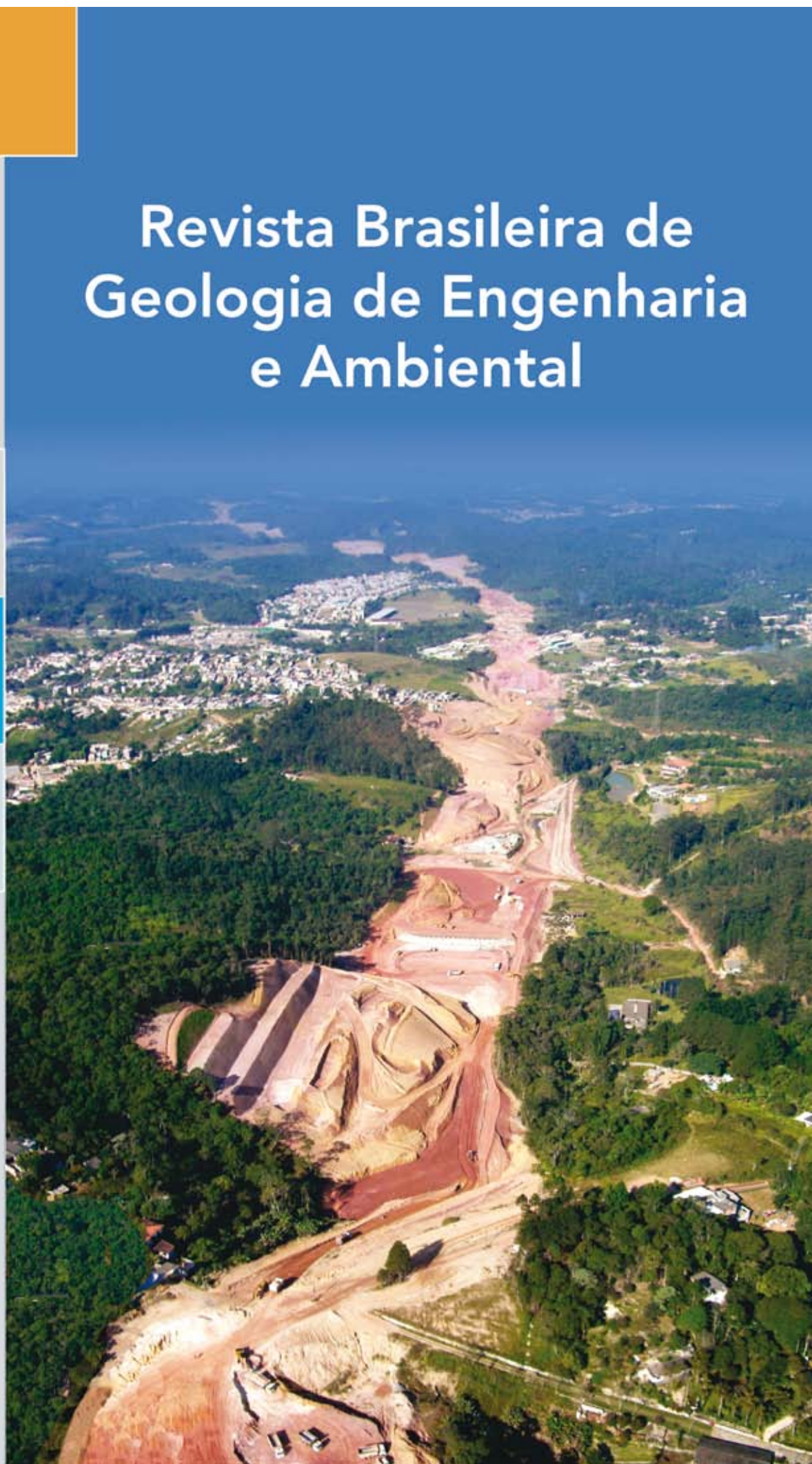




ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GEOLOGIA
DE ENGENHARIA E AMBIENTAL

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



ERNESTO PICHLER (IN MEMORIAN)
Secção de Solos e Fundações do I. P. T. – São Paulo.

RESUMO ABSTRACT

O presente trabalho visa apresentar um pequeno estudo sobre a forma de erosão denominada “boçoroca”. Baseia-se o autor tanto em observações feitas por outros quanto nas próprias e procura analisar os diversos aspectos da sua ocorrência, formação, assim como alguns meios suscetíveis de circunscrever a estabilizar o fenômeno - o trabalho acompanhado por documentário fotográfico que permitirá melhor apreciação do mesmo.

It is the purpose of this paper to present some results of studies made about a certain form of erosion called “boçoroca”. The author, taking in account observations made on the subject by others as well as his own, tries to describe some aspects of the occurrence and formation of “boçorocas”. Some means to circumscribe or stabilize that form of erosion are presented. A number of photographs showing characteristic aspects of “boçorocas” will permit a better understanding of the character and extension of this form of erosion.

1 INTRODUÇÃO

Constituem as “Boçorocas” fenômeno de erosão dos mais impressionantes, tanto para o observador comum que com estas se defronta pela primeira vez, como para o agricultor cujas terras invadem, e o engenheiro rodoviário e ferroviário que vê a sua obra ameaçada.

Segundo Teodoro Sampaio, o significado etimológico de “Boçoroca” proveniente do tupi-guarani “ibi-çoroc”, corresponde à terra rasgada ou rasgão no solo.

No Dicionário Enciclopédico Brasileiro, encontramos: “Bossoroca” - desmoronamento determinado pela ação erosiva das águas em camadas permeáveis, escavação profunda em terreno arenoso.

O Dicionário contemporâneo de Caldas Aulete escreve “Vossoroca” - grande desmoronamento na origem dos riachos “Causado pela escavação das águas subterrâneas; desmoronamento causado pela invasão das águas fluviais.

Setzer, (referindo-se ao assunto) diz que as boçorocas são vales de erosão recente que se formam

de preferência em solos tipo “catanduva”, arenosos, secos e ácidos de cores claras e vegetação natural pobre caracterizada pela barba de bode, o indaiá e o pau torto.

Foi o fenômeno amplamente discutido nas palestras do Prof. Milton Vargas, proferidas na Associação de Engenheiros de Campinas, em 1947, abordando-se na ocasião as diversas hipóteses genéticas referentes às mesmas.

Menção é feita ainda recentemente das boçorocas em um trabalho sobre escorregamento do Prof. Karl Terzaghi, sendo consideradas neste trabalho particularmente as boçorocas de Casa Branca.

O autor deste trabalho teve oportunidade de estudar particularmente as boçorocas de Casa Branca e as dos arredores de Mococa, onde foi possível observar ao lado de uma boçoroca “morta”, uma outra recentíssima em franco progresso.

Reunir as observações feitas por outros às do autor, com o intuito de estudar a gênese deste fenômeno e os meios possíveis para combatê-lo, constitui o objetivo deste trabalho.

2 OCORRÊNCIA

A ocorrência das boçorocas restringe-se, coma já indica a própria definição, aos terrenos essencialmente arenosos. Assim sendo, são encontradas desde o Paraná até o Triângulo Mineiro em formações geológicas diversas subordinadas tanto ao período glacial da Série Itararé-Tubarão, como a outras mais recentes. Nota-se que ocorrem geralmente em terrenos pouco acidentados com uma topografia bastante suave, o que faz com que sejam avistadas muitas vezes somente quando se chega próximo dos bordos das barrancas que as encerram. Apresenta-se então ao observador um

vale estreito e profundo em V com flancos muito íngremes, sendo a parte superior geralmente de coloração vermelha intensa e a parte inferior de uma cor muito clara rósea que a destaca nitidamente da camada vermelha superior. Pode esta variação da cor ser brusca, como no caso apresentado na figura nº 1, onde a camada superior, de cor vermelha intensa, e separada da camada inferior que se caracteriza por essa coloração clara, quase branca, por uma camada de argila de cor roxa, ou ainda, quando esta camada de argila é ausente, passar lentamente de vermelho a roxo e branco. O esquema apresentado na figura nº 1 representa entretanto o tipo mais comum.

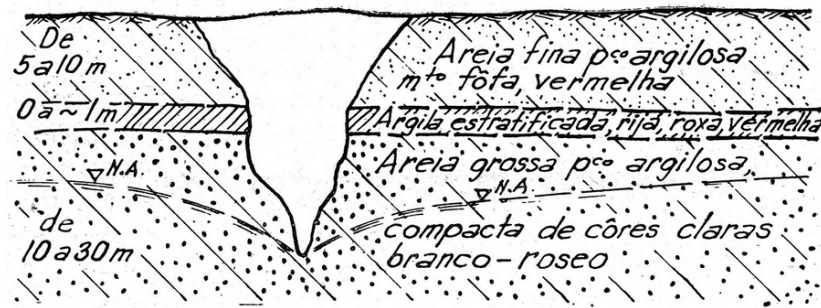


Figura 1 - Seção mediana de uma boçoroca.

A profundidade vai de 15 a mais de 30 metros e em comprimento podem alcançar várias centenas de metros. Por vezes observam-se ramificações em todos os sentidos, podendo estender-se por áreas superiores a 1 km² como na proximidade do Aeroporto de Mococa. Durante o período da estiagem o fundo do vale apresenta-se seco, pelo menos numa certa distância da sua raiz, podendo-se passar por al. Mas em época de chuva, ou a uma certa distância da cabeceira, o fundo do vale e geralmente tão mole que não permite passagem por ai sem perigo de afundar-se.

Quanto ao crescimento ou propagação das boçorocas os dados que se obtêm são bastante confusos e pouco dignos de crédito. No caso das boçorocas da Casa Branca afirma-se serem recentes, tendo aparecido depois de instalada par D. João VI, naquela localidade, então fundada, a primeira colônia de ilhéus. Outras, como a observada par Setzer, não tinha, segundo aquele autor, mais do que dez anos, podendo ser considerada coma recentíssima. De modo geral, entretanto é difícil estabelecer com certo rigor o seu início. Todas as observações feitas indicam, contudo que o seu aparecimento coincide com o desbravamento

das referidas regiões pelos primeiros colonizadores. Não resta a menor dúvida, como se procurará, demonstrar mais adiante, que em grande número de casos o elemento humano pode ser responsabilizado, ou que pelo menos contribuiu para a formação das boçorocas. Distinguem-se, de acordo com o estado de evolução que atravessam as boçorocas vivas e as boçorocas mortas. As primeiras apresentam erosão intensiva durante e logo após a época da chuva e nenhuma ou pouquíssima vegetação nos barrancos que formam o vale. Quando, por um motivo qualquer, diminui a erosão e os barrancos começam a cobrir-se de plantas, a boçoroca entra em estado de senilidade, morrendo dentro de pouco tempo; isto é, a erosão cessa pouco a pouco e os taludes e fundo do vale passam a cobrir-se com a vegetação característica da região. As fotografias das figs. 2, 3, 4, 5, 6 e 7 apresentam diversos aspectos de boçorocas.

3 FORMAÇÃO

A formação das boçorocas pode ser atribuída ou, simplesmente, a erosão superficial, ou ainda,

o que parece ser mais comum, à ação conjunta da erosão superficial e erosão subterrânea. As duas modalidades adquirem aspecto semelhante e são, como se observa nas figs. 2 a 7 de difícil diferenciação. Não se observa, no caso das boçorocas provenientes essencialmente da erosão superficial, a separação em camadas arenosas distintas pela interposição de uma camada argilosa. Quando essa camada existe, a erosão subterrânea adquire importância predominante podendo mesmo ser responsabilizada pela maioria das boçorocas existentes. Levando-se em consideração a ação isolada de cada uma das formas de erosão e a sua ação em conjunto, tentar-se-á estudar as mesmas sob suas diversas formas de manifestação. A erosão superficial efetua-se ou ao longo de uma linha topograficamente favorável, ou então, o que parece ser aqui geral, ao longo de cortes artificiais no terreno, sob forma de valas de divisa do terreno ou estradas de carro de boi não estabilizadas. A intensidade com que a erosão neste caso progride depende essencialmente de três fatores:

- 1º) da resistência que a formação geológica opõe ao seu desagregamento e transporte.
- 2º) da força viva da água dependente da vazão e do gradiente hidráulico.
- 3º) das condições topográficas e do nível de base local.

O primeiro fator é evidentemente função da estrutura e mais ainda da textura do solo. Um terreno siltoso ou arenoso como o que constitui a camada superior das formações geológicas em questão, onde é reduzido o poder aglutinante da argila presente, oferece pequena resistência à erosão. Desta maneira os sulcos, vales ou cortes, se aprofundam com relativa rapidez formando vales de forma triangular. Caso a resistência do fundo do canal seja grande à erosão tende a progredir lateralmente, mas quando alcança a camada de argila, que neste caso oferece esta resistência maior, a força viva da água já adquiriu um poder suficiente para vencê-la. Quando o terreno apresenta em toda a profundidade uma resistência uniforme condicionada essencialmente à textura do subsolo, progride a erosão superficial, ou até atingir o nível de base da erosão, ou então, até cortar o nível do lençol freático do terreno.

Moinzer, estudando a descarga das águas do lençol freático em seu recente trabalho sobre "Production and Control of Ground Water, diz a respeito o seguinte:

"A energia que mantém a água do subsolo em movimento, necessária para vencer o atrito interno e que resulta da própria viscosidade, é fornecida pela diferença de carga entre o local da tomada e o da descarga. De um modo geral, toda partícula de água da zona de saturação move-se de um ponto qualquer da zona de tomada, onde o lençol freático, para um ponto onde a água e descarregada por uma nascente, por evaporação, por absorção pelas raízes das plantas ou ainda por intermédio de um poço do qual é retirada. O caminho que esta partícula de água percorre, pode ser simples e curto, nunca indo muito abaixo da superfície do lençol freático, mas pode também percorrer muitas e mesmo centenas de quilômetros por caminhos tortuosos indo à profundidade de centenas de metros de acordo com o relevo do terreno, a estratigrafia e estrutura das rochas e outras condições".



Figura 2 - Boçoroca perto de Cajuru, em formação subordinada a Série de S. Bento - erosão superficial predominante.

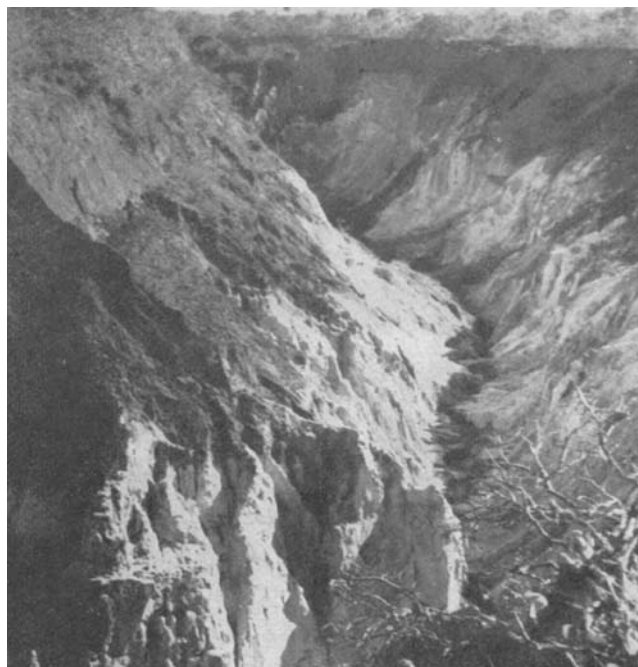


Figura 3 - Boçoroca perto de Mococa, em formação subordinada a Série Itararé - Tubarão - erosão subterrânea predominante.



Figura 4 - Boçoroca perto de Casa Branca. O lado esquerdo acha-se em franco desenvolvimento e o lado direito tende à estabilização, notando-se vegetação incipiente.



Figura 5 - Aspecto de uma boçoroca com a cidade de Casa Branca ao fundo.

Têm sido feitos esforços para distinguir entre as descargas rápidas da água do subsolo que poderá promover ou prolongar enchentes e o escoamento controlado que permite aos rios uma vazão contínua durante as secas. A primeira é geralmente chamada escoamento subterrâneo e o segundo fluxo da base. Trata-se, no caso das boçorocas em geral, evidentemente, de um escoamento subterrâneo que se acentuará no local onde a erosão superficial cortou o lençol freático. Neste ponto, a água do subsolo encontrando menor resistência ao seu escoamento, a erosão subterrânea terá o seu início. Esta erosão será tanto mais intensiva quando maior

a diferença entre o fundo do vale escavado e o nível normal do lençol freático. Uma vez iniciada a erosão subterrânea esta concorre de um modo decisivo ao aumento e aprofundamento do vale da erosão. Constitui esta forma de erosão verdadeiramente tenebrosa, pois os seus efeitos são na maioria dos casos surpreendentes e imprevisíveis. Quando as veias experimentam em consequência de um aumento do fluxo um aumento correspondente de pressão, cresce também a velocidade com que a água passa por estas veias e encontrando possibilidade de escoamento no fundo do vale escavado pela erosão superficial, a arrastar as partículas mais ou menos soltas que se encontram em seu caminho. Sucodem-se rupturas internas com formação de galerias que aumentam pouco a pouco em diâmetro e extensão, até que a camada superior, que desta maneira perdeu o seu suporte, tomba fragorosamente enchendo a galeria com for o material que se deslocou. Segue-se um represamento da água do subsolo até que alcança força suficiente para romper o novo obstáculo, o que às vezes sucede com grande violência. O material no lugar torna-se movediço e escoo com relativa facilidade reiniciando-se ao mesmo tempo a formação da nova galeria subterrânea. As Figs. 8, 9 a 10 apresentam diversos aspectos relativos à formação das galerias subterrâneas numa boçoroca Casa Branca.



Figura 6 - Boçoroca "morta" perto do aeroporto de Mocóca.



Figura 7 – Boçoroca perto do Aeroporto de Mocóca em franco desenvolvimento.



Figura 8 – Aspecto da cabeceira de uma boçoroca, notando-se a separação das camadas arenosas por uma camada de argila siltosa (varvítica)



Figura 9 – Aspecto do fundo da cabeceira de uma boçoroca.

Considerando um terreno regular, com um rio por base da erosão, procurou-se reproduzir, numa série de quadros representados na figura 12 a sequência dos fenômenos que dão origem as boçorocas, sob sua forma mais completa, isto é, quando tanto a erosão superficial como a erosão subterrânea concorrem para a sua formação. Verifica-se aí que a mesma é limitada em profundidade pelo nível da base da erosão, no caso, o nível do rio. De início desenvolveu-se a boçoroca ao longo do vale ou sulco principal quase sempre na direção de uma dessas valas de divisa de início mencionadas. À medida que evolui podem surgir desvios da direção inicial e ramos de irradiação que por sua vez evoluem e que às vezes podem adquirir um aspecto mais impressionante que o sulco principal. Com o progresso dos diversos ramos a água do subsolo começa a perder a sua força principal e a boçoroca começa a ficar estacionária. Os barrancos começam a cobrir-se lentamente de vegetação, sinal que a boçoroca está envelhecendo. Quando o sulco estiver coberto de vegetação a boçoroca estará morta. Pode ainda acontecer que durante certa fase de evolução da boçoroca uma outra venha a formar-se a certa distância e a um nível mais baixo. Neste caso as águas tendem a correr de preferência para esse nível mais baixo e a primeira boçoroca

começa a extinguir-se. É o caso que se observa, por exemplo, perto do Aeroporto de Mococa, onde se encontram duas boçorocas ligadas por uma das valas de divisa já mencionadas e distantes uma da outra de aproximadamente 200 metros. A primeira apresentada na fig. 6 é completamente extinta e inteiramente coberta de vegetação. A segunda, figura n. 3. Acha-se em franca evolução.

4 MEIOS DE COMBATE

Conquanto apenas de caráter local, as boçorocas não somente inutilizam áreas apreciáveis de terrenos, mas dificultam e ameaçam também as obras de engenharia, como estradas de rodagens e de ferro que por ventura passem por seu raio de ação. Nesse combate a esta modalidade de erosão não se afigura de menor importância do que o combate a erosão do solo arável de cultura. Os remédios encontram-se em parte, e em cada caso, na própria análise do fenômeno. A primeira coisa a fazer será, portanto determinar a fase de evolução em que a boçoroca se encontra. Quando já em estado estacionário, pouco ou nada há a fazer, visto que não apresenta neste estágio perigo major do que aquele do momento e pouco ou nada se lucrará com os diversos meios de combate. Restringir-se-á neste caso o trabalho, eventualmente, em assegurar a necessária drenagem superficial a fim de evitar um reinício de erosão em um ou outro ponto.

