ser lançado sobre bota-fora rochoso ou sobre entulho de alvenaria para melhorar a receptividade à implantação da vegetação.

### 3.2.3.4 Drenagem

A drenagem em obras de terra é recurso geotécnico e ambiental importante, para casos de indicação fundamentada, em cuja ausência cai-se numa espécie de ritual dispendioso e dissipador. Sob condições de execução, a drenagem necessária é exclusivamente para evitar erosão por escoamento concentrado onde inevitável.

O aterro deve ser utilizado em condições de estímulo à infiltração, que pode ser feito por meio de inclinação para montante das bermas durante a execução, substituída por vertimento espalhado a partir das bordas das bermas através de soleiras de descargas horizontais para reduzir a potência erosiva; valetas de infiltração paralelas às cristas também podem ser usadas.

### 3.2.3.5 Conclusão

A rigor termina acima a responsabilidade do geólogo. Poderá ele, sem vinculação obrigatória com o uso final da área, dar recomendações gerais de recobrimento vegetal, de manutenção e de eventuais reparos, e também ficar à disposição para o esclarecimento de questões a respeito dos aspectos geotécnicos e ambientais associados.

## 3.2.4 RESULTADOS

Não se justifica descrição pormenorizada dos casos executados, embora pouco numerosos. Entre eles encontram-se um apresentado por Santos (2002, *op. cit.*), e outro, executado recentemente, mantidas características originais, apresentado como projeto ao 5º Simpósio Nacional de Controle de Erosão em Bauru (Carvalho *et al.* 1995). Alguns estão em execução, outros em perspectiva de início. A listagem chega a cerca de 20 casos, contando

executados, iniciados e projetos entre executivos e básicos. As cidades em que foram feitos projetos são Belo Horizonte, Contagem, Betim, Itabirito, Conselheiro Lafaiete.

## 3.2.5 DISCUSSÃO

Cidades foram criadas para substituírem a primeira natureza. Embora seja o homem atual acusado de inúmeras ações de desrespeito com o ambiente em particular e a terra em geral, é ainda ele o melhor dos componentes do sistema geológico *senso lato*. Impedir que com seu engenho e boa disposição possa introduzir modificações que melhorem o comportamento da terra em geral e de suas cidades em particular é marca de insensatez da sociedade atual. Este aspecto, essencialmente vinculado à legislação de ordenamento territorial, e aspectos técnicos foram tratados recentemente em Congresso da ABGE (Carvalho, 2005 e 2005a).

Cabe aos geólogos, todavia, convencer a sociedade de que a vegetação arbórea de fundos de vales, removida ou soterrada pelo aterro, poderá ser substituída com imensas vantagens, como foi pontuado no caso da voçoroca do campus da UFMG, em que, com escassos 6 anos, a vegetação já assumia localmente porte arbóreo.

Quanto à água, não obstante a presença frequente de contaminantes nos materiais de aterro, restou evidente no caso da voçoroca do bairro Piraquara, em Contagem, a perenização de uma nascente tecnogênica indecisa e a purificação gradual de suas águas, depois do verdadeiro processo de diálise a que tem sido submetido o depósito, sem acréscimo de poluentes novos, desde então. As Figuras 10, 11 e 12, fotos dos pequenos aterros das ruas, Flor do Campo e Sebastião Menezes, ilustram o resultado positivo no controle das águas pluviais e na viabilização de edificações em condições desejáveis de segurança.

Outras formas de oposição ao aterro de resíduos prendem-se à questão da estabilidade do talude frontal e à suposta insuficiência dos reservatórios criados para o controle de inundações. A questão respeitante à capacidade de controle do escoamento pluvial em perspectiva de prevenir inundações deve ser posta em medida intermediária a extremos pessimistas e otimistas.