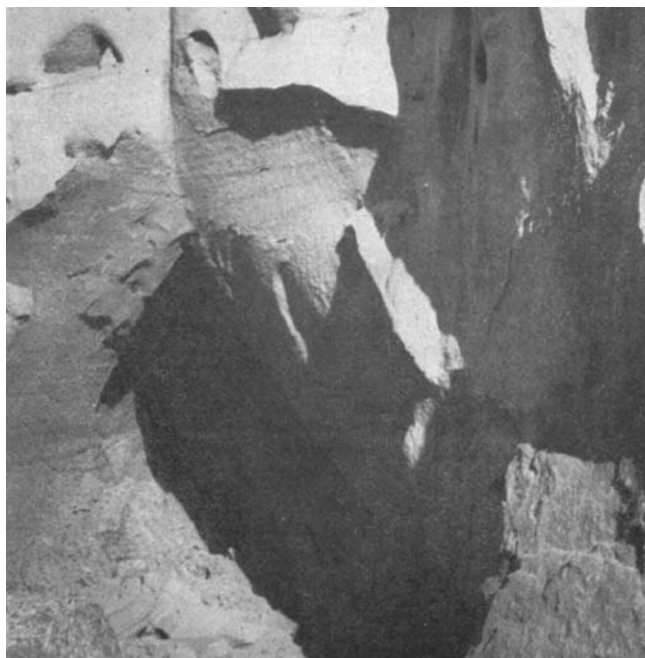


Figura 10 - Aspecto da boca da galeria de erosão subterrâneas de uma boçoroca.



Figura 11 - Aspecto da cabeceira de uma boçoroca com duas galerias de erosão subterrânea

Quando em seu estado inicial, poderá ser estacionado o seu desenvolvimento mediante uma drenagem adequada das águas da superfície. Haverá de qualquer forma conveniência de aterrar-se as valas de divisa e outras por ventura existentes, a fim de evitar a formação de enxurradas com o conseqüente perigo de erosão. Além disso, haverá conveniência de construir-se um sistema de drenagem destinado a captar as veias subterrâneas, desde que existam, de modo a controlar o escoamento rápido da água pelas camadas de areia. Um dreno francês, de fácil execução e coberto com material do próprio barranco, resolverá, no caso, provavelmente, o problema. Nos dois casos considerados a solução do problema é relativamente simples, eficiente e pouco onerosa. Quando se trata, todavia do caso intermediário correspondente a uma boçoroca em plena evolução, a solução do problema já é mais difícil. A drenagem dos diversos filetes de água do subsolo é, nesta fase, já bastante cara, pelo que devem ser levados em consideração outros meios. Um consistiria em construir barreiras artificiais ao longo do vale de erosão por meio de muros de pedra ou então cortinas de estacas pranchas capazes de cortar o caminho do solo e água em movimento. Estes trabalhos poderão, e devem em certos casos, ser acompanhados por uma redução do ângulo do talude dos barrancos, podendo o material ser usado para encher os espaços entre as barreiras levantadas. Haverá naturalmente conveniência de cuidar-se em qualquer caso da drenagem superficial. Desta

maneira reduzir-se-á grandemente, senão por completo, a ação da água subterrânea e a da superfície; a boçoroca extinguir-se-á. Um outro meio, levando em consideração particularmente a ação perniciosa da água do subsolo, seria a construção de um ou vários poços na cabeceira da boçoroca. Fazendo-se escoar, por meio de uma bomba, a água que aflui nesses poços esta poderia perfeitamente utilizada para fins de irrigação ou mesmo de abastecimento. Desta maneira o lençol freático poderá ser abaixado na zona interessada até o nível da base da erosão, e a água do subsolo cessará de ser prejudicial; pois não havendo mais erosão subterrânea apenas a erosão superficial, no caso de menor importância, precisa ser combatida e a boçoroca extinguir-se-á por si. Deveriam estes poços atingir uma profundidade correspondente pelo menos ao nível da base

de erosão o que corresponderá, considerando o nível do fundo da cabeceira da boçoroca, a aproximadamente 4 a 5 metros.

Haveria a considerar ainda, para o efeito do abaixamento do lençol freático o emprego do sistema de "Wellpoints" que, conquanto mais caro, seria de mais fácil instalação e permitiria melhor controle do nível da água do subsolo em qualquer fase.

Quando se trata de uma boçoroca de erosão superficial com reduzida ação da água do subsolo, conseguir-se-á estacioná-la o controle das águas que possam acumular-se na superfície. Em todos esses casos de estabilização de taludes e vales de erosão há ainda a considerar o emprego de plantas de raízes profundas tais como o bambu, sendo a plantação desses fixadores de terreno particularmente indicada quando uma boçoroca se acha em sua fase inicial.

PICHLER - BOÇOROCAS

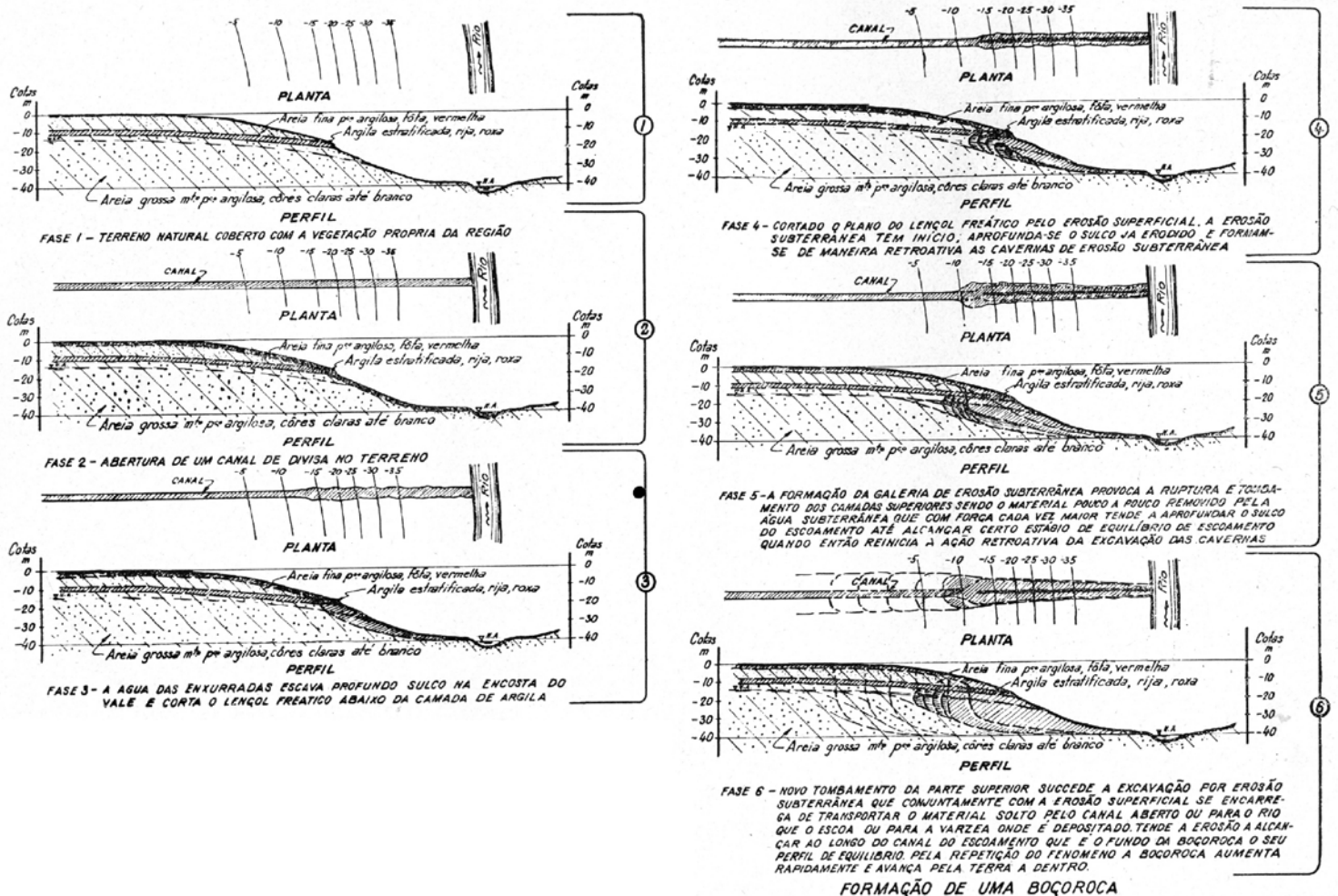


Figura 12 - Formação de uma boçoroca.

BIBLIOGRAFIA

BENDEL, L. – *Ingenieur Geologia, Verlag. Springer* - 1944.

MEINZER, O. E. – *Production and Control of Ground Water - Application of Geology to Engineering Practice* – Geological Society of America, 1950.

PICHLER, Ernesto - *Elementos básicos do Geologia Aplicada* - Separata do Bolet'm do D.E.R. (Bols. 46-52) – São Paulo – 1949.

SETZER, Jose - *O Estado atual dos Solos do Municí-*

pio de Campinas – Revista Brasileira de Geografia, Março 1942.

TERZAGHI, Karl - *Mechanics of Landalides - Application of Geology to Engineering Practice* - The Geological Society of America 1950.

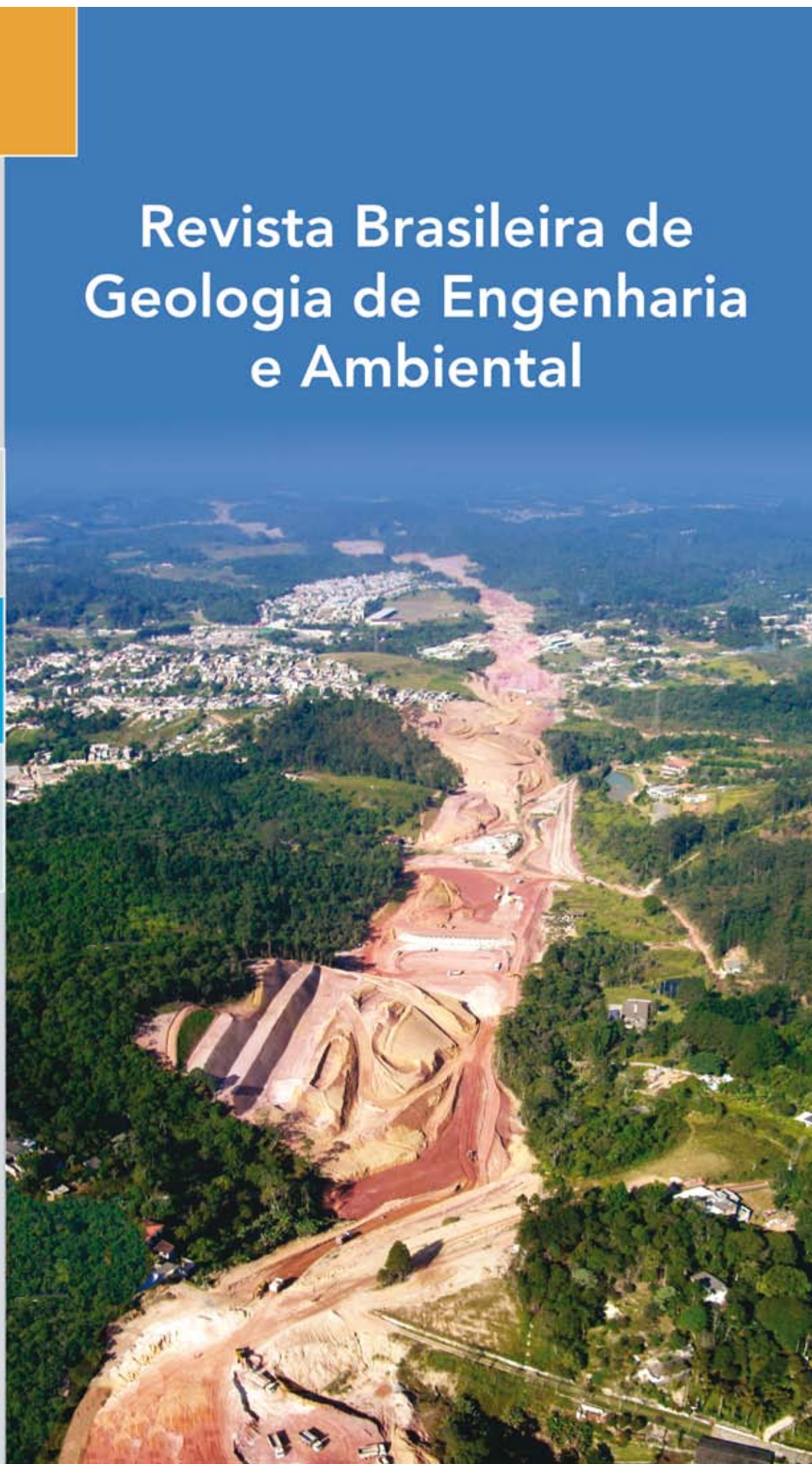
TERZAGHI, Karl - *Theoretical Soil Mechanics* - Wiley and Sons 1943.

VARGAS, Milton – *Palestras sobre a aplicação da Geologia e Mecânica dos Solos à Construção de Estradas de Ferro*, promovidas pela Comissão de Obras Novas da Cia. Mogiana de Estradas de Ferro em 1949.



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

CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DO MACIÇO ROCHOSO DE FUNDAÇÃO DA UHE CACHOEIRA PORTEIRA*

LORENZ DOBEREINER (IN MEMORIAN)

FERNANDO PIRES DE CAMARGO
Geólogos ENGE-RIO Engenharia e Consultoria S.A.

ALARICO A.C. JÁCOMO
Geólogo Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. - ELETRONORTE

RESUMO

A caracterização geomecânica preliminar do maciço granítico de fundação das estruturas de concreto, para o Projeto de Viabilidade da UHE de Cachoeira Porteira, foi executada a partir de uma metodologia específica. Além das investigações convencionais, foram realizadas descrições quantitativas de descontinuidades em afloramentos e ainda foram executados ensaios-índice para uma caracterização quantitativa e expedita do maciço. Com dados de campo foram efetuadas análises estatísticas dos resultados que permitiram uma maior confiabilidade na atribuição dos parâmetros a serem utilizados na elaboração do modelo geomecânico da fundação.

1 INTRODUÇÃO

Para uma adequada caracterização geomecânica de maciços rochosos, é importante que se obtenham informações quantitativas das propriedades do maciço, tanto de suas descontinuidades, como também da massa rochosa, sendo necessário para tal uma descrição quantitativa das descontinuidades, consubstanciada com ensaios expeditos que forneçam resultados-índice a baixos custos.

A metodologia utilizada para caracterização geomecânica do maciço rochoso no Projeto de Viabilidade da UHE de Cachoeira Porteira tem como orientação a utilização deste procedimento para obtenção dos dados de campo, de maneira rápida e eficiente.

Considerou-se que estes estudos realizados já na Fase de Viabilidade auxiliaram na definição do melhor eixo de barragem, assim como forneceram os parâmetros necessários para estudos preliminares de estabilidade das estruturas e dos eventuais tratamentos necessários.

A área de implantação da UHE de Cachoeira Porteira localiza-se a aproximadamente 400 km NE de Manaus, no rio Trombetas. O Projeto de Viabilidade, em execução pela ENGE-RIC, sob contrato da ELETRONORTE, encontra-se praticamente concluído.

A geologia do local de implantação do projeto foi descrita por PUPO et alii (1986). A área encontra-se no contato norte das rochas sedimentares da Bacia Amazônica com a sequência vulcânica pré-cambriana do grupo Iricoumé e com granitóides Mapuera.

O presente trabalho enfoca apenas as rochas granitóides Mapuera, as quais constituem as fundações das estruturas de concreto da 1ª etapa do Projeto da UHE de Cachoeira Porteira. As estruturas de concreto serão todas fundadas sobre o maciço granítico, que de maneira geral apresenta características favoráveis à implantação das obras.

* Editado: Anais do 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia - Volume 1 - outubro de 1987.

Na caracterização deste maciço de fundação merecem destaque duas feições, consideradas desfavoráveis, quais sejam: a falha de direção N-S, subvertical, que condicionou a erosão do canal profundo do rio, no eixo do barramento, e as possíveis descontinuidades subhorizontais originadas pelos processos de alívio de tensão que sofreu o maciço rochoso.

2 SEQUÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES

A caracterização geomecânica do maciço granítico de fundação das estruturas de concreto foi realizada segundo uma sequência lógica de execução dos trabalhos, conforme fluxograma ilustrado na figura 1.

O mapeamento geológico de superfície, efetuado na forma convencional, a partir de dados da bibliografia e métodos de sensoriamento remoto, foi detalhado com o reconhecimento de superfície. Durante este trabalho no campo, iniciou-se uma descrição quantitativa de descontinuidades preliminar que juntamente com o mapeamento e os levantamentos geofísicos forneceram subsídios para programação das sondagens rotativas.

As sondagens rotativas com orientação de testemunhos foram executadas simultaneamente à descrição quantitativa de descontinuidades, efetuada nos afloramentos existentes. Os testemunhos orientados foram descritos com o auxílio de resultados de ensaios- índice de resistência compressão puntiforme e resistência ao cisalhamento direto em descontinuidades. Esses parâmetros em conjunto foram os subsídios necessários para a atribuição preliminar dos parâmetros de resistência e deformabilidade do maciço rochoso e consequente elaboração do modelo geomecânico.

Os dados das descontinuidades levantados foram sucessivamente armazenados em um banco de dados em computador, possibilitando que as formações fossem complementadas e detalhadas com o progresso dos trabalhos. A criação de um banco de dados na fase inicial é de grande utilidade, pois as características quantitativas das descontinuidades e da rocha intacta são obtidas esparsamente, permitindo assim, desde o princípio o aproveitamento de todas as informações, com o acúmulo de um maior número de dados, e consequentemente uma análise estatística mais representativa do maciço rochoso. Com a evolução do projeto em outras fases, po-

derão constantemente ser verificadas as premissas adotadas nas fases anteriores.

As principais etapas desta metodologia são descritas a seguir, enfatizando-se apenas os levantamentos de campo não-convencionais executados para a caracterização geomecânica.

3 DESCRIÇÃO QUANTITATIVA DE DESCONTINUIDADES

3.1 Afloramentos

Os parâmetros das descontinuidades descritos, bem como as graduações nas diferentes classificações, são aqueles recomendados pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM, 1978).

O levantamento nos afloramentos foi realizado a partir de observações ao longo de uma linha de no mínimo 3 m, posicionada em local representativo do afloramento. Para cada afloramento foram realizadas no mínimo duas linhas perpendiculares entre si. Este procedimento permitiu uma amostragem estatística do maciço, já que foram realizadas descrições detalhadas das descontinuidades em vários pontos. Os parâmetros considerados para cada descontinuidade foram:

- direção do mergulho;
- ângulo de mergulho;
- distância na linha;
- persistência;
- rugosidade;
- resistência das paredes;
- abertura;
- preenchimento (mineralogia, granulometria e resistência);
- condições de percolação.

Foram registrados ainda dados gerais de cada afloramento:

- grau de alteração do maciço rochoso;
- número de famílias de descontinuidades;
- espaçamento das fraturas;
- resistência do material rochoso.

É importante enfatizar que as escalas das observações de campo em afloramentos, bem como a qualidade e representatividade das descrições, são funções das limitações de tamanho das exposições do maciço rochoso amostrado.

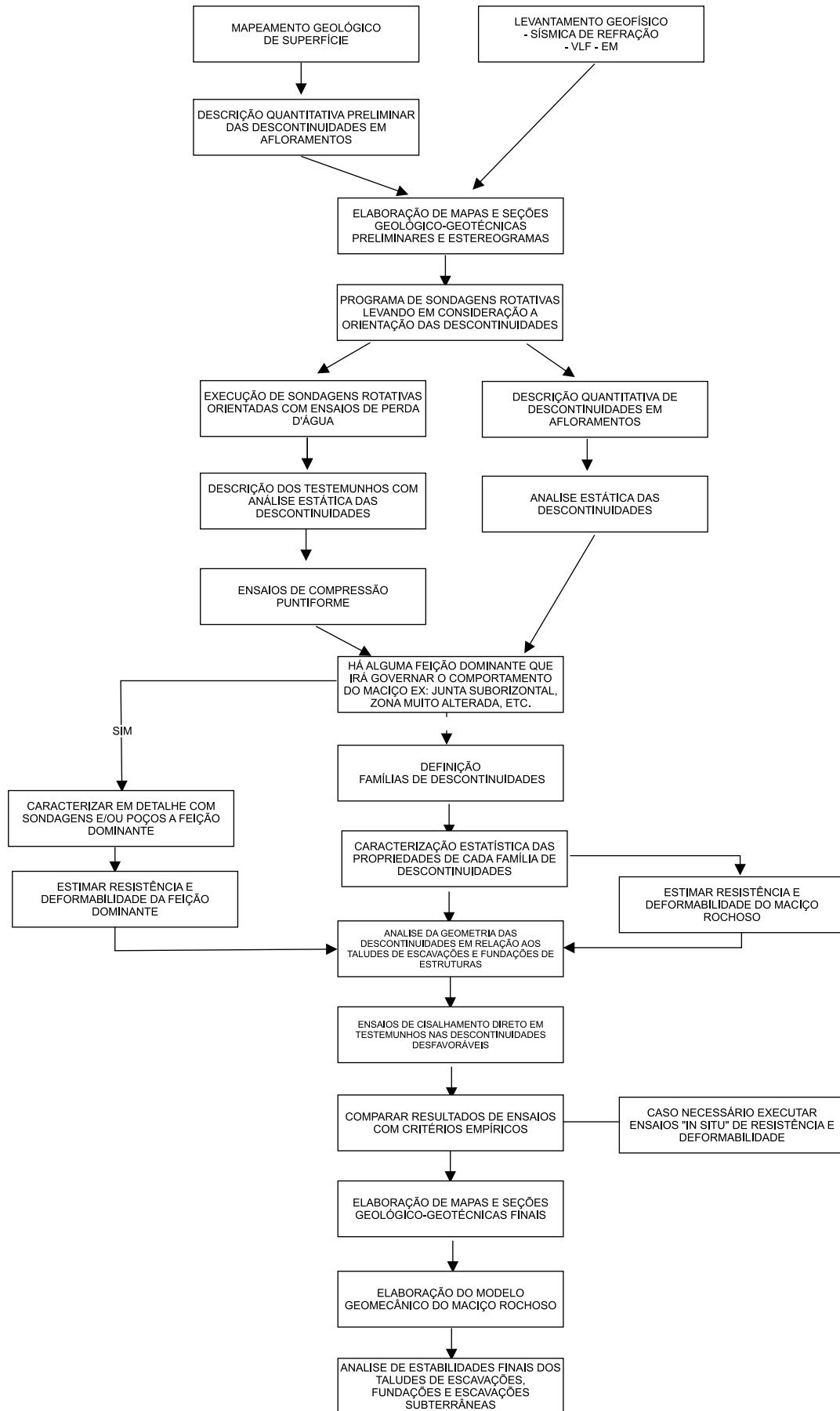


Figura 1 – Metodologia para caracterização de maciços rochosos.

3.2 Testemunhos de sondagens

Com base nos testemunhos de sondagens rotativas orientadas, foi efetuada uma descrição do maciço rochoso em subsuperfície, também segundo norma da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM, 1978). Os Parâmetros descritos das descontinuidades foram:

- orientação;
- rugosidade;
- resistência das paredes;
- espaçamento.

Tem-se como grande limitação a dificuldade de se determinar a persistência e a abertura destas descontinuidades. No âmbito do maciço rochoso foram determinados:

- estado de alteração,
- resistência do material rochoso.

3.3 Análise e interpretação de dados

Com a utilização de um banco de dados e um programa de computador específico para análise de descontinuidades, é possível se traçar, em “plotter”, estereogramas, permitindo uma análise rápida da geometria das descontinuidades.

Inicialmente, as atitudes (direção e mergulho) das descontinuidades foram plotadas em estereogramas representando todos os pontos individuais de amostragem (afloramentos e sondagens). Em uma segunda etapa são plotados os estereogramas representando áreas ou profundidades selecionadas de acordo com dada estrutura ou escavação proposta. Finalmente, foi plotado um estereograma com todas as descontinuidades dos afloramentos a medidas obtidas em sondagens orientadas, subdivididas por tipo litológico, ou em limites de profundidade, de maneira a caracterizar as diferentes famílias de descontinuidades presentes em todo maciço rochoso.

Uma vez determinadas as famílias de descontinuidade presentes em uma determinada área ou entre limites de profundidade pré-selecionados, foram estudadas as propriedades de cada família.

Para cada família de descontinuidade foram feitos histogramas de frequência “versus” abertura, espaçamento, persistência, rugosidade, resistência das paredes e percolação, permitindo caracterizar estatística mente as propriedades mais representativas e/ou críticas.

A figura 2 apresenta todos os dados obtidos nos afloramentos de granito na zona de fundação das estruturas de concreto.

4 PARÂMETROS DETERMINADOS POR ENSAIOS-ÍNDICE

4.1 Resistência à compressão puntiforme (I_s)

Os ensaios de resistência à compressão puntiforme foram executados no laboratório de campo e seguiram as recomendações da Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas (ISRM, 1985).

Estes ensaios permitiram uma caracterização expedita e econômica do material rochoso, não envolvendo maiores requintes na preparação das amostras a serem ensaiadas.

Em virtude da quase totalidade das fundações e das estruturas de concreto projetadas estarem sobre o granito, nele foram executados 132 ensaios nesta fase do projeto. Utilizou-se o carregamento diametral, sendo rejeitados os resultados atribuídos aos planos de fratura pré-existente; incipientes ou semi-selados.

A figura 3 mostra a distribuição em frequência dos valores determinados. Os valores de resistência não apresentaram aumento significativo com a profundidade, estando à média dos resultados entre 10 e 11MPa. Correlacionando-se a média dos valores obtidos com os dados da compressão uniaxial (σ_c), obteve-se a relação $\sigma_c = 22,4 I_s$, que fica dentro da faixa média mencionada acima, aceita pela Sociedade Internacional de Mecânica das Rochas.

Particularmente, para as amostras de granito ensaiadas, constatou se uma menor dispersão nos resultados quando comparados aos valores dos ensaios de compressão uniaxial.

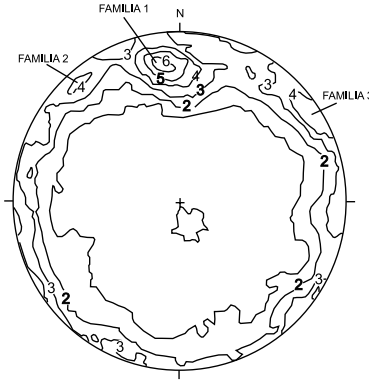
4.2 Resistência ao cisalhamento das descontinuidades

Os ensaios de cisalhamento direto foram executados de acordo com a metodologia proposta por ROSS-BROWN e WALTON (1974) e que se aplica na avaliação da resistência ao cisalhamento em descontinuidades de testemunhos de sondagem. Na preparação dos corpos de prova, utilizaram-se testemunhos de sondagens com diâmetros Hx (7,62 cm) e Nx (5,47 cm) que foram moldados em argamassa sem saturação previa.

A metodologia de ensaio escolhida foi a de múltiplos estágios, na qual houve três incrementos de tensão normal, que foram incorporados a inicial. Não houve, entretanto, descarregamento da amostra ao final de cada estágio.

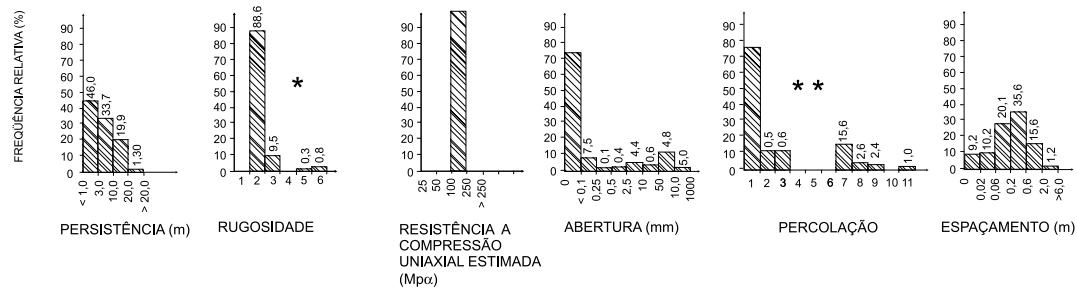
As tensões normais aplicadas foram da ordem de 0,2; 0,4; 0,6 e 0,8 MPa, sendo escolhidas em função das solicitações a que o maciço rochoso será submetido. A metodologia básica utilizada na execução dos ensaios e descrita a seguir:

- ** PERCOLAÇÃO**
- 1 - DESCONTINUIDADE MUITO FECHADA SECA
 - 2 - DESCONTINUIDADE SECA SEM FLUXO D'ÁGUA
 - 3 - DESCONTINUIDADES SECAS, OXIADAS
 - 5 - DESCONTINUIDADE COM PERCOLAÇÃO OCASIONAL
 - 7 - DESCONTINUIDADE PREENCHIDAS COM MATERIAIS RESISTENTES E SECOS
 - 8 - DESCONTINUIDADES PREENCHIDAS COM MATERIAIS ÚMIDOS
 - 9 - DESCONTINUIDADES PREENCHIDAS COM MATERIAIS ÚMIDOS E GOTAS D'ÁGUA OCASIONAIS
 - 11 - DESCONTINUIDADES PREENCHIDAS E COM FLUXO D'ÁGUA
 - 12 - DESCONTINUIDADES LAVADAS COM FLUXO D'ÁGUA.

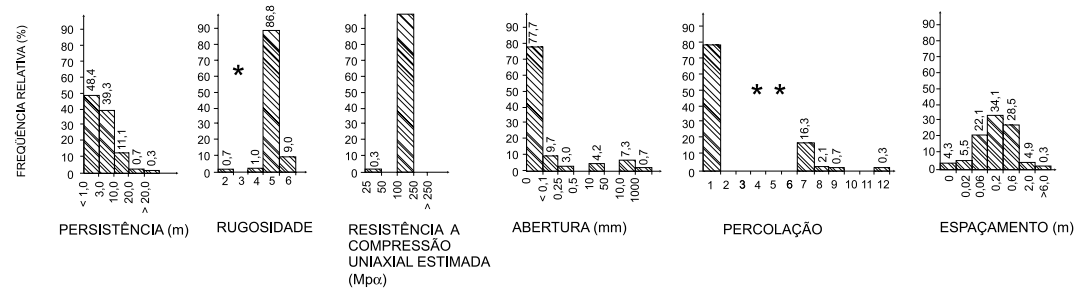


- * RUGOSIDADE**
- 1 - POLIDA COM ESTRIAS ONDULADA
 - 2 - LISA ONDULADA
 - 3 - ÁSPERA OU IRREGULAR ONDULADA
 - 4 - ÁSPERA ONDULADA
 - 5 - LISA RECORTADA
 - 6 - ÁSPERA OU IRREGULAR RECORTADA
 - 8 - LISA PLANA
 - 9 - POLIDA COM ESTRIAS PLANAS.

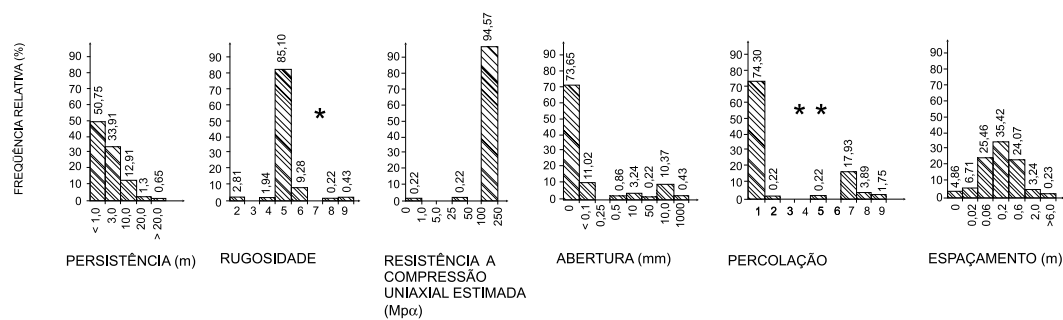
ESTEREOGRAMA DE PROJEÇÃO EQUIÁREA



FAMILIA - 1 N₀ DE DESCONTINUIDADES - 608



FAMILIA - 2 N₀ DE DESCONTINUIDADES - 287



FAMILIA - 3 N₀ DE DESCONTINUIDADES - 463

Figura 2 - Características das Descontinuidades.

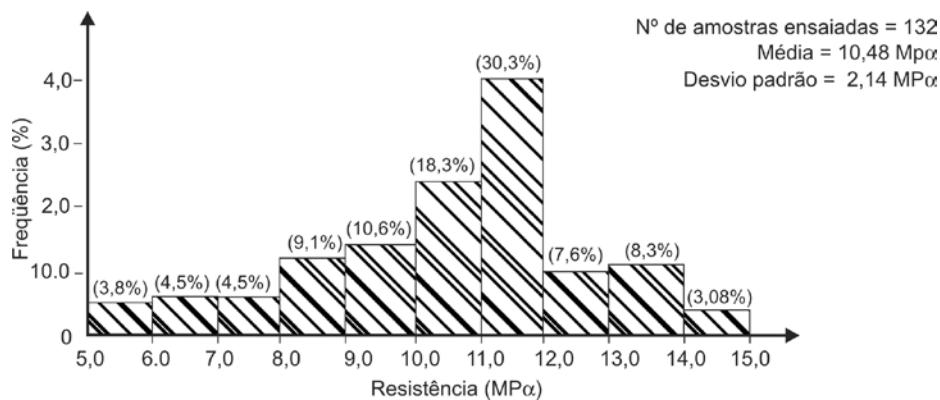


Figura 3 - Granito - Ensaios de compressão puntiforme - Histograma de frequência.

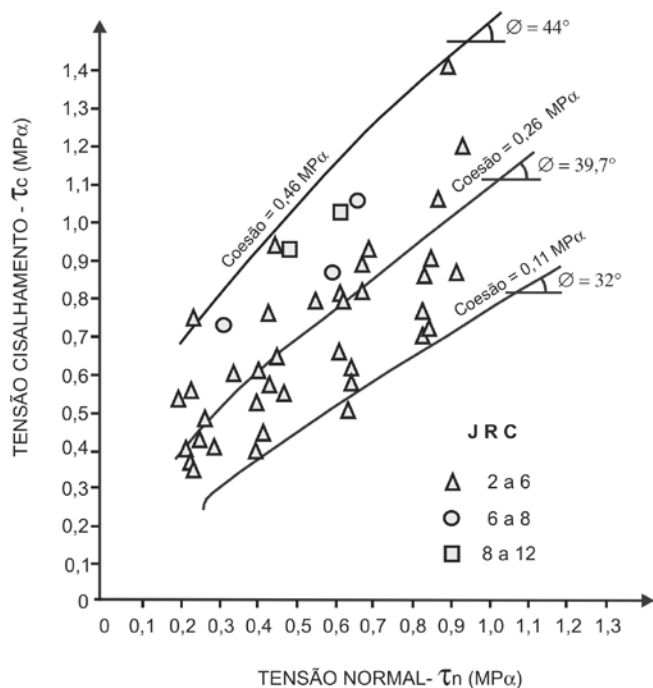


Figura 4 - Granitos - Resultados dos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades com paredes sãs.

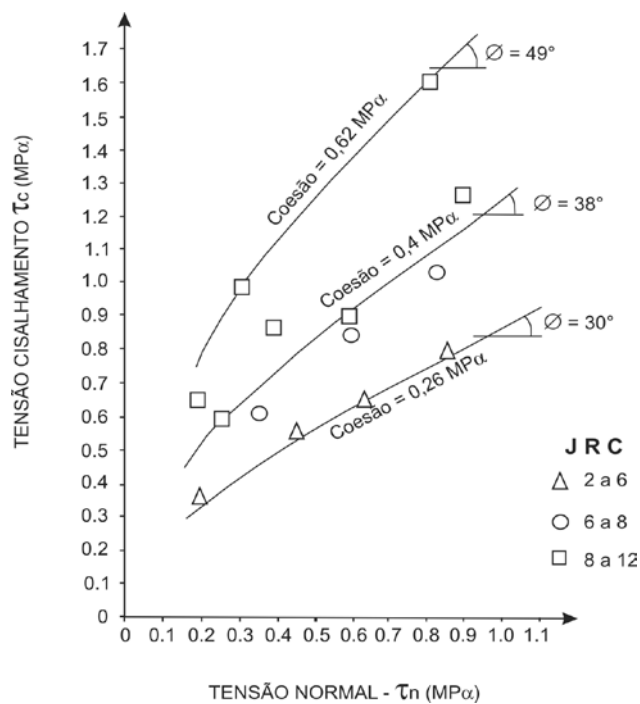


Figura 5 - Granitos - Ensaio de cisalhamento direto em descontinuidades com paredes alteradas.

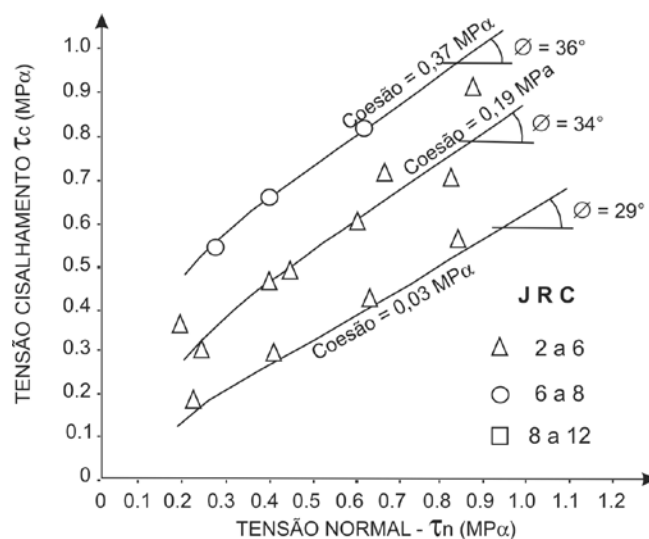


Figura 6 - Granitos - Resultados dos ensaios de cisalhamento direto em descontinuidades com paredes portadoras de clorita.

- após a colocação da amostra (embutida no respectivo molde) no equipamento de cisalhamento direto, a tensão normal é incrementada até chegar a aproximadamente 0,2 MPa. Juntamente com o aumento da tensão cisalhante são observados os deslocamentos nesta direção até chegar a um nível de tensão de pico em que os deslocamentos são grandes (aproximadamente 2 a 3 mm). Concluindo-se o primeiro estágio tensão normal é novamente aumentada para o nível subsequente e reinicia-se o processo de carregamento da tensão cisalhante com a observação dos deslocamentos. São executados estágios sucessivos até seja constatado um deslocamento da ordem de 1,0 cm, no qual já existe uma mudança muito grande na área da superfície ensaiada.

Dentre as fatores que podem resultar deste ensaio estão tanto as que dizem respeito ao material rochoso (granulometria, mineralogia, teor de umidade, etc.) como os característicos da própria descontinuidade (material de preenchimento, rugosidade das paredes, etc.) A rugosidade das paredes e, normalmente, o parâmetro que causa maior dispersão nos resultados. BARTON E CHOUBEY (1977) associaram perfis de rugosidade de juntas às faixas de coeficientes de rugosidade (JRC), sendo essa classificação utilizada para caracterizar individualmente as descontinuidades ensaiadas.