## 4 CONCLUSÃO

Toda atividade científica ou técnica requer a adoção de métodos de trabalho, na científica, frequentemente são abaladas por novas descobertas; e, na técnica, por novas configurações que se apresentam ao profissional. Todos então precisam de métodos, mas a própria dinâmica do conhecimento humano e das realidades que chegam como novidades recomendam que cientistas e profissionais não se escravizem excessivamente ao método, que, de meio, pode passar a fim. Afinal, as mentes devem estar preparadas para as quedas das maçãs. No caso da geologia urbana, a leitura do domínio conexo promete muitas revelações. Apenas a título de exemplo, o Group Raindrops (1995), Rohde (1996), Capra (2000), Diamond (2005) exemplificam bem fontes importantes de conexões da geologia urbana com outras áreas do conhecimento.

Considerando que a Cidade é a união interativa da Plataforma Geológica com o Edificado, pode-se dizer, simbolicamente, é claro, que antes de chegar o Edificado, 50% da Cidade estavam prontos à sua espera. Não vá a humanidade esquecer-se, entretanto, de que, feitas as adaptações

para receber o edificado, essa plataforma não se imobiliza de todo, porque tem vida geológica que continua, às vezes reclamando controles dos quais as cidades não podem abrir mão. Mudanças de configuração das plataformas geológicas por operações, como as acima listadas em geral, buscam e proporcionam melhoria das condições de edificação, redução de riscos, melhoria da salubridade natural, ampliação do reservatório geológico, atenuando a torrencialidade.

Operações de correção de deficiências naturais da plataforma geológica nos empreendimentos imobiliários são espontaneamente feitas, quando o produto a ser vendido é a unidade habitacional, porque aí a operação remunera o investidor com economias na implantação das moradias; nos loteamentos, o produto é o lote e o empreendedor só se dispõe a promover antecipadamente a operação na perspectiva de ganho pelo aumento do preço do lote ou sob determinação do poder público por seu órgão responsável. O geólogo atuante no meio urbano deve estar atento para essas distintas finalidades porque, no primeiro caso, há concentração de responsabilidades; e, no segundo, uma dispersão muito grande.



**Figura 10.** Foto do aterro de resíduos em execução em 2009, na rua Flor do Campo, em Belo Horizonte.



A migração do geólogo para uma presença maior no cotidiano executivo das cidades ampliará suas possibilidades de contribuição para o desenvolvimento delas; entraves legais precisam ser atenuados urgentemente.

O geólogo acostumou-se a trabalhar com o conceito de vaso fechado e suas formas de refletir sobre os objetos de gestão induzem-no a usar o recurso naturalmente, fazendo mentalmente transposições temporais e espaciais com desenvoltura menos comum a outros domínios profissionais: O tempo lhe diz que a Cidade é mais importante que seus componentes; e o espaço lhe diz que a Cidade, ocupando em média menos de 1% do território mundial, não tem de assumir compromissos que não mudam a cena, mas que podem violar prerrogativas essenciais dela.

Tem-se notado em muitas cidades uma migração relativamente recente para topos de morros. Essa migração fez-se muitas vezes de forma improvisada, estimulada pelo acesso por automóvel, e por uma crescente regularidade do abastecimento de água; a exiguidade de áreas de declividades viáveis na meia encosta é visível nas faixas cristalinas de centro-leste brasileiro.

Trata-se de domínio típico de aplicação de conceitos e métodos aqui expostos e recomendados, mas a geração de tais serviços em algumas dessas áreas, nas cidades de menor poder e visibilidade no noticiário, ainda depende muito de universidades próximas e muitas delas podem ter ficado em trabalhos apenas conceituais e preliminares de apoio ao Plano Diretor.



**Figura 11.** Aterro de resíduos da rua Flor do Campo, em Belo Horizonte, em janeiro de 2010, descarregando água cristalina, das chuvas de fim de ano.