Nas figuras 4, 5 e 6 são apresentadas as envoltórias de resistências máximas, médias e mínimas de descontinuidades em granito. As superfícies das descontinuidades foram subdivididas em: sãs, alteradas e com película de clorita. Nos resultados obtidos, constatou-se uma tendência no aumento dos valores ϕ e C , associados ao crescimento dos índices de JRC, sendo este fator por vezes mais relevante até mesmo que o estado de alteração das paredes. As figuras 4 e 5 demonstram a conclusão anteriormente citada. O fato das descontinuidades com paredes sãs terem mostrado, em média, resistências ligeiramente inferiores as descontinuidades com paredes alteradas, se dá claramente pelo fato da maior parte das descontinuidades de paredes sãs apresentarem rugosidade menor.

Constatou-se também que as descontinuidades com menor resistência são aquelas que apresentam uma película de clorita que diminui o atrito entre as paredes sãs.

5 DETERMINAÇÃO EMPÍRICA DE PARÂMETROS GEOMECÂNICOS

5.1 Parâmetros atribuídos para maciços sem a presença de descontinuidades dominantes

Nos casos em que a resistência do maciço rochoso foi determinada para potenciais superfícies de ruptura aleatórias no maciço rochoso e não por uma zona ou descontinuidade principal menos resistente, foi utilizado o critério de ruptura empírico proposto por HOEK e BROWN (1980). Este critério baseia-se na expressão do tipo:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{\sigma_3 \sigma_c m + \sigma_c^2 S}$$

onde m e s são constantes das características do maciço rochoso, que podem ser obtidas a partir da classificação de maciços rochosos proposta por BIENIAWSKI (1976) e pela classificação do tipo litológico (HOEK e BROWN, 1980) a resistência à compressão uniaxial.

Pelas características do litotipo presente nas fundações, o maciço granítico foi classificado como sendo uma rocha ígnea de granulação média a grossa, segundo HOEK e BROWN (1980).

A determinação das características do maciço de fundação para as estruturas, obtidas com a utilização da classificação de BIENIAWSKI (1976), bem como sua classificação final e dos respectivos valores de m e s , são apresentados nos quadros 1 e 2.

Face à curvatura pronunciada das envoltórias de resistência, os parâmetros de coesão foram determinados para tensão normal entre 0,1 e 0,6 MPa, o que corresponde aproximadamente a faixa de tensão a que será submetido o maciço rochoso.

5.2 Parâmetros atribuídos para descontinuidades dominantes de maior persistência

Nos casos em que o comportamento geomecânico gerado por uma descontinuidade principal de maior persistência, foi utilizado o critério empírico de BARTON e CHOUBEY (1977), que se baseia na seguinte equação:

$$\phi_{pico} = JRC \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_b$$

onde JRC é o coeficiente de rugosidade da junta, JCS é a resistência à compressão da parede da junta e ϕ_b o ângulo de atrito básico.

Nas possíveis descontinuidades subhorizontais persistentes na fundação do muro de transição direito e vertedouro, foi estimado por este critério um ângulo de atrito de pico de aproximadamente 50° e uma coesão aparente de 0,04 MPa, considerando-se o coeficiente de rugosidade da junta (JRC) igual a 8, a resistência da parede da descontinuidade 2.00 MPa e ϕ_b de 32°.

Entretanto, os resultados obtidos nos ensaios de cisalhamento direto, nos testemunhos de sondagens, foram inferiores, tendo-se finalmente atribuído, no modelo geomecânico, os valores de $\phi = 45^\circ$ e $c = 0,1$ MPa para estas descontinuidades.

Nas possíveis descontinuidades persistentes de paredes alteradas, que ocorrem na fundação do muro de transição esquerdo, dada a dificuldade de se estimar a resistência das paredes, foram adotados os valores considerados representativos obtidos nos ensaios de laboratório ($c = 0,25$ MPa

e $\phi = 40$), além de se considerar que estas feições são persistentes ao longo de todo o bloco,

5.3 Módulo de deformabilidade

Os módulos de deformabilidade do maciço rochoso foram estimados tendo como base a correlação empírica com a classe de maciço rochoso definido pela classificação BIENIAWSKI (1976), conforme proposto por SERAFIM e PEREIRA (1983).

No quadro 2 são apresentados os valores adotados para módulos de deformabilidade dos maciços de fundação de cada uma das estruturas de concreto.

Dadas as características geomecânicas favoráveis do maciço rochoso, pode-se prever que não haverá problemas quanto à deformabilidade da fundação das estruturas de concreto, Mesmo na zona do canal profundo, onde o maciço se apresenta muito fraturado, pode-se estimar valores da ordem de 10 GPa para o seu módulo de deformabilidade, que é satisfatório, em função dos níveis de tensão que atuarão na fundação.

Quadro 1 - Classificação geomecânica do maciço rochoso parâmetros na classificação de Bieniawski.

ESTRUTURA	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO SIMPLES		RDQ		ESPAÇAMENTO DAS DESCONTINUIDADES		CONDIÇÃO DAS DESCONTINUIDADES	CARACTERÍSTICAS HIDRO-GEOTÉCNICAS	AJUSTE PARA ORIENTAÇÃO	TOTAL PARA PONTOS
	c (MPa)	PONTOS	(%)	PONTOS	(CM)	PONTOS	PONTOS	PONTOS	PONTOS	
Muro de transição esquerdo e tomada d'água (blocos 1 a 4) Granitos são	> 200	15	75 a 90	17	30 a 100	20	20	7	-25	54
Muro de transição esquerdo e tomada d'água (blocos 1 e 4) Granito com fraturas de paredes alteradas - superficiais	100 a 200	12	50 a 75	13	30 a 100	12	12	7	-25	31
Tomada d'água (blocos 2 e 3) Zona de falha em granito são	> 200	15	< 25	3	5 a 30	10	20	7	-25	30
Vertedouro e muro de transição direito Granitos são	> 200	15	50 a 75	13	5 a 30	10	20	7	-15	60

Quadro 2 - Atribuição de parâmetros geomecânicos ao maciço rochoso.

ESTRUTURA	CARACTERÍSTICA	PONTUAÇÃO (1)	O _c (MPa)	PARÂMETRO DA EQUAÇÃO (2)		C	Ø (O) (3)	E (GPa) (4)
				(m)	(s)			
Muro de transição esquerdo e tomada d'água (blocos 1 e 4)	Perturbado por escavações a fogo	54	230	0,93	0,0005	0,6	57	30
Granito são	Não perturbado		230	1,0	0,0007	1,0	57	35
Muro de transição esquerdo e tomada d'água (blocos 1 e 4)	Perturbado por escavações a fogo	31	180	0,18	0,00001	0,3	45	8
Granito com fraturas de paredes alteradas - superficial	Não perturbado		180	0,20	0,0001	0,5	45	10
Tomada d'água (blocos 2 e 3)	Perturbado por escavações a fogo	30	230	0,17	0,00001	0,2	45	8
Zona de falha	Não perturbado		230	0,19	0,00005	0,4	45	10
Vertedouro e muro de transição direito	Perturbado por escavações a fogo	50	230	0,60	0,0002	0,3	56	30
Granito são	Não perturbado		230	0,75	0,0002	0,7	56	35

(1) Segundo classificação de maciços rochosos apresentada na quadro 1.

(2) Constantes de equação do critério empírico de HOEK e BROWN.

(3) C e Ø determinados a partir de pares de valores de σ_1 e σ_3

(4) Modelo de elasticidade do maciço rochoso estimada com base no critério de SERAFIM e PEREIRA.

6 MODELO GEOMECÂNICO DO MACIÇO ROCHOSO

A figura 7 apresenta os modelos geomecânicos preliminares das fundações das principais estruturas de concreto, concebidas conforme metodologia descrita nos itens anteriores.

Esta metodologia, calcada em resultados-índice obtidos de ensaios expeditos e na aplicação de critérios empíricos de resistência e deformabilidade

de maciços rochosos, permite um melhor abalimento das definições dos parâmetros geomecânicos de maciços rochosos. Estes parâmetros, assim obtidos, podem ser reavaliados de modo coerente, durante o prosseguimento dos estudos e investigações, com sensível redução do subjetivismo inerente ao processo. Podem, também, ser comparados com os de outras obras, onde o método venha a se aplicar, facilitando o intercâmbio de experiências.

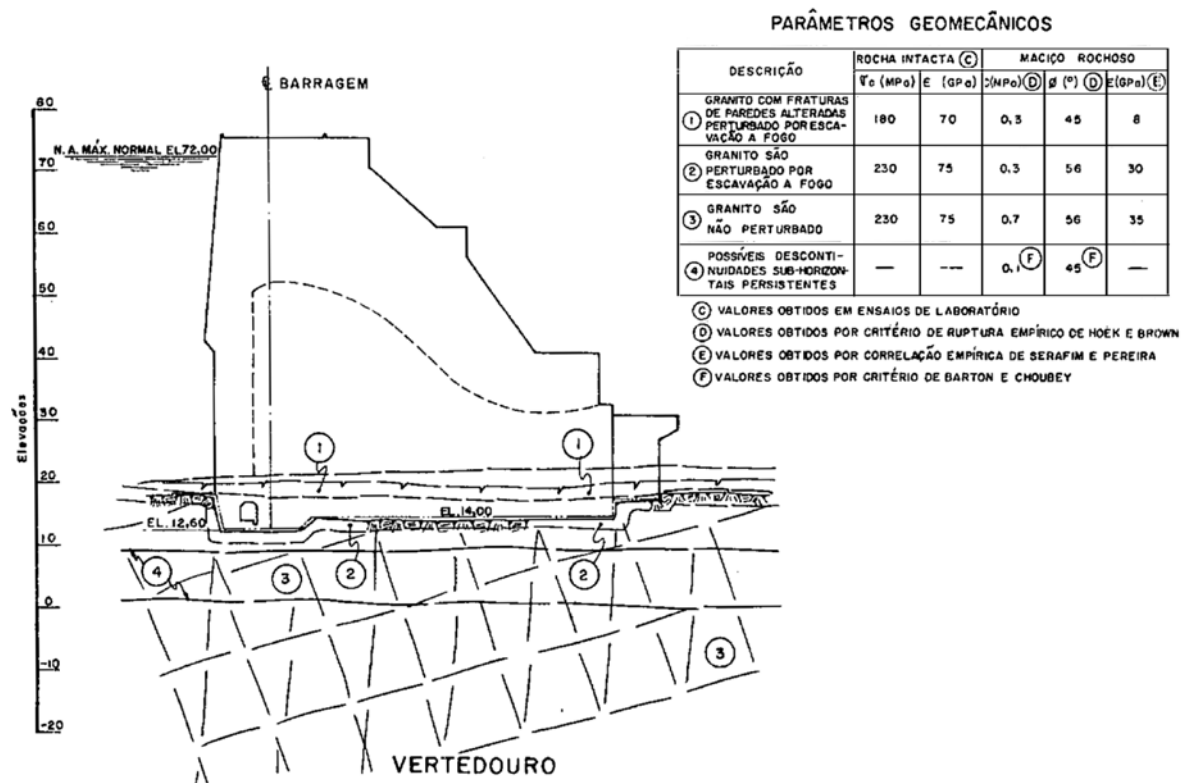
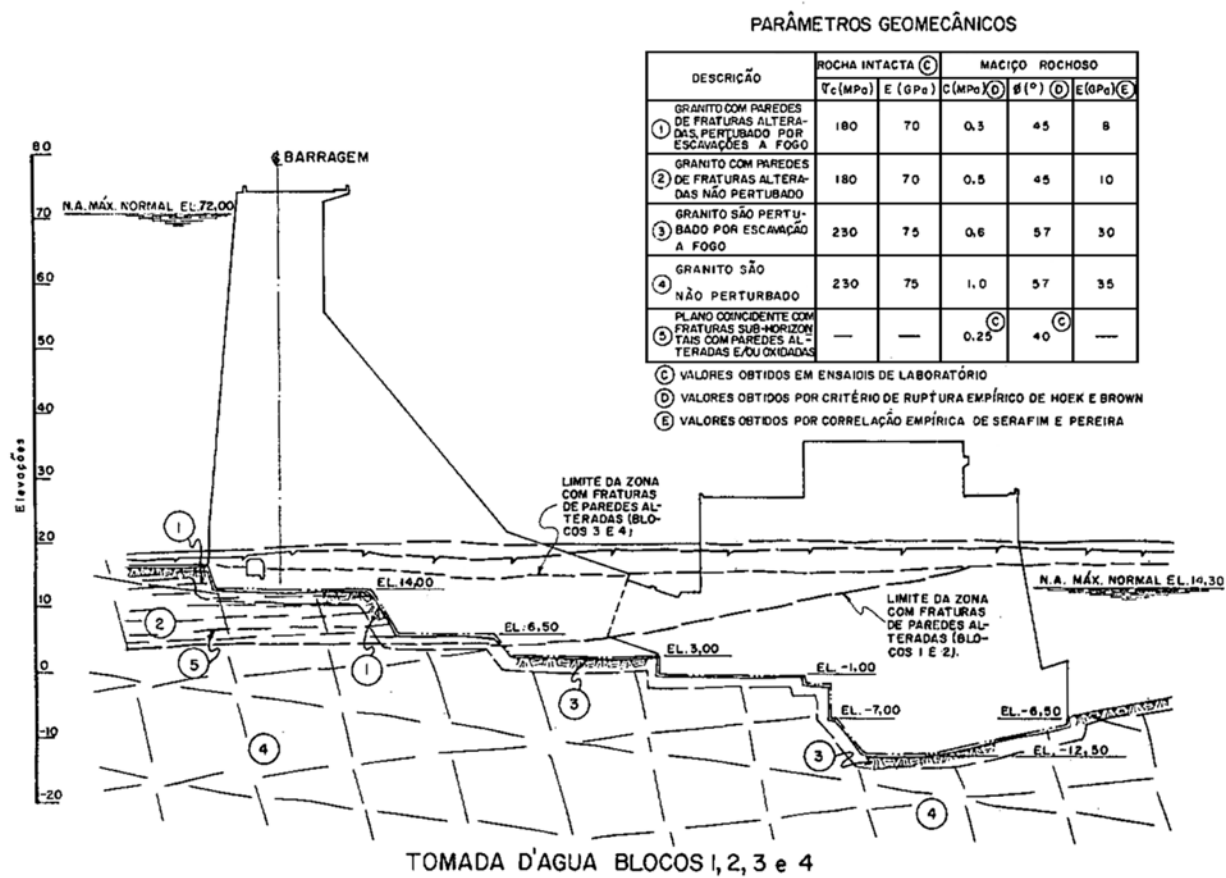


Figura 7 - Modelos geomecânicos

Agradecimentos

Os autores agradecem as Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A. (ELETRONORTE) a permissão da publicação deste trabalho e a todos os técnicos que, de uma forma ou de outra, participaram da elaboração e construção deste estudo.

BIBLIOGRAFIA

BARTON, N. e CHOUBEY, V. (1977) The Shear Strength Of Rock Joints in Theory and Practice. Rock Mechanics. Vol. 10/1-2.

BIENIAWSKI, S.T. (1976) Rock Mass Classification in Rock Engineering. Proc. Symposium on Exploration for Rock Engineering. Johannesburg, Vol. 1, p.97-106.

HOEK, E. and BROWN, E.T. (1980) . Empirical Strength Criteria for Rock Masses. Jour. Geotech. Eng. Div. ASCE, Vol. 106 NGT 9, P. 1013-1035.

ISRM - International Society of Rock Mechanics (1978). Suggested. methods for determining the

uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. In: BROWN, E.T. Rock Characterization Testing EMonitoring. Oxford, Pergamon Press, 1981. p. 113-16:

ISRM - International Society for Rock Mechanics (1985). Suggested Method for determining point load strength. In: J.Rocks Mech.Min. Sci e Geomech. Abstr., Vol. 22 (2); P. 51-60.

PUPO, G; SCARMINIO, M.; RIBEIRO, A.C.O.JACOMO, A. (1986) "Conditioning Geological Factors in the Selection of the site for the Cachoeira Porteira Dam". Anais do 5º Congresso da IAEG, Vol.4 P. 1173 a 1182.

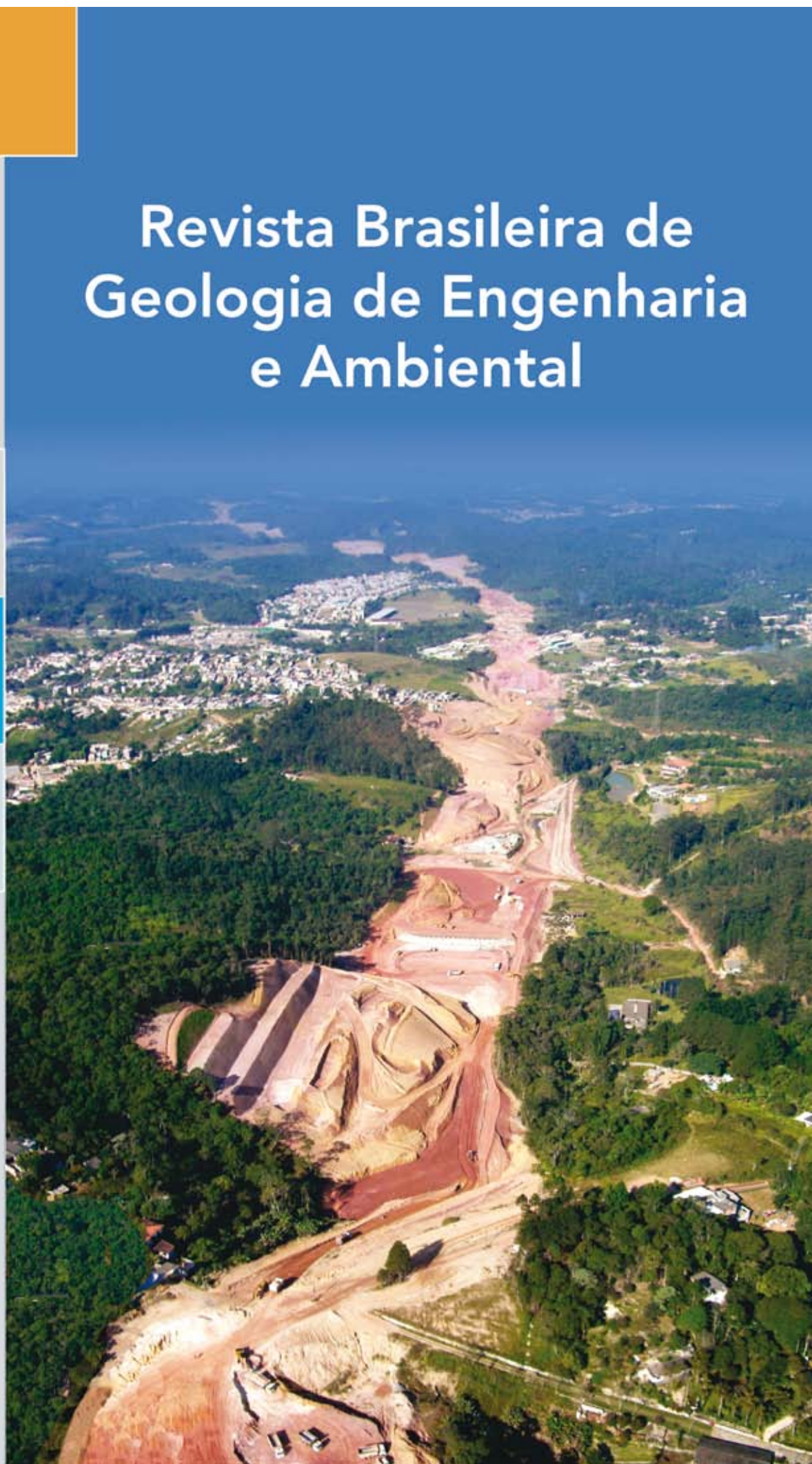
ROSS-BROWN, D.M.C. WALTON G.,- (1975) A portable shear box for testing rock joints. Rock Mechanics. Vol. 7 No (3): P. 129-53

SERAFIM, S.L. e PEREIRA, J.P. (1983) Considerations of the Geomechanical Classification of Die-nawsKi. Proc int symp or engineering geology and underground construction, Lisboa, Vol. 1, II 33 a.42.



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

O BRASIL E A GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO TERRITORIAL E URBANO*

FERNANDO LUIZ PRANDINI (IN MEMORIAN)

Geólogo da Divisão de Minas e Geologia Aplicada do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A - IPT.