**Figura 12.** (Sentido horário a partir do topo): Erosão ravinosa com fundo seco, sensivelmente estabilizada na rua Sebastião Meneses, em Belo Horizonte. A operação iniciada pelo dique retentor seguida de enchimento com resíduos inertes e areia de desassoreamento da Lagoa da Pampulha proporcionou em menos de um ano a implantação da rua, que hoje já recebe edificações que aguardaram a possibilidade por mais de 30 anos.

## Agradecimentos

O autor agradece ao geólogo, Fábio Henrique Dias Leite, pelo auxílio na preparação de ilustrações e formatação e, especialmente à ABGE, ao corpo editorial da revista a oportunidade concedida.

## BIBLIOGRAFIA

- Capra, F. 2000. *A teia da vida (orig. The web of life)*. Trad. Newton Roberval Eichemberg, Cultrix, São Paulo, SP, 256 pp.
- Carvalho E.T., Viana C.S. & Saliba L.C.M. 1995. Projeto de reabilitação de área erodida no Conjunto Paulo VI (Regional Nordeste, Belo Horizonte). *In: Simpósio Nacional de Controle de Erosão, 5º*. Bauru, SP, ABGE, *Anais*, São Paulo, p. 393-395
- Carvalho, E.T.; Prandini, F.L. (1998). Áreas urbanas. *In: Brito, S.N.A. & Oliveira, A.M.S. "Geologia de Engenharia" ABGE*. p. 487- 497. São Paulo. 1998.
- Carvalho E.T. 1999. *Geologia urbana para todos – uma visão de Belo Horizonte* (publicação pessoal), Belo Horizonte, 175 pp.
- Carvalho E.T. 1999a. A geologia na reconstrução das cidades. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 9*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), *Anais* (CD), São Pedro, SP, 15 pp.
- Carvalho E.T. 2005. Recursos tecnológicos para a captura da água. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11º*. Associação Brasileira de Geol. de Eng. e Ambiental – ABGE, *Anais*, CD-ROM e Resumos, Florianópolis.
- Carvalho E.T. 2005a. Legislação ambiental e exercício profissional. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11º*. Associação Brasileira de Geol. de Eng. e Ambiental – ABGE, *Anais*, CD-ROM e Resumos, Florianópolis.
- Diamond J. 2005. *Collapse*. Trad. de Alexandre Raposo, Distribuidora de Serviços de Imprensa S.A., Rio de Janeiro Brasil, 685 pp.
- Garcia, J.B., Lima, C.C.Z. & Carvalho, E.T. (2002). Experiência recente de Contagem, MG na disposição de resíduos sólidos inertes e reabilitação de áreas urbanas degradadas. *In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 10º*. Associação Brasileira de Geol. de Eng. e Ambiental – ABGE *Anais...* CD-ROM e Resumos.
- Grant K. 1974. "A systematic approach to mapping engineering geology". *In: International Congress of the International Association of Engineering Geology – IAEG, 2nd*, Proceedings, Vol. 1 p. III – PC – 2.1 – 2.9, São Paulo, SP.
- Group Raindrops 1995. "Rainwater & you: 100 ways to use rainwater" Sumida City, Tokyo, Japan; Manual de utilização das águas pluviais (Trad. por Fendrich, R. & Olyinik, R. 2002). Livraria do Chain Editora, Curitiba, PR, 167 pp.
- Rohde G.M. 1996. *Epistemologia Ambiental: uma abordagem filosófico-científica sobre a efetuação humana alopoiética*. EDIPUCRS, Porto Alegre, 233 pp.
- Santos A.R. 2002. *Geologia de engenharia: conceitos, método e prática*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental, São Paulo, 205 pp.
- Ter-Stepanian, G. (1988). Beginning of the technogene. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. Paris, n. 38, p. 133-142, oct. 1988.
- Van Rooy, J.L. (1996). The role of engineering and environmental geology in the reconstruction and development programme for South Africa. *In: Bulletin of Engineering Geology N° 53*. IAEG. Paris. p 115-120.