A economia mundial impõe aos países, em desenvolvimento, notadamente os situados na faixa tropical e intertropical, uma escala de produção acelerada, onde mais e maiores áreas são solicitadas. A tecnologia utilizada nesta verdadeira gincana econômica, e proveniente em grande escala de países desenvolvidos, cujas condições diferem em muito das apresentadas pelos países em desenvolvimento. Mesmo quando os resultados, a curto prazo, se revelam satisfatórios, a médio e longo prazo, os saldos são no mínimo preocupantes.

Ao contrário do que aparenta, os problemas de degradação ambiental não são exclusivos de países de ocupação antiga. O Brasil, apesar de sua juventude, já apresenta extensas áreas onde a degradação já se instalou. O pouco alarde que tais fatos ainda suscitam, deve-se à baixa densidade e alta mobilidade das populações de tais áreas.

Para bem cumprir o papel histórico reservado ao Brasil, urge a elaboração de um arsenal tecnológico, no qual as técnicas para o melhor uso territorial têm, sem sombra de dúvida, uma posição de destaque.

Um novo ramo da Geologia, a Geologia de Planejamento, com algum retardo, se introduz hoje no Brasil. A participação da geologia em planejamentos territoriais e urbanos requer para sua implantação o uso de tecnologia adequada ao nosso meio físico e nossas condições de país em processo de desenvolvimento.

Os obstáculos para a implantação deste novo ramo da geologia de engenharia devem ser vencidos a curto prazo, para permitir o uso responsável dos recursos naturais, garantindo vida longa e útil

aos recursos não renováveis e aproveitamento criterioso dos recursos renováveis.

1 USO DAS TERRAS TROPICAIS, UMA COLONIZACAO INADEQUADA

As condições ambientais herdadas do processo inicial de colonização são hoje críticas, tornando onerosas diversas atividades de ocupação territorial, que no início da implantação se mostravam lucrativas e florescentes. O advento de recursos tecnológicos que permitem empreendimentos cada vez mais arrojados, envolvendo a utilização de áreas e recursos financeiros sucessivamente maiores, com a solicitação de benefícios cada vez mais premente, não permite as margens de erro tradicionalmente aceitas.

O preço do erro, além da perda do capital investido, pode ser o aniquilamento dos recursos naturais (depauperação dos solos, esgotamento das águas, modificações climáticas). Isso provoca a ruína de populações inteiras que, com o abandono das atividades produtores e consequentes problemas sociais, causam pesados ônus à administração do país. A repetição dos insucessos do passado no uso territorial seria, atualmente, catastrófica.

A erosão elimina, ano após ano, grandes parcelas de solo arável, dificultando, ou mesmo impedindo, atividades agrícolas, ocupação urbana obras de transporte. O consequente assoreamento dos cursos d'água e reservatórios prejudica a pesca e navegação continentais e compromete hidrelétricas e sistemas de abastecimento d'água. Movimentos de terra em grandes extensões, ou mais

* Editado: Anais do 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia - Volume 3 - maio de 1976

localizados (erosões, escorregamentos), apresentam saldos catastróficos, quando atingem aglomerações urbanas e outras obras civis. O esgotamento e malbarato dos recursos hídricos vêm estagnando a urbanização e industrialização, mesmo em regiões onde a água é tida como abundante.

No mundo todo, o uso inadequado de grandes áreas, seguido ou não de degradação, já afeta mortalmente populações inteiras. Para tais populações o uso predatório de recursos naturais como o solo arável e a aquí subterrânea, pode representar a sua condenação à morte. A maior parte destes países, além da população crescente, enfrenta graves desequilíbrios nas suas forças de produção. Automatiza-se a extração mineral, mecaniza-se e se sofisticava a lavoura e se latifundiária a propriedade rural. Novas atividades agrícolas tomam os campos de cultura. Tais fatos, tendo como consequência a extinção da propriedade familiar e do extrativismo primitivo, resultam num grande excedente de mão de obra. Paralelamente ora como causa, ora como consequência, crescem a urbanização e a industrialização.

Desse modo, expõem-se hoje áreas cada dia maiores a intensa solicitação, proveniente tanto da exploração agrícola, quanto da implantação de obras civis; entretanto, o grau de conhecimento quase nunca acompanha a intensificação do uso do meio físico. Há ainda que se ressaltar o fato de que normalmente não há, por parte das forças produtoras, maior interesse em se aprofundar o conhecimento, além do necessário para garantir o retorno, a curto prazo, do investimento e proventos almejados.

A maior parte dos países, onde este quadro se mostra com poucas variações, são países situados na faixa tropical ou intertropical; tais regiões são hoje tomadas de assalto pelo desenvolvimento; tecnologia moderna e exótica largamente aplicada para acelerar e otimizar a curto prazo, a produção. A maior parte das respostas a estas solicitações são desconhecidas. Algumas reações altamente desfavoráveis do meio físico encontram convenientes explicações nos fenômenos climáticos ou geológicos de larga escala. A parcela de culpa que cabe à forma de uso territorial, quando suscitada, e reduzida quase sempre a dimensões inexpressivas.

Em nosso país já se fazem sentir os efeitos de intensa degradação, envolvendo grandes porções de território, paralelamente a uma somatória respeitável de acidentes e problemas localizados. Dois fatores principais se integram para a ocorrência deste paradoxo aparente, que é a degradação ambiental de um país em processo de ocupação: de um lado, o próprio histórico da ocupação; e de outro, as reações desconhecidas de certos ambientes tropicais. Mesmo quando não guiada pelo espírito predatório, ocupação utilizou e ainda utiliza métodos muitas vezes incompatíveis com as terras tropicais.

A conservação dos conceitos introduzidos pelo colonizador, reforçada pela influência constante de civilizações de regiões frias ou temperadas, resultou numa atuação mecânica, onde as pesquisas e recomendações inovadoras não encontram apoio nem eco. Colaborando com a manutenção de tais preceitos tradicionais, a nossa grande extensão territorial tem permitido a translação de atividades rurais ou extrativistas para "terras virgens", mascarando os fracassos, mantendo, quando muito, empreendimentos extensivos, que seriam considerados inviáveis frente a outras realidades econômicas.

Inúmeros casos nacionais podem ser citados, exemplificando a falta de critério no aproveitamento dos recursos naturais. Um dos casos mais próximos no espaço e no tempo é o que ocorreu nas últimas décadas em grandes áreas do Noroeste do Estado do Paraná, onde não se fez distinção entre a "terra roxa", proveniente de rochas basálticas, e os solos arenosos que cobrem o arenito Caiuá, de cor semelhante. Este último solo, de grande fertilidade inicial, teve um rápido exaurimento e, posteriormente, de suas características, manifestou fenômenos de erosão e assoamento, de tal forma crescentes, que hoje são considerados como problemática de difícil solução e localmente como verdadeiras tragédias. A região mais afetada perfaz uma área de aproximadamente 30.000 km², somente no Estado do Paraná. Nesta mesma região e em vastas áreas do Sul e Sudeste a erosão urbana afeta o crescimento de centenas de municípios.

A locação tradicional de cidades em altos topográficos faz com que as águas pluviais e servidas

sejam lançadas em drenagens temporárias ou permanentes, cujos leitos se constituem em material inconsolidado. O incremento de vazão inicia um processo erosivo, em geral remontante, que se desenvolve rumo ao núcleo urbano, colocando em risco ou destruindo toda sua infraestrutura.

A ocupação indiscriminada de encostas, alagadiços e outros terrenos problemáticos e outra fonte de acidentes e problemas “insolúveis” da urbanização. As causas que levam a população ocupar tais áreas são de ordem econômica e fora do campo tecnológico; porém a geotecnia tem elementos que permitem a previsão e prevenção de acidentes e problemas futuros. A partir da incorporação destas áreas a administração pública, esta assume a problemática de crescimento e manutenção dos novos bairros. Podem ser lembrados casos como Mont-Serrat em Santos (1956), Caraguatatuba (1967), Vila Albertina em Campos de Jordão (1972), figuras 1 e 2, acidentes que se repetem nos morros do Rio de Janeiro, assim como inúmeras áreas urbanizadas com problemas permanentes de implantação e manutenção de melhoramentos urbanos (saneamento, arreamento e as próprias habitações). Enfrentando problemas permanentes, temos junto a núcleos urbanos, novos conjuntos residenciais e até mesmo bairros inteiros recém-construídos que apresentam graves problemas de implantação e manutenção da infraestrutura urbana.

Nosso território extenso e variado impõe a urbanização, problemas que se caracterizam infelizmente como tristes novidades. Tais fenômenos vão desde os comuníssimos processos erosivos que afetam as cidades do sudeste brasileiro (estereotipadas naquelas do Noroeste do Paraná), passando por não menos comuns movimentos de encostas que afetam núcleos habitacionais “do morro”, até problemas “especiais”, como por exemplo: a corrida de terra, que destruiu sessenta casas em Vila Albertina em 1972; a corrida de areia que provocou o afundamento de treze edifícios em Guaratuba - PR, em 1968; o decantado caso do Vale Grande, cujo alargamento por erosão vem desde o século passado vencendo a cidade de Iguape, terminando por sufocá-la pelo assoreamento de seu porto; o soterramento pro-

gressivo do núcleo habitacional de Laguna - SC, que até 1975 já tinha 7 de suas residências totalmente cobertas pelas dunas. As disponibilidades de água, tanto para uso urbano como industrial, são via de regra consideradas do ponto de vista de uso imediato, sem uma previsão realista de uma maior demanda futura, nem tampouco na manutenção dos recursos existentes. Exemplo claro e atual de tal situação é encontrado na região do ABC-SP, (municípios industriais da Grande São Paulo), onde a carência de recursos hídricos representa uma invencível barreira para a continuidade do crescimento industrial; sendo um dos fatores principais para a mudança de indústrias para outras áreas. O mais grave é que a transferência dos pólos industriais também se efetua sem estudos prévios adequados, o que faz antever, dentro em breve, o surgimento dos mesmos problemas, tanto de poluição como de carência de recursos, nas novas áreas assim eleitas. No Brasil, torna-se imperioso, como embasamento do esforço desenvolvimentista, o conhecimento do meio físico de superfície e subsuperfície, cujas potencialidades e limitações deverão direcionar os empreendimentos de uso do território, rumo a um sucesso sólido e duradouro.

2 O MEIO FÍSICO E O PLANEJAMENTO

A necessidade de planejar o uso humano do território é uma imposição administrativa do desenvolvimento. Porém, é fato inegável que o meio físico não tem sido considerado dentro da importância que representa. O crescimento desordenado que afeta nossas metrópoles e, fruto basicamente de ausência de planejamento, ou, mais lamentavelmente, resulta de planejamentos, muito discutíveis. Neste último caso o saldo é negativo sob três aspectos principais. Em primeiro plano, destaca-se o caráter parcial de tais planejamentos, o que as torna dificilmente exequíveis e, assim, plenamente cumpridos ou não, redundam em fracasso. Em segundo plano, próprio ônus com tais serviços resulta num reprovável desperdício do erário público. Em terceiro plano, como consequência dos dois primeiros, resulta o descrédito crescente no termo “planejamento”.

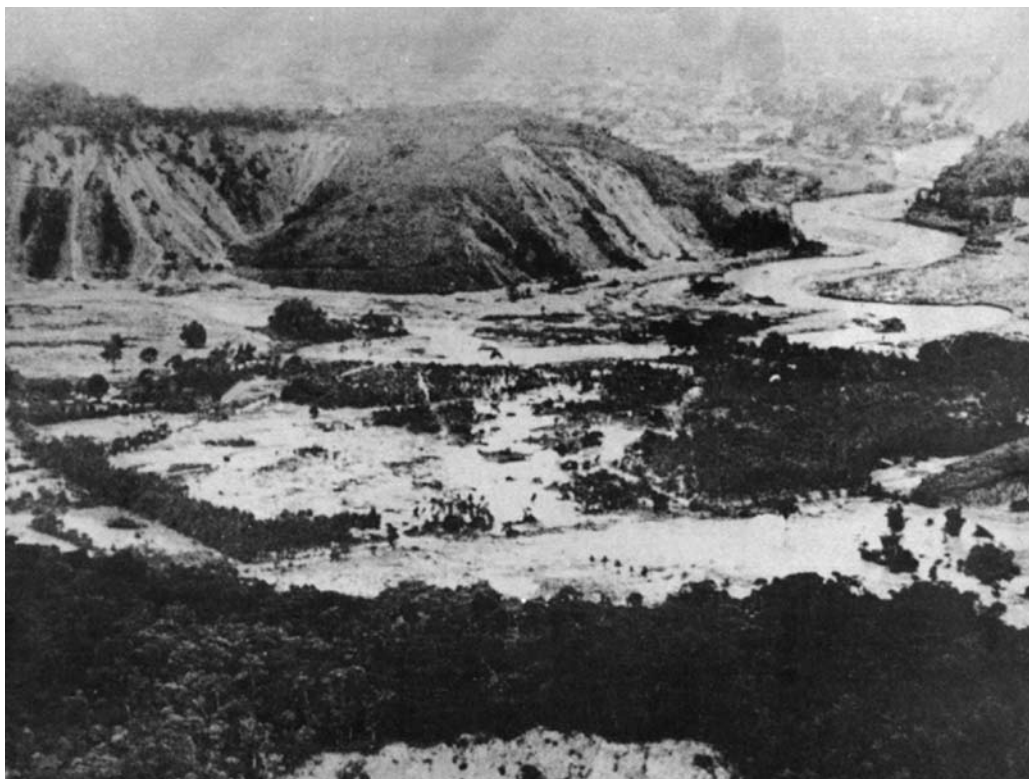


Figura 1 - Vista aérea parcial dos escorregamentos, regionais na Serra de Caraguatatuba, SP - Março de 1967.



Figura 2 - Vista aérea parcial do escorregamento de Vila Albertina - Campos do Jordão, SP - Agosto de 1972 (Foto "Agência Estado").

Mesmo em cidades menores e menos complexas, diagnósticos, planos diretores têm sido elaborados expeditamente, encarados como burocracia "pre-forma", já que exigida por lei, para desejadas dotações orçamentárias municipais.

Os poucos trabalhos encontrados dentro de planejamentos regionais ou urbanos que encaram o meio físico com seriedade, resumem-se a considerações parciais no sentido do aproveitamento de disponibilidades locais. De modo geral, os elementos

considerados prendem-se a aspectos topográficos, ocorrência de materiais de construção e facilidades de uso de água. Entretanto, o meio físico fornece, a vários níveis de investigação, um aspecto mais amplo das suas potencialidades e limitações de uso: bem conhecer a natureza dos terrenos é premissa básica para um planejamento bem sucedido.

3 O CONHECIMENTO DO MEIO, A GEOLOGIA NO PLANEJAMENTO

Cabe à Geologia o conhecimento de grande parte dos fatores condicionantes de uso. Assim, suscetibilidades à erosão e a movimentos, disponibilidade de águas subterrâneas, atitudes e características de maciços terrosos e rochosos, dinâmica da crosta e um grande número de características do ambiente e dos materiais, relacionam-se aos estudos geológicos.

Informações isoladas podem ter um significado restrito, porém, conjunto de informações, relativas a uma área ou várias áreas, analisadas sob o prisma de seu interrelacionamento, pode determinar inúmeras limitações e potencialidades do meio ambiente, frente aos possíveis usos humanos.

A **Geologia Ambiental**, termo há pouco introduzido no Brasil, pode ser conceituada como a parte da Geologia que congrega os elementos básicos para o bom uso da terra. Parece-nos, entretanto, que tal termo não define claramente a participação da geologia em anteprojetos, ou planos de uso territorial. O termo **Geologia de Planejamento** parece estar mais intimamente ligado ao aproveitamento racional da superfície terrestre. A atuação do geólogo no Planejamento deveria ser entendida como um trabalho de equipe, em que constassem especialistas em todas as áreas de conhecimento exigidas pelo trabalho. A filiação da Geologia de Planejamento a Geologia de Engenharia se deve à tecnologia já implantada e desenvolvida por este ramo da Geologia, tecnologia essa que vai de encontro às necessidades iniciais da Geologia de Planejamento. Além de subsidiar o planejamento do uso territorial e urbano, este ramo da Geologia pode participar de programas de recuperação e controle de degradação ambiental. Para tal, dispõe-se dos recursos da geotecnia para a escolha dos meios a áreas propícias.

Para a implantação da Geologia de Planejamento duas premissas nos parecem indispensáveis:

o desenvolvimento de “know-how” nacional, obtido através de estudos globais com experimentos de campo, e paralelamente, o abandono da mentalidade imediatista na administração dos bens naturais. As duas premissas acham-se interrelacionadas em muitos pontos, num círculo vicioso de interdependência. De um lado, o insucesso de planejamentos e medidas parciais de correção, e ainda os altos custos de conservação de certas obras, desencorajam as ações da administração pública. De outro lado, a intermitência das dotações de verba, aliada a fatores de ordem profissional, impedem a eficiência dos estudos. Como todo desenvolvimento de “know-how”, tais trabalhos se revelam produtivos quando contínuos e profundos.

Alguns fatores externos ao citado ciclo vicioso vêm concorrendo para a solução do impasse. Os resultados de muitas obras civis de grande porte, o interesse de órgão governamentais e internacionais, os efeitos da campanha conservacionista amparada pela imprensa, entre outros fatores, podem tornar viável a implantação de uma mentalidade de planejamento.

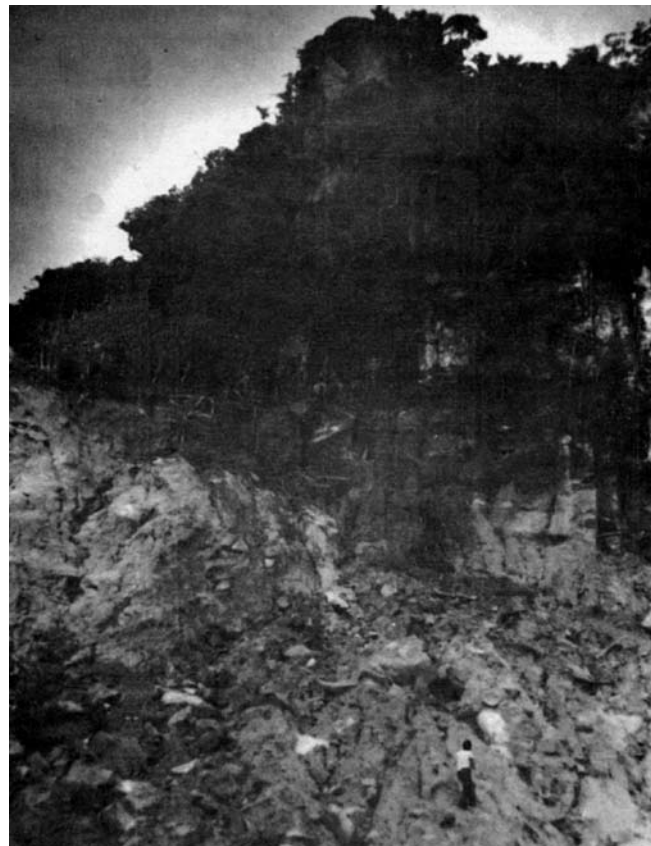


Figura 3 – Vista parcial de um dos escorregamentos que afetaram em março/maio de 1974 a Serra de Maranguape, Ceará – Março de 1975.

O planejamento desejado permitiria à administração pública satisfazer o interesse da livre empresa, apresentando opções e orientando os empreendimentos no sentido de bem comum, a curto, médio e longo prazo.

Integradas às outras áreas do conhecimento, as condicionantes geológicas e geotécnicas se mostram indispensáveis tanto na previsão da suscetibilidade à degradação dos meios físicos, quanto na concepção dos modos de prevenção e correção das degradações ambientais.

4 A GEOLOGIA E BOM USO DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

No Brasil, os problemas mais conhecidos, que mostram a ligação entre os sucessos dos usos territoriais e a natureza geológica, agrupam-se em três categorias principais: - problemas ligados à erodibilidade, problemas ligados a movimentos de massas e - problemas ligados ao abastecimento d'água. A disponibilidade de materiais naturais de construção perfaz um tópico particular de condicionantes do sucesso da implantação de obras civis, como barragens, vias de transporte e urbanização. A interinfluência entre os materiais utilizados nas obras e entre estas e o meio físico, é determinante na apreciação da viabilidade de uso de determinada porção do território.

4.1 Problemas ligados à erodibilidade

As características de erodibilidade, estando ligadas aos aspectos topográficos e granulométricos da distribuição dos solos superficiais, entre outros aspectos, determinam as conhecidas formas de erosão laminar e de ravinamento. Porém, em nosso meio ambiente, outra forma de erosão, localmente mais danosa, pode coexistir com as formas citadas. Tal forma de erosão recebe entre nós o nome de boçoroca, a qual, mais que grande ravina, revela-se especialmente perigosa quando se desenvolve junto a cidades obras viárias ou outras obras civis. A grande velocidade de desenvolvimento, as dimensões atingidas e as dificuldades

de contenção são suas características mais conhecidas. Entretanto são raros os estudos a respeito de seus mecanismos de progresso e, conseqüentemente, dos meios de contenção.

Aparentemente dissociada das características litológicas indicadas nos mapas geológicos brasileiros, a boçoroca afeta indistintamente tanto solos que capeiam rochas cristalinas, quanto aqueles que capeiam as sedimentares. Atacando preferencialmente áreas deflorestadas, sua ocorrência parece estar ligada a uma associação favorável de fatores imperantes em extensas áreas no Brasil. Entre tais fatores, merecem destaque determinada dos perfis pedológicos, comuns aos solos tropicais, de condições topográficas e geomorfológicas de regiões onduladas, onde predominam as formas côncavas e suaves. Comportamentos particulares da água no subsolo, bem como variáveis de ordem climática, parecem ser também determinantes no surgimento de boçorocas. Dos casos que se tem notícia pode-se depreender que as regiões sul e sudeste apresentam extensas áreas profundamente afetadas pela erosão e, conseqüentemente, pelos problemas de assoreamento, de rios e reservatórios. Nota-se ainda que as formas de erosão tropical estão associadas inequivocamente aos extensos depósitos cenozóicos que constituem os solos superficiais de grandes áreas do sudeste brasileiro.

Notícias de ocorrências de boçorocas ou de grandes ravinas, em outros pontos do território nacional, relatados por técnicos que operam nessa área, podem, entretanto, indicar que as boçorocas se desenvolvem com maior frequência no sul e sudeste, também por serem estas regiões brasileiras as que apresentam uso mais intensivo e generalizado.

A erosão fluvial se reveste de maior importância nas porções de território onde os cursos d'água atravessam formações sedimentares inconsolidadas. Principalmente quando o regime hídrico tenha sofrido interferências, alterando o seu equilíbrio erosão/sedimentação. Formações arenosas incoerentes são comuns em extensas porções da faixa litorânea, assim como nas bacias dos grandes rios de planície, como os da bacia amazônica.



Figura 4 - Boçoroca se desenvolvendo na zona rural de Joborandi, Bahia, sobre colúvio do arenito Urucuia.



Figura 5 - Vista aérea parcial de uma das boçorocas que afetaram a cidade de Cianorte, PR, Sobre solos que capeiam o arenito Caiuá.



Figura 6 - Detalhe da foto anterior (Fig. 5).

4.2 Problemas ligados a movimentos de massas

Quanto aos movimentos de massas, podem ser assim considerados: diversos tipos de escorregamento e fenômenos de adensamento, ou de subsidência.

- a) Os escorregamentos se acham intimamente ligados à configuração topográfica, à geologia (estruturas, espessuras de solo), à cobertura vegetal, à pluviosidade local. Desse modo, quase toda a extensão da Serra do Mar e outros padrões geográficos que marcam a ascensão para o Planalto Atlântico, apresentam áreas propícias a ocorrência de escorregamentos. Os condicionamentos geológicos e climáticos, aliados às atividades antrópicas, como sua travessia por vias de transporte, desmatamento e outras formas de ocupação desordenada, fazem destas unidades geográficas o palco de deploráveis acidentes. Os escorregamentos, tidos como mecanismo normal da evolução das encostas, têm na ocupação indiscriminada destas, um fator de catalização e aceleração. Assim como as serras, de um modo genérico, são condicionantes regionais de áreas sujeitas a escorregamentos, mais localmente, vertentes de colinas e morros isolados, quando sujeitas a ocupação desordenada, podem gerar escorregamentos não menos catastróficos. As características dos maciços tópicos com suas grandes espessuras e, naqueles de origem residual, a manutenção das feições estruturais da rocha matriz, fazem, destes maciços um caso particular nos estudos tradicionais de estabilidade. Deste modo, cabe aos técnicos brasileiros formular soluções próprias, a partir das observações de campo e estudos laboratoriais, que permitam uma melhor previsão de estabilidade de taludes naturais e de corte.
- b) Outras categorias de fenômenos relacionados aos problemas de movimentos são os fenômenos de solos suscetíveis a adensamento ou mobilização vertical de outras naturezas. Nesta categoria, o território brasileiro apresenta, além de várzeas com depósitos argilosos, extensas formações costeiras, nas quais a deposição de sedimentos marinho-continentais resulta em terrenos de baixa capacidade

de suporte, com espessas camadas argilosas orgânicas de elevado índice de vazios. A ocupação urbana, industrial ou a transposição de tais áreas por vias de transporte se apresentam como problemas constantes. Neste quadro, a Baixada Santista já tem recebido por partes dos técnicos brasileiros uma atenção merecida, já tendo se desenvolvido muitas técnicas construtivas para sua utilização como terreno de fundação. Também em outros pontos do litoral brasileiro, a faixa costeira apresenta diversas áreas de interesse imediato, do ponto de vista de ocupação, sem contudo ter-se um conhecimento global da constituição de seus solos.

4.3 Os problemas ligados ao abastecimento d'água

O abastecimento d'água, tanto para uso em núcleos urbano/industriais, como para uso agrícola, tem se revelado como um problema crônico, sendo a imprevidência e o malbarato, a tônica imperante, tanto nas regiões do Nordeste, onde o clima torna a água escassa, como no Sul e Sudeste, onde os recursos hídricos são tidos enganosamente como inesgotáveis.

No polígono das secas, a grande quantidade de açudes, frutos da ação tradicional das "frentes de trabalho", que se desenvolvem há um século salvo honrosas exceções, apresentam, infelizmente, como saldo imediato, a ocupação das raras terras agricultáveis por lagos de discutível utilidade. Tais lagos, sem obras subsequentes para distribuição e irrigação e, na maior parte, sem vertedores de fundo ou outros mecanismos reguladores de vazão, podem assumir três aspectos negativos, manifestados isolada ou conjuntamente. O primeiro destes aspectos se relaciona com salinização das águas, sendo inúmeros os açudes que acumulam água imprópria para os usos de abastecimento. O segundo aspecto resulta do impedimento da circulação das águas para as terras aráveis a jusante, retendo a contribuição das primeiras chuvas, para enchimento do lago cujo volume se encontra reduzido pela estação seca. O terceiro aspecto se prende ainda próprio regime hídrico, sendo muitos açudes verdadeiros "espadas de Damocles" pairando a montante de vilas e povoados, durante

o período de chuvas. Desde que ausentes outros mecanismos reguladores, resta às frentes de cheia, após cheio o lago, verter por sobre as barragens.

Mesmo nas regiões chuvosas do Sul e Sudeste ocupadas pela agricultura, muitos núcleos urbanos apresentam graves problemas de abastecimento de água potável. A maior parte dos problemas se acham ligados aos sistemas de obtenção de água, que é o de captação superficial, e se substanciam em dois aspectos mais importantes. O primeiro é o rápido assoreamento dos reservatórios, graças à acelerada erosão a que estão sujeitas extensas áreas sob exploração agrícola. O segundo aspecto, muitas vezes associado ao primeiro, é a poluição dos mananciais por defensivos agrícolas, de uso crescente e irrestrito durante a última década.

Nas regiões industrializadas, o grande crescimento urbano-industrial tem gerado problemas desmedidos para o abastecimento de água. Soma-se ao esgotamento dos recursos disponíveis, a poluição dos mananciais restantes. Tal poluição se efetua tanto pelo lançamento de detritos sem tratamento prévio em pontos inadequados dos rios ou lagoas, como infiltração, quando o terreno apresenta características favoráveis. Em muitos casos a captação de águas subterrâneas, por meio de poços profundos, resolve parcialmente os problemas de abastecimento. Entretanto, a superexploração dos aquíferos, aliando-se à pavimentação, e às áreas construídas que acabam por reduzir as zonas de infiltração, acarretam rebaixamento permanente dos níveis freáticos. A carência de recursos hídricos já se apresenta crônica em diversas regiões sujeitas à intensa industrialização e/ou urbanização. O esgotamento dos recursos superficiais e subsuperficiais, seguido da solicitação de áreas cada vez mais distantes, bem como a destruição e mau uso de mananciais e reservas, se apresenta como uma característica marcante da exploração urbano-industrial das três últimas décadas.

4.4 Os problemas do desconhecimento

Reações desfavoráveis do meio, aliadas ao conhecimento relativamente mais detalhado de algumas regiões brasileiras, permitem observar meros casos de uso inadequado do território. Deve-se ter em mente, por outro lado, que mais de 60% do território nacional constituído por terrenos praticamente

desconhecidos, representados em boa parte pela Amazônia Legal. Nessa considerável porção do território ocorrem extensas formações sedimentares de idade terciária e quaternária; seu relevo, de modo geral, é suave, mesmo em regiões tidas como de embasamento cristalino a cobertura florestal e a localização geográfica impõem um clima de umidade e temperatura elevadas. A ocupação incipiente de algumas destas áreas tem se revelado problemática, sendo comuns os casos de esgotamento prematuro da fertilidade, assim como fenômenos erosivos profundos muitos similares às boçorocas descritas no sul do país. As evidências serem muito vastas as ocorrências de solos arenosos e incoerentes, assim como a lixiviação e laterização profundas e generalizadas. Tais perspectivas, aliadas à escassez de dados cientificamente obtidos, pedem um detalhamento de estudos, a fim de que não se imponham solicitações contrárias aptidões do meio físico, do qual o solo, "lato sensu", é parte vital.

4.5 Os problemas da utilização do conhecimento

Em nosso país, a participação da geologia em projetos de utilização de territórios se acha ainda restrita a estudos locais de Geologia de Engenharia, normalmente para o caso de barragens, estradas e fundações de grandes estruturas. Entretanto, há alguns anos vêm se desenvolvendo trabalhos efetivos no sentido de introduzir a geologia no campo do planejamento. São poucos os trabalhos que representam um enorme esforço de profissionais isolados, engajados na divulgação constante deste novo ramo da Geologia de Engenharia.

Similarmente aos outros países, as falhas de comunicação entre Geologia e Engenharia se fazem sentir, com as dificuldades de se obter formações objetivas de cartas geológicas tradicionais. Se as dificuldades de comunicação entre áreas próximas como Engenharia Civil e Geologia de Engenharia são grandes, as dificuldades serão tanto maiores entre a Geologia e os outros setores ligados ao planejamento. Assim, a Cartografia Geotécnica, instrumento já consagrado em diversos países desenvolvidos se substancia como notável forma de comunicação entre meio físico e o planejador ou projetista.

Grande parte da bibliografia estrangeira a respeito deixa no interessado uma forte imagem de tecnologia avançada. Assim, muitos autores veiculam a ideia de cartografia geotécnica (como da própria Geologia de Planejamento) associando-a com “geomatemática”, “supermapping”, “cartografia automática”, obtenção de imagens por superposição de transparências, e outras técnicas sofisticadas. Entretanto, alguns autores estrangeiros já levantam, por um lado, a discutível utilidade de tais elaborações, e por outro, sua inexequibilidade econômica, quando em caráter extensivo. As críticas, levantadas se prendem ao rumo imprimido a esse novo ramo da geologia, por muitos institutos e organismos oficiais (normalmente os ligados ao ensino), sob a denominação de geologia ambiental. Entre estes organismos se encontram aqueles que são os responsáveis pela sofisticação da cartografia geotécnica. Tais entidades se permitem atingir tal grau de refinamento, graças às características que lhe são próprias, como por exemplo: dotação orçamentária governamental, abundância de mão de obra de nível universitário a baixo custo (estagiários), e entre outros privilégios, facilidade de uso de computadores.

Em entidades que possuem orientação marcadamente acadêmica, soma-se à sofisticação citada, uma abordagem tal, que torna a Cartografia Geotécnica de difícil utilização pelos interessados (engenheiros civis, economistas, arquitetos, administradores, construtores, planejadores e o público em geral). A abordagem acima referida manifesta seu erro através de dois fatores principais, que atuam isolada ou conjuntamente. O primeiro destes fatores se prende ao uso de linguagem restrita aos meios profissionais em Geologia. O outro fator se atém ao enfoque dos problemas impostos e gerados pela ocupação humana, revelando falta de vivência e conhecimento geotécnico por parte destes profissionais.

Em contraposição às considerações acima alinhadas, os mesmos autores apontam como exemplo de uma cartografia realmente útil e exequível trabalhos que primam pela simplicidade tanto gráfica como de linguagem, conseguindo, assim um enfoque objetivo do meio físico. Nesta linha, um trabalho “Engineering characteristics of the rock of Pensilvania -MacClade e outros 1972) apontado como exemplo de uma cartografia geotécnica de execução garantida e uso pleno. Tal trabalho

se consubstancia um mapa geológico com suas unidades rochosas convenientemente destacadas, acompanha de uma tabulação que contém suas principais características, tanto as puramente geológicas (acamamento, fraturamento, grau de intemperismo, topografia), quanto as geotécnicas (porosidade, água subterrânea, estabilidade de taludes em corte, estabilidade de fundação, materiais de construção). Estas e outras características e propriedades importantes são apresentadas em termos acessíveis ao público interessado.

Com as considerações expostas nos parágrafos anteriores, pretende se aqui, chamar a atenção para dois aspectos importantes a implantação da Geologia de Planejamento no Brasil. O primeiro aspecto é ligado à sofisticação de tratamento e representação, tendência esta, que segundo os críticos, não encontram condições para sua vulgarização, nem em países desenvolvidos e economicamente poderosos. O outro aspecto, de caráter aparentemente universal, a utilização indevida de uma linguagem incompatível como os fins a que se propõe a Cartografia Geotécnica. Intimamente ligado a este aspecto, apresenta-se pouca objetividade com que são encetados os trabalhos executados por pessoal não suficientemente ligado aos problemas e solicitações impostos por obras civis e outras formas de uso territorial.

Como toda tecnologia, a Cartografia Geotécnica depende de metodologia produzida de acordo com a realidade de cada país. Assim, as necessidades geradas pelo desenvolvimento brasileiro podem ser supridas com a criação de métodos nacionais conjugados com “know-how” absorvido seletivamente de outros países, adaptados às nossas condições.

Não será demais lembrar que a tecnologia elaborada em países desenvolvidos constitui importante tópico em suas pautas de exportação. Por outro lado, os países em desenvolvimento, e entre eles o Brasil, se constituem em um mercado promissor para tal produção tecnológica.

No momento em que o governo de nosso país volta seus esforços para a consubstanciação de uma ocupação territorial efetiva, ele chama a si mesmo a responsabilidade pelo sucesso de suas determinações. Tal diretriz faz do governo, o principal interessado no emprego de técnicas adequadas para o conhecimento de uma de suas principais matérias primas, que é o meio físico, para a utilização racional e responsável de seus recursos.

BIBLIOGRAFIA

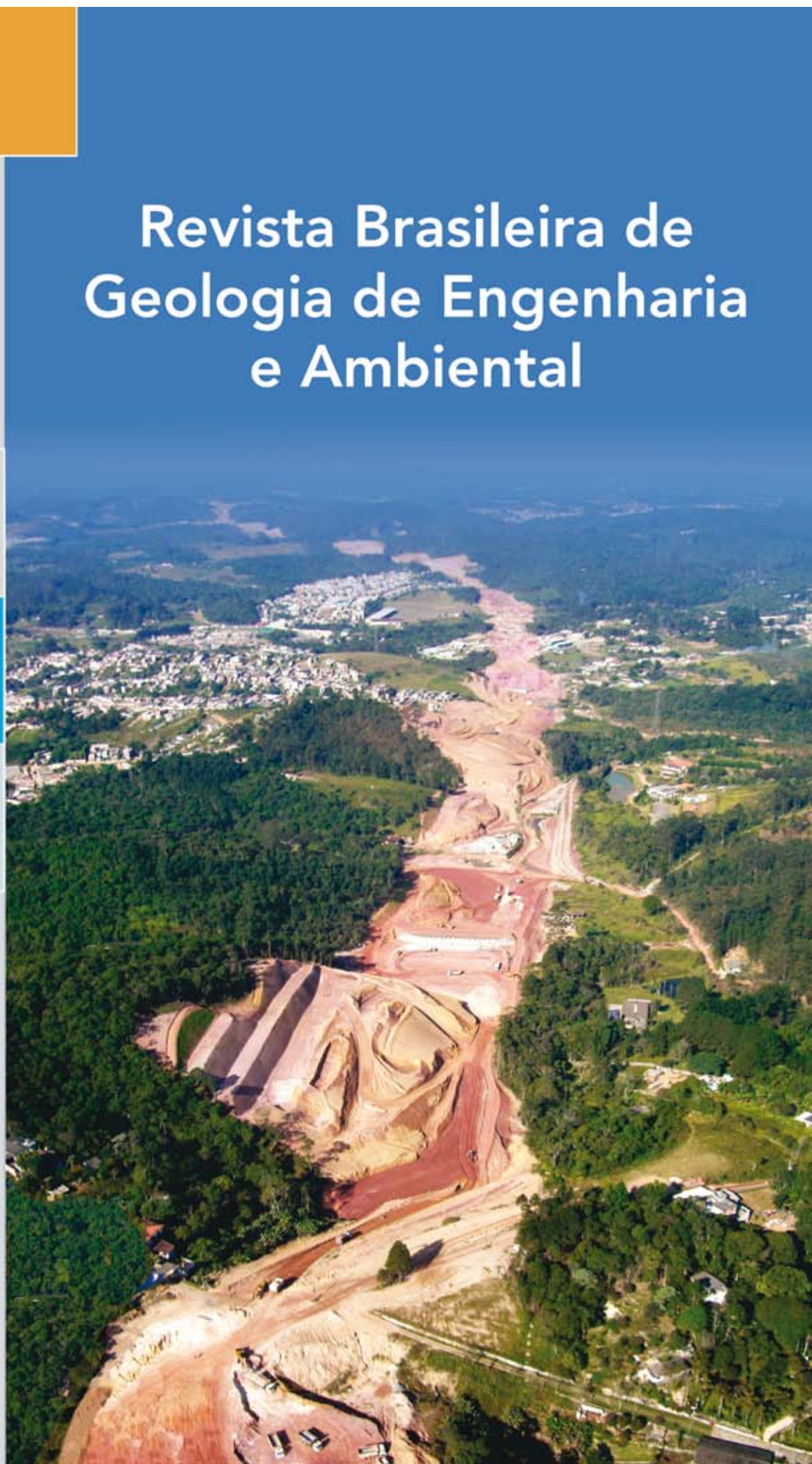
- BADRE, D. , 1973 - La carte de localization probable des avalanches. Sym posium National "Sol et Sous-Sols et Securite de Construtions". BRGR et all, Cannes, Tomo I, pag. 27-36.
- BRANAGAN, D.F., 1972 - Geological data for the city engineer: a compari son of five Australian Cities, Anais do 24º Congresso Internacional de Geologia, Montreal, Segio 13, pag. 3-12.
- CIVITA, M. e outros, 1974 - Evaluation de la stabilit  de versants de la Peninsule Sorrentine (Campanie - Italie), Anais do 2º Congresso Inter nacional da IAEG, S o Paulo, Tema 111-27, 8 p g.
- COULON, F.K. , 1974 - Mapa geot cnico das fo lhas de Morretes e Montenegro (RS), Funda o de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul; impresso pela Tecnosolo-Engenharia e Tecnologia de Solos e Materiais AS.
- CRATCHLEY, C.R. e DENNESS, V. K., 1972 - Engineering geology in urban planning with an example from the New City of Milton Keynes, Anais do 24º Congresso Internacional de Geolo gia, Montreal, Se o 13, p g.13-22.
- DEMATHIEU, P. - Cartographie de risques et teledetection. Symposium Na tional/Sol et Sous-Sol et Securit  de Construtions. BRGM et all, Cannes, Tomo I, pig. 119-123.
- GRANT, K., 1970 - Terrain evaluation. A logical extension of engineering geology, Anais do 1º Con gresso Internacional da IAEG, Paris, p g.971- 980.
- GREHS, S.A., 1970 - O papel do ge logo no pla neamento. Informa o B sica, IV Simp sio sobre Pesquisas Rodovi rias, Instituto de Pesquisas Rodovi rias R.J., 1968. Publica o em Separata n  446, 15 p g.
- GREHS, S.A., 1970 - O uso de mapas geol gicos, mapas de vegeta o e mapas de drenagem de irriga o, Projeto Sudoeste I, RS, Sudesul, 2ª Se mana Paulista de Geologia Aplicada, 6 p g.
- GUIDICINI, G. e NIEBLE, C.M. (in dito) - Estabi lidade de taludes naturais "in prelo".
- GUIDICINI, G. e PRANDINI, F.L., 1974 - O caso do escorregamento de Vila Albertina: Seu Significa do em termos de planejamento urbano, V Congres so Brasileiro de Mec nica dos Solos, S o Paulo.
- HUMBERT, M., 1970 - Aptitude des terrains au developement urbain et in ustriel, Anais do 1º Con gresso Internacional da IACG, Paris, p g.950 - 959.
- LEGGET, R.F., 1973 - Engineering - Geological maps for urban development Engineering Ge ology Case Histories, n  10, Geologic Mapping for environmental Purposes (Ferguson, H.F.) da Geological Society of America, Edi o de 1973, p g. 23-28.
- LUTTIG, G., - The Geologist's role in Planning for the future -Natural resources and develop ment - Institute for Scientific Cooperation/ Geologica Survey of the Federal Republic of Ger many - p g. 23-30.
- MATHEWSON, C.C. e FONT, R.G., 1973 - Geo logic environment: Forgotten aspect in the land use planning process - Engineering Geology Case Histories, n  10, Geologic Mapping for Environ mental Purposes - (Ferguson, H.F.) da Geological Society of America, Edi o de 1973, p g. 23-28.
- MATULA; M. e outros, 1971 - Report of the first meeting of the IAEG working group on engi neering geological mapping, September 10 and 11,1970,Paris, Associa o Internacional de Geolo gia de Engenharia, Bol. n .3, pig. 3-6.
- MELTZ, S.J., 1973 - Geonatural resources plan ning - Engineering Geology Case Histories, n  10,Geologic Mapping for Environmental Pur poses (Ferguson, H.F.) da Geological Society of America, Edi o de 1973, p g.13 - 18.
- MEYERS JR., C.R., 1973 - Regional land use anal ysis and simulation models: A step forward in the planning process Engineering Geology Case Histories, n  10,Geologic Mapping for Environ mental Purposes_(Fergusson,H7 F.) da Geologi cal Society of America, Edi o de 1973, p g. 9-12.
- MONTGOMERY, H.B., 1973 - Environmental analysis in local development planning ,Engi neering Geology Case Histories, n  10 Geologic

- Mapping for Environmental Purposes (Ferguson, H.F.) da Geological Society of America, Edição de 1973, pág. 19-22.
- MONTGOMERY, H.B., 1973 What kinds of geologic maps for what purposes Engineering Geology Case Histories, nº 10, Geologic Mapping for Environmental Purposes (Ferguson, H.F.) da Geological Society of America, Edição de 1973, pág. 01-08.
- PRANDINI, F.L. (coordenador), 1974 - Condicionantes geológicas e geotécnicas da degradação ambiental - Alguns casos brasileiros, Boletim 01, Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 11 pág.
- PRANDINI, F.L., 1974 - Occurrence of "boçorocas" in southern Brazil- Geological Conditioning of environmental degradation, Anais do 2º Congresso Internacional da IAEG, São Paulo, Tema III-35, 10 pág.
- PRANDINI, F.L., GUIDICINI, G. e GREHS, S.A., 1974 - Geologia ambiental - ou de planejamento, Anais do XXVIII Congresso Brasileiro de Geologia da SBG, Porto Alegre - "in prelo".
- RAJU, K.C.C. e outros, 1974 - Methodology and utility of geotechnical maps in the urban planning and development of the twin-city Capital of Hyderabad-Secunderabad, Andhra Pradesh, India, Anais do 2º Congresso Internacional da IAEG, São Paulo, Tema III-35, 10 pág.
- REBOUÇAS, AC., 1973 - Le problème de l'eau dans le Nord-Est semi-aride du Brésil- Evaluation des reserves, orientation pour la mise en valeur - These doctorat d'Etat - Strasbourg - France.
- REMENYI, P. e VARGA, M., 1970 - The influence of geological potentialities in the development of the foundation expenses of residential buildings, Anais do 1º Congresso Internacional da IAEG, Paris, pág. 1037-1048.
- ROCKAWAY, J.D., 1972 - Evaluation of geologic factors for urban planning, Anais do 24º Congresso Internacional de Geologia, Montreal, Seção 13, pág. 64-69.
- THOMAS, A.- Determination et cartographie de zones de risque en mécanique des sols. Symposium National "Sol et Sous-Sol et Sécurité de Constructions" - BRGM et all, Cannes, Tomo I, pág. 202-211.
- VOGHT, J. - La contribution possible d'un inventaire de témoignages du passé à l'appréciation de comportement des terrains et la prévision des risques géotechniques. Symposium National "Sol et Sous-Sol et Sécurité de Constructions". BRGM et all, Cannes, Tomo I, pág. 212-217.
- WERNER, J., - Environmental protection and problems of growth.-Natural Resources and Development - Institute for Scientific Cooperation /Geological Survey of the Federal Republic of Germany - pág. 79- 92.
- WOLOSHIN, A.J., 1970 - Geoenvironmental information systems. Their use in urban planning, Anais do 1º Congresso Internacional da pág. 871-880.



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

UM BREVE RELATO SOBRE A GEOLOGIA DE ENGENHARIA

LAZARO VALENTIN ZUQUETTE

A diferença principal entre um Geólogo que somente fornece os dados a outro profissional e o Geólogo de Engenharia, é que o primeiro somente gera informações sobre o meio e não realiza a devida interpretação dos mesmos (rochas, solos, descontinuidades, variabilidade, etc.) em termos qualitativos e quantitativos, para o fim em questão, seja uma obra de engenharia ou um problema ambiental.

RESUMO ABSTRACT

Este texto tem por objetivo relatar alguns eventos que foram marcantes em termos internacionais e nacionais no desenvolvimento da Geologia de Engenharia ao longo dos últimos 150 anos, sem a presunção de considerar todos que foram marcantes. A idéia central é que este texto motive outros profissionais a elaborarem estudos sobre a história e a evolução da Geologia de Engenharia, seja em termos de aspectos técnico-científicos, profissionais ou de aplicação. Associado encontra-se um conjunto dos principais periódicos internacionais, assim como um grupo de livros clássicos e lista das referências bibliográficas sobre os fatos considerados no texto.

This paper aims to report some important international and Brazilian scientific and technical events for Engineering Geology during the last 150 years. The central idea of this text is to encourage others professionals to elaborate more complete texts about the history and developing of the Engineering Geology, in terms of technical-scientific, professional or application. Attached is a series of major international journals, as well as a group of classic books and list of references on the facts cited in the text.

1 INTRODUÇÃO

A denominação Geologia de Engenharia originou-se a partir da metade do século XIX em diversos países europeus, e o termo em português surgiu da tradução geral dos termos: Engineering Geology (Inglês), Ingeniería Geológica (Espanhol), Inzhenernaya Geologiya (Russo), Géologie de l'ingénieur (Francês) e Ingenieurgeologie (Alemão). Na primeira metade do século XX, difundiu-se mais intensamente na América do Norte e Europa, porém com características especiais em cada país ou região em função das necessidades, como o tipo de obra ou problema específico. Atualmente, a Geologia de Engenharia, junto da Mecânica dos Solos e das Rocha, constituem a base do campo de conhecimento denominado Geotecnia. Contudo, as relações entre as três áreas de conhecimento sofrem variações dependendo do país. De acordo

com Müeller-Salzburg (1976), a Geologia de Engenharia surgiu como uma ciência independente (IDENTIDADE), tendo como principio gerar informações quantitativas de fatos geológicos necessárias aos projetos de engenharia e de mineração, no sentido de evitar problemas durante a execução e vida útil. No entanto, termos que são usados atualmente para caracterizações dos materiais geológicos nos aspectos relacionados à Geologia de Engenharia podem ser encontrados desde a civilização Micênica (Mycenaean Civilization), conforme descrito em diversos textos, entre eles o de Kekkos et al. (2006), que apresenta citações de aspectos de Geologia de Engenharia nos poemas de Homero (HOMERIC POEMS). Acrescenta-se a isso que o termo Risco apareceu também pela primeira vez nesses mesmos poemas.

O surgimento do termo Geologia de Engenharia tem como referência inicial o trabalho desenvolvido por William Smith (1800 a 1815) em porções da Inglaterra visando a projetos de canalizações. Este trabalho resultou em um mapa considerado como o primeiro Mapa Geotécnico e uma das bases da Geologia moderna por um grupo significativo de profissionais. Durante os últimos 150 anos, a Geologia de Engenharia difundiu-se para os diferentes países e algumas definições apareceram com alterações para adaptá-las às mudanças no conhecimento técnico-científico, envolvendo a Geologia, Engenharia Civil e de Minas, e as áreas de conhecimento interrelacionadas. Após 1990, adaptações ocorreram em relação aos problemas de ordem ambiental, quando do surgimento da Engenharia Ambiental. As definições apresentadas a seguir são consideradas as mais citadas e orientaram as associações e escolas dos diferentes países na formação dos profissionais.

Uma das mais antigas é a de Popov (1959), fundador da Soviet Engineering Geology, que definiu como a ciência que envolve todos os aspectos da geologia, em sentido amplo, tem importância no planejamento, projeto, construção e manutenção de estruturas de engenharia. Komarov (1996) modificou-a considerando algumas condições do meio natural, enquanto Sergeev (1978) acrescentou o ponto de vista de alguns aspectos das atividades humanas.

Dearman (1970) considera a Geologia de Engenharia como um braço da Geologia Aplicada particularmente à Engenharia Civil, relacionado ao projeto e construção e aos aspectos de comportamento de estruturas de engenharia quando instaladas no interior da Terra, assim como para a indústria extrativa incluindo abertura de pedreiras e de minas profundas. Apresenta relações com a Mecânica dos Solos e das Rochas, como também com as Ciências dos Materiais, entre outras. O autor também conceituou o profissional, a saber:

“An Engineering Geologist is, by this definition, an applied geologist. He must have two attributes, and these should be taken care of in his training; firstly a clear understanding of the science of geology, in that he must think like a geologist, and secondly he must have an appreciation of the requirements of the engineer and must be prepared to educate himself in the practice and principles of civil engineering.

It is worthwhile recalling that engineering geology has had a very long history, even

though in the last decade it has acquired a degree of sophistication and may now stand,

as has MINING GEOLOGY for a much longer time, as an independent subject”.

Recentemente, Baynes (2004) publicou um texto muito interessante sobre a visão de diversos profissionais sobre as responsabilidades de um geólogo de engenharia, intitulado “Generic responsibilities of engineering geologists in general practice”.

2 AEG (1970)

É definida como a disciplina de aplicação das informações geológicas, técnicas e princípios para o estudo de materiais geológicos (rochas, solos), fluidos em superfície e subsuperfície, a relação de materiais externos e os processos inseridos no ambiente geológico. Como também os fatores geológicos que afetam o planejamento, projeto, construção, operação e manutenção de estruturas de engenharia e o desenvolvimento, proteção e remediação de águas subterrâneas.

Recentemente, o geólogo de engenharia passou a desenvolver suas atividades não somente em projetos relacionados à Engenharia Civil e à Mineração, mas também junto de planejadores territoriais e ambientais, arquitetos e outros profissionais envolvidos com o meio ambiente.

De acordo com a AEG, as principais atividades do Geólogo de Engenharia estão relacionadas com:

1. A investigação das condições de fundações para as grandes obras, como as barragens, pontes, aeroportos, grandes edifícios, torres e estações de bombeamento e energia.
2. Avaliação das condições geológicas ao longo de túneis, dutos, canais e estradas.
3. A exploração e implantação de áreas fontes de rochas, solos e sedimentos como materiais de construção.
4. Investigação e desenvolvimento de fontes de águas superficiais e subterrâneas, gestão de bacias, proteção e remediação de áreas com águas subterrâneas contaminadas, assim como de outros tipos de degradação.
5. Avaliação de eventos perigosos (hazards).

6. Avaliação das condições geológico-geotécnicas que afetam o uso e implantação de obras residenciais, comerciais e industriais.
7. Avaliação para fins de estabilidade de taludes, drenagens, melhoria dos materiais geológicos e escavabilidade.
8. Avaliação de áreas adequadas para disposição de resíduos, e proposição de formas de monitoramento, mitigação e tratamento de locais onde ocorreu disposição de maneira inadequada.
9. Atuação no planejamento territorial, avaliação de impactos ambientais, descomissionamento e recuperação de minas, planejamento de áreas de reflorestamento, seguros e investigações criminais.

Em 1970 a IAEG elaborou um conceito básico que não envolvia o aspecto ambiental e a IAEGE (1997) definiu como a ciência voltada à investigação, estudo e solução de problemas de engenharia e ambientais, os quais originaram da interação de aspectos da Geologia com obras e outras atividades humanas, como também a previsão e desenvolvimento de medidas de prevenção ou remediação de eventos perigosos de natureza geológica.

Durante alguns anos anteriores a 1950, as discussões sobre o profissional de Geologia de Engenharia eram comuns e principalmente motivadas por C. Berkey nos USA, e em 1950, Burwell e Roberts elaboraram texto com alguns pressupostos para o profissional, citados na íntegra, a seguir:

1) *"Obviously, the first requirement of the engineering geologist is that he shall be a competent*

geologist.Against this background of knowledge, he will discover the major geologic factors in advance of construction and recognize the more obscure minor details that so often exert a major influence on location, design and construction problems."

2) *"The second requirement is that he shall be able to translate his discoveries and deductions into terms of practical application. This qualification is not obtained as a result of better knowledge of geology, but of better knowledge of engineering."*

3) *"The third requirement is dual in character. It is the ability to render sound judgements and make important decisions.Sound judgment is a priceless faculty of the geologist who is frequently called on to make decisions without all the factual data necessary*

to guarantee the results. It is not always economically practicable to eliminate the element of uncertainty and not infrequently his advice has to be based on few and scattered evidences in the field."

4) *The fourth requirement relates to the temperamental make-up or personal qualities of the*

engineering geologist. "He should not be an alarmist. Neither faults, nor earthquakes, nor

cavernous limestones, nor pervious basalts, nor low water tables should deter him from

rationalizing the field evidences and proceeding to logical conclusions based on due consideration of both facts and influences."

Seguindo os pressupostos anteriores, outra definição do profissional de Geologia de Engenharia foi proposta pelo Executive Committee of the Division on Engineering Geology of the Geological Society of America, em 1951:

"A professional engineering geologist is a person who, by reason of his special knowledge of the geological sciences and the principles and methods of engineering analysis and design acquired by professional education or practical experience, is qualified to apply such special knowledge for the purpose of rendering professional services or accomplishing creative work such as consultation, investigation, planning, design or supervision of construction for the purpose of assuring that the geologic elements affecting the structures, works or projects are adequately treated by the responsible engineer".

Existem dezenas de trabalhos que podem ser consultados sobre as responsabilidades de um profissional da Geologia de Engenharia, tais como: Berkey (1929), Burwell & Roberts (1950), Moye (1966), Arnould (1970), Dearman (1971), Rawlings (1972) Stapledon (1982, 1983), AEG (1993), Fookes (1997), IAEG (1998), Baynes (1999), Morgenstern, (2000), Hungr (2001), AEG (2002), Knill (2002, 2003), Culshaw (2005), Hatheway et al. (2005) e GEOTECHNICAL ENGINEERING OFFICE (2007).

No Brasil a Geologia de Engenharia teve seu início (com atividades esporádicas) antes de 1950 em obras de engenharia específicas, mas o conhecimento foi mais fortemente aplicado e associado à expansão do número de profissionais a partir de 1960 com grandes obras de engenharia, principalmente as barragens.

3 SÉCULO XVIII/ XIX

Neste período, ocorreram algumas atividades que demonstravam o uso dos conhecimentos da Geologia de Engenharia, como o trabalho de John Strachey em 1725, que desenvolveu trabalhos na mina de Somerset (Inglaterra) e elaborou um conjunto de secções verticais para auxiliar no planejamento da abertura e escavação. E John Whitehurst apresentou trabalho semelhante para as minas de Derbyshire em 1778. James Hutton (Escócia) publicou, em 1795, o livro "Theory of the Earth", no qual fez a distinção dos 3 tipos rochosos conhecidos até os dias atuais, tornando-se um marco para a Geologia e, conseqüentemente, para a Geologia de Engenharia. Entre 1799 e 1815 William Smith desenvolveu diversos trabalhos na Inglaterra e elaborou um mapa geológico com o objetivo de orientar a implantação de canais (<http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=8733>) considerado o primeiro Mapa Geotécnico e o surgimento do termo e da ciência Geologia de Engenharia. Em 1830 e 1833 surgiram dois trabalhos paralelos que reforçam a Geologia de Engenharia, sendo um a publicação de "Principles of Geology", por Charles Lyell e outro o livro "Treatise on road", por H.B. Parnell, o qual apresenta um grupo de condições dos materiais geológicos que devem ser consideradas para construção dos taludes em estradas. Ressalta-se que a maior coleção de textos técnicos sobre Geologia de Engenharia encontra-se nos arquivos da "Lyell collection", na British Library, Inglaterra. Dois trabalhos publicados nos USA são importantes: William W. Mather, em 1838, publicou trabalho sobre os escorregamentos rotacionais em lago na região de Cleveland e, em 1839, James Hall propôs uma Classificação para Escavação de Rochas, que foi aplicada na construção do Eire Canal. F. A. Fallou (Saxony) e, provavelmente entre 1870 e 1880, V.V. Dokuchaiev and N.M. Sibertsev (Russia) publicaram textos sobre Pedologia, trazendo idéias sobre o conceito de solo envolvendo aspectos de dinâmica e morfologia, entre outros, que perduram até a atualidade. Nesse mesmo período foram propostos os conceitos de erosão, assim como dos principais movimentos de massa gravitacionais, válidos até os dias atuais, e classificações foram propostas com bases, que são seguidas até a atualidade por novas proposições de classificações.

O ponto mais importante nesse período foi o lançamento do primeiro livro de Geologia de Engenharia em 1880 por W. H. Penning (Engineering Geology), com um conjunto de capítulos que retratavam os diferentes conhecimentos e etapas envolvidas em uma investigação de Geologia de Engenharia e um conjunto de aplicações. Esse livro teve seu início no ano de 1879 com a publicação de alguns artigos, que depois sofreram modificações e acréscimos, e o conjunto foi publicado na forma do livro.

Em 1890, um conjunto de trabalhos considerados pioneiros foi publicado por William O. Crosby (MIT), considerado o pai da Geologia de Engenharia nos USA, e James F. Kemp (Columbia) sobre a importância da relação entre aspectos de Geologia e os procedimentos construtivos de grandes obras de engenharia.

No Brasil, pode-se verificar em muitas das cidades históricas o uso do conhecimento da Geologia de Engenharia para o posicionamento dos principais edifícios, ruas e estradas. Esses aspectos podem ser visualizados de maneira mais concreta na cidade de Ouro Preto (MG), onde as ferrovias construídas estão posicionadas a uma distância segura das encostas, para evitar que os escorregamentos afetassem o seu funcionamento. Assim como as principais edificações (prédios públicos, igrejas, etc...) estão posicionados em lugares seguros até os dias atuais, mesmo com a intensificação da ocupação urbana implantada predominantemente de forma inadequada, se considerarmos os aspectos geológicos e geotécnicos. Situações semelhantes são observadas também em São João Del Rei, Tiradentes, Mariana, Angra dos Reis e Rio de Janeiro, entre outras. Por outro lado, depois de 1850, há registros de atividades envolvendo os conhecimentos de Geologia de Engenharia em obras de diversas ferrovias e túneis, assim como em obras de edificações.

4 SÉCULO XX

No decorrer desse século ocorreu a difusão mais ampla da Geologia de Engenharia, sendo possível definir alguns períodos temporais, tais como entre 1900 e 1950, quando ocorreu predominantemente nos países da América do Norte e na Europa, e após 1950 difundiu-se para os países da América Latina, África, Ásia e Oceania.

1900 – 1925

A avaliação posterior à ruptura da barragem de Austin (Texas – USA) em 1900 mostrou que a mesma ocorreu pela não consideração de informações de natureza geológica. A partir do final do século XIX, de 1897 até por volta de 1906, foram apresentadas por Woodward diversas versões do mapa do Subsolo de Londres, destinado a orientar o planejamento das obras de saneamento. Em 1906, D.W. Johnson (USA) publicou um texto sobre a aplicação da Geologia em diversas atividades humanas e estruturas de engenharia, e foi seguido em 1908 por trabalho de Charles Lapworth com os Princípios da Geologia de Engenharia na forma de duas Palestras no Institution of Civil Engineers (Imperial College), em Londres. O ensino de Geologia de Engenharia iniciou, em 1910, no Imperial College (Inglaterra) como disciplina regular. Em 1911, Charles Lapworth publicou textos sobre a Geologia Aplicada às barragens e R. F. Sorsbie publicou o livro “Geology for engineers”, que apresenta um conteúdo de Geologia de Engenharia bastante avançado para a época. Nesta mesma época, entre 1907 e 1915, Albert Einstein está desenvolvendo a Teoria Geral da Relatividade!

Durante o ano de 1913 ocorreu o lançamento do texto “Mineral Deposits (Engineering geology practice)” e em Langen (Alemanha), em uma Exposição Técnica de Construção, foi apresentado um conjunto de mapas e textos considerados iniciais do Mapeamento Geotécnico. Os textos trouxeram pontos de vistas que afetaram os atuais quanto ao conteúdo e representação espacial, denominados de cartas para apoio ao desenvolvimento das cidades de Erfurt, Frankfurt, Danzig.

O ano de 1914 foi um marco significativo, já que foi publicado o segundo livro de Geologia de Engenharia (Engineering Geology) por Ries e Watson, ganhando uma nova versão em 1921, denominada “Elements of Engineering Geology”. Em 1919, L.V. Pirsson lançou um documento intitulado “Rock Classification for Engineering” e Josef Stini (Áustria) publicou “Technische Geologie” (Geologia de Engenharia) em 1922. Ambos são trabalhos de referência para a época e tem importância na história da geologia de Engenharia. No período entre 1920 e 1930 foi publicado na Rússia um conjunto de cartas para apoio à construção do canal

entre o Mar Branco e o Mar Báltico e ao Projeto de irrigação na Margem direita do Volga.

No Brasil, nesse período, ocorreu a construção de diversas obras de engenharia como túneis, ferrovias e barragens. Segundo Vargas (1985), os primeiros documentos sobre Geologia de Engenharia no Brasil datam de 1907, sobre a Estrada de Ferro Noroeste do Brasil.

1925 – 1950

Em 1925, K. Terzaghi publicou o livro de Mecânica dos Solos – “Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage”. No ano de 1926, é publicado na Ex-Checoslováquia um conjunto de cartas geotécnicas para apoio ao desenvolvimento da cidade de Praga, e em 1928 teve início o primeiro curso de Geologia de Engenharia na Columbia University, e nesta época Charles Berkey trabalha como o primeiro geólogo de engenharia na USBR.

Em 1928, ocorreu a ruptura da barragem de St. Francis, na Califórnia (USA), que matou mais de 450 pessoas e provocou prejuízos superiores a 9 milhões de dólares. Esse desastre acelerou a implantação da Geologia de Engenharia nos USA, tendo como expoente Charles Berkey. No mesmo período, Quido Zaruba, na ex-Tchecoslováquia, e Popov, na Rússia, desenvolviam a Geologia de Engenharia no leste europeu. No decorrer do ano de 1929 é lançado outro livro de Geologia de Engenharia por Redlich, Terzaghi e Kampe e K. Terzaghi publica o texto “Effect of minor geological details on the safety of dams”, considerado por muitos profissionais como um trabalho clássico. M. Lugeon, em 1933, publicou “Barrages et Géologie”. Em 1934, é apresentado o primeiro mapa geotécnico para uma grande região da Rússia que trouxe uma nova visão sobre a técnica e propiciou a orientação de outros trabalhos semelhantes em diversos países. C.S. Fox, em 1935, publica o livro “A Comprehensive Treatise on Engineering Geology”, e em 1936 ocorre o First International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Entre 1939 e 1943 foram publicados dois livros: “Geology and Engineering” por Legget e Boswell e “Geology for Engineer”, por Blyth.

Em 1947, ocorreu a publicação do livro de Hans Cloos, intitulado “Conversation with the Earth”, com a tradução para o inglês em 1953, o

qual aborda aspectos sobre o comportamento dos materiais geológicos que constituem a Terra, e o uso de modelos em escala para o entendimento de falhas, e também no mesmo ano K. Zebera propôs o Método das Bandas para representação em 3D, e ainda George A. Kiersch criou a Engineering Geology Division as the first operating division of the Geological Society of America, e também K. Terzaghi publicou o livro *Engineering Geology*. Em 1950, dois eventos marcantes foram o lançamento do livro “Técnicas para a elaboração de Cartas Geotécnicas” por Popov (Rússia), e o Berkeley Volume intitulado *Application of Geology to Engineering Practices* (Geological Society), em homenagem a Charles Berkey, por S. Paige, sendo este um dos mais significativos compêndios sobre a atividade do profissional de Geologia de Engenharia.

1950 – 1970

No ano de 1951 surge a primeira conceitualização do profissional de Geologia de Engenharia pelo Executive Committee of the Division on Engineering Geology of the Geological Society of America. Em 1955 John Russell Schultz publicou o livro “*Geology in Engineering*”, que teve muitas edições até o final da década de 1980, e até a atualidade é uma referência bibliográfica importante na formação profissional. Em 1957 surge o primeiro curso de pós-graduação em Geologia de Engenharia no Imperial College (Londres-Inglaterra) liderado por John Knill, aberto para geólogos e engenheiros, e no Brasil surgem os primeiros cursos de Geologia nas UFRGS, USP, UFRJ, UFPE e UFOP. A base da Association of Engineering Geologists (AEG) foi criada nos USA, e também ocorreu o lançamento do livro “*Principles of Engineering Geology and Geotechnics*” por Krynine e Judd, abordando a relação entre a Geologia de Engenharia e a Geotecnia.

No ano de 1967, ocorreu a fundação da Association of Engineering Geology (AEG) com o objetivo de atingir todos os estados americanos e traçar as diretrizes técnicas e éticas do profissional de Geologia de Engenharia. Nos anos 1960 tem a atuação, na Europa leste, do profissional Milan Matula, um dos dez mais importantes geólogos de engenharia, pois atuou em quase todas as frentes da Geologia de Engenharia. Em 1962, é lançado

por R.F. Legget o livro “*Geology and Engineering*”. No Brasil está em construção a barragem de Barra Bonita, e é publicado o Decreto da Profissão de Geólogo. Em 1963, dois pioneiros publicam o livro “*Engineering Geology*”, e em 1964 surge o embrião da International Association of Engineering Geology (IAEG) tendo como objetivos básicos agregar profissionais de diferentes países e tentar homogeneizar os procedimentos técnicos, assim como o grupo de Geologia de Engenharia da Geological Society. Um texto sobre a tragédia de Vaiont foi publicado por G.A. Kiersch (1965), intitulado “*The Vaiont Tragedy: geologic causes and engineering implications*”. Em 1967, ocorreu o First Congress of the International Society of Rock Mechanics, e entre 1968 e 1969 foram publicados pelo CSIRO (Austrália) diversos trabalhos relacionados à Geologia de Engenharia. Milan Matula publicou o texto intitulado “*Regional Engineering Geology of Czechoslovak Carpathians*”, que trouxe uma nova visão de trabalhos de Geologia de Engenharia para grandes extensões territoriais. Em 1968 também ocorreu o 23rd International Geological Congress na cidade de Praga e a primeira assembléia geral da IAEG. Nesse congresso, foi apresentado um número significativo de trabalhos relativos à Geologia de Engenharia, principalmente de mapeamento geotécnico.

No Brasil, entre 1950 e 1970 diversos núcleos de Geologia de Engenharia são iniciados principalmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais com a implantação de grandes obras de engenharia e mineração. Haberlener foi contratado em 1956 para trabalhar com hidrelétricas. Em continuidade, foi trabalhar como professor da UFRJ e publicou, em 1966, o trabalho denominado *Princípios de Mapeamento Geotécnico* (primeiro trabalho de Mapeamento Geotécnico no Brasil), assim como um relatório para o CNPQ sobre as encostas da cidade do Rio de Janeiro (junto com um grupo de profissionais). Heine (1966) publicou o texto *Levantamento Geotécnico do Estado da Guanabara*. O ensino de Geologia de Engenharia na UFRJ foi iniciado em 1967 como uma subárea de Pós-Graduação em 1968. Nesse período, a Geologia de Engenharia era desenvolvida no IPT, São Paulo, na Seção de Geologia Aplicada fundada em 1955, onde trabalhava Ernesto Pichler. Em 1968, surgiu a Associação Paulista de

Geologia Aplicada que, junto com outros grupos, dá as bases da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e a 1ª Semana de Geologia Aplicada foi realizada em 1969. R. Glossop fez uma apresentação, em 1969, sobre o tema “Engineering geology and soil mechanics”, que é um texto interessante para o entendimento da relação das duas áreas de conhecimento.

Nesse período, vale a lembrança de alguns profissionais que desenvolviam atividades profissionais, como homenagem a todos os geólogos de engenharia, tais como: Murilo Dondici Ruiz, Milton Kanji, Fernando Pires de Camargo, Guido Guidicini, Fernão Paes de Barros, Luiz Ferreira Vaz, Alfredo José Simon Bjorberg, Nivaldo Chiossi, Ronaldo Simões Lopes de Azambuja, Josué Alves Barroso, Sergio Brito, Antonio Manuel de Oliveira e outros.

1970 - 1980

Nessa década, a Geologia de Engenharia sofreu uma grande expansão, atingindo praticamente todos os países. No ano de 1970, houve a realização, em Paris, do 1º International Congress of Engineering Geology, que tem uma grande importância, pois foram apresentados trabalhos de centenas de países, e até os dias atuais muitos são consultados para a orientação de atividades profissionais e de pesquisa. Em 1970, também foi lançado o Bulletin of the International Association of Engineering Geology, e o primeiro número trouxe texto de M. Arnould sobre a “International Association of Engineering Geology, History-Activity”, com os estatutos e outras informações, assim como trabalhos sobre o estágio da Geologia de Engenharia em alguns países. Entre 1971 e 1972 foram realizadas as 2ª, 3ª e 4ª Semana de Geologia Aplicada Associação Paulista de Geologia Aplicada. Fred O. Jones publicou, em 1973, um estudo feito sobre os escorregamentos do Rio de Janeiro e da Serra das Araras (associação entre o DNPM e a Agency for International development - USA), abordando um histórico dos processos; assim como uma análise geral dos condicionantes e de outros aspectos antrópicos envolvidos (Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras Escarpment, Brazil). O ano de 1974 foi um dos anos mais importante para a Geologia de Engenharia no Brasil, pois foi realizado, na cidade

de São Paulo, o 2nd International Congress of Engineering Geology, organizado pela ABGE e IAEG; e ao se consultar os anais verifica-se o quanto foi intenso o desenvolvimento da profissão e a expansão do conhecimento no Brasil entre 1960 e 1974. No período entre 1974 e 1976, foi criada a primeira Comissão da IAEG (Engineering Geological Mapping Commission - IAEGE), e ocorreu a publicação do texto “The logic of engineering geological and related maps: A discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for uses in civil engineering” por Varnes. Esse texto trouxe novos aspectos que vieram a ser incorporados nos trabalhos de mapeamento geotécnico. Em 1975 foi realizado o 1º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e iniciaram-se as obras da Barragem de Itaipu. Em 1976, foi criado o curso de pós-graduação em Geotecnia na Escola de Engenharia de São Carlos (USP), que reuniu os esforços dos membros do Departamento de Geotecnia e o Setor de Geologia de Engenharia do IPT. Durante o ano de 1978 foi realizado, em Madrid, o 3º International Congress of Engineering Geology com temática central com um número significativo de trabalhos e seguindo a mesma distribuição do ocorrido em São Paulo. No mesmo ano, o 2º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia ocorreu na cidade de São Paulo, com um conjunto de trabalhos predominantemente relacionados a obras de engenharia e também o trabalho de Prandini e outros autores relativo aos Morros de Santos e São Vicente que tornou-se um referencial no Brasil em termos de Geologia Aplicada às áreas urbanas.

Em 1970, a Geological Society of London publicou um texto intitulado “The logging of rock cores for engineering purposes” (elaborado por J. L. Knill, C. R. Cratchley, K. R. Early, R. W. Gallois, J. D. Humphreys, J. Newbery, D. G. Price e R. G. Thurrell) que passou por uma revisão em 1977, caracterizado como um texto fundamental para Geologia de Engenharia.

Em 1979, ocorreram duas reuniões coordenadas pela IAEG o “Engineering Geological Mapping Symposium, Newcastle upon Tyne” que pode ser considerado um dos dez melhores conjuntos de trabalhos sobre mapeamento geotécnico, e uma proposta da Commission Engineering Geological Mapping (IAEG) sobre classificação de

rochas e solos (Classification of Rocks and Soils for Engineering Geological Mapping. Part 1: Rock and Soil Materials).

1980 – 1990

No início da década, a ABGE realizou o 3º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia na cidade de Itapema (SC), com intensa apresentação de trabalhos relacionados às obras realizadas entre 1960 e 1970, assim como em realização e em projeto. Em 1982, a IAEG realizou o 4th International Congress of Engineering Geology, na cidade de New Delhi, e a Geological Society of London publica o texto “Land Surface Evaluation for Engineering Practice (Report by a Working Party)” com orientações e procedimentos que auxiliaram o desenvolvimento do mapeamento geotécnico em muitos países. O 4º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia ocorreu na cidade de Belo Horizonte (MG) com temática e trabalhos na mesma direção que o anterior, e o 5th International Congress of Engineering Geology (IAEG) foi em Buenos Ayres, sempre mantendo o objetivo da IAEG da difusão da Geologia de Engenharia nos diferentes países.

Em 1981, a AEG (USA) publicou a primeira edição do Professional Practice Handbook (<http://www.aegweb.org/files/public/aegpph.pdf>), que se caracteriza como um texto fundamental não somente para os geólogos de engenharia americanos, mas para brasileiros e de outros países. Esse texto ainda é pouco conhecido no meio técnico brasileiro. Esse congresso encerrou uma fase da Geologia de Engenharia no Brasil e deu início a outra, com uma diversidade maior de trabalhos.

Em 1987, no 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, em São Paulo, foi apresentado um grupo de trabalhos sobre a Geologia de Engenharia em termos de evolução, perspectivas e as necessidades de desenvolvimento.

Em 1990, a IAEG realiza o seu 6th International Congress of Engineering Geology, em Amsterdan, e foi o evento com a menor participação de brasileiros entre todos os congressos da IAEG. Por outro lado, a ABGE e a ABMS buscaram a realização conjunta de eventos e realizaram, em Salvador, o 6º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e o Congresso Brasileiro de Mecânica

de Solos e Fundações na cidade de Salvador (BA). O 1º Simpósio Latino-Americano sobre Riscos Geológicos Urbanos ocorreu em São Paulo (SP) embalado principalmente pela declaração pela ONU da Década Internacional de Redução de Riscos.

Nesse período, surgem os recursos computacionais que propiciam o tratamento das informações de maneira mais consistentes, assim como o uso de modelos matemáticos e possibilitam a maior eficiência de técnicas, como as geofísicas e de monitoramento.

1990 – 2000

No ano de 1991 ocorreu um evento e a publicação do texto “The heritage of Engineering Geology: The First hundred years” por G.A.Kiersch, que constitui um dos mais completos textos sobre a evolução da Geologia de Engenharia, no caso para o USA. No mesmo ano, a publicação do livro “Engineering Geological Mapping”, por Darman, sintetizou um conjunto de conhecimentos sobre o mapeamento geotécnico, principalmente da Inglaterra, e alguns trabalhos clássicos.

Em 1993, ocorreu em São Paulo, o 1º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e na cidade de Poços de Caldas (MG) ocorreu o 7º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, onde houve diversas mesas redondas e debates sobre temática variada dentro da Geologia de Engenharia e áreas afins. Maciel Filho publicou a primeira versão do livro Geologia de Engenharia em 1994, e ocorreu em Lisboa o 7th International Congress of Engineering Geology, com a maior participação de brasileiros, sem contar o realizado em São Paulo, em 1974. Em 1996, ocorre o 8º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, na cidade do Rio de Janeiro, e confirma-se o processo de mudanças iniciado em 1990, com predomínio de trabalhos com enfoque ambiental. No ano de 1996, a ABGE desenvolveu um projeto junto com o CNPQ/PADCT sobre o diagnóstico da sub-área de Geologia de Engenharia envolvendo as escolas e os profissionais.

Ainda no ano de 1996 ocorreu uma reunião técnico-científica sobre incertezas nos ambientes geológicos (Uncertainty in the Geologic Environment: From Theory to Practice), que discutiu com profundidade a importância da avaliação das incertezas nos projetos ambientais e geotécnicos.

Em 1997, Maciel Filho lança uma nova versão do livro com o título *Geologia de Engenharia* e Peter Fookes proferiu a palestra como *First Glossop Lecture*, com o título “*Geology for engineers: the geological model, prediction and performance*”, que trata das relações entre as informações geológicas e as obras de engenharia, e discutiu diversos aspectos conceituais sobre os diferentes temas que são considerados dentro do campo da Geologia e Geotecnia. A Geologia de Engenharia completava 30 anos na UFRJ e um relato muito especial foi elaborado por Barroso e Cabral sobre a área de conhecimento, relatando os aspectos de implantação e das atividades até então desenvolvidas. Em 1998, realizou-se em Vancouver (Canadá) o 8th International Congress of Engineering Geology, e partir de então a IAEG passou a ser denominada International Association of Engineering Geology and the Environment (IAEGE) e o Engineering Geology Group (US Department of the Interior – Bureau of Reclamation) lança em edição limitada o Engineering Geology Field Manual (<http://www.usbr.gov/pmts/geology/geoman.html>), que é um texto pouco conhecido pelo meio técnico brasileiro, de excelente qualidade. No final da década, a ABGE realizou o 9^o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia na cidade de São Pedro (SP), onde a maioria dos trabalhos foi com temáticas ambientais.

No ano de 2000, ocorreu na Austrália um evento técnico-científico envolvendo a IAEGE International Association of Rock Mechanics (ISRM) e International Soil Mechanics and Foundation Engineering (ISMEF), que discutiram a reunião das três áreas básicas da Geotecnia em função do termo “*Common Ground*”. Neste, foi proferida uma palestra por Morgenstern sob o título de “*Common Ground*” e também outra por Fookes, Baynes e Hutchinson sobre o tema “*Total Geological History: A model approach to the anticipation, observation and understanding of site conditions*”. Ambas são muito interessantes para os profissionais de Geologia de Engenharia e da Geotecnia de maneira geral.

Para a Geologia de Engenharia no Brasil, nessa década, ocorreram alguns fatos marcantes e importantes:

1. A CPRM, o Instituto Geológico (SP) e a Mineropar (PR) fortaleceram a área dentro das

respectivas instituições, incluindo a contratação de profissionais e/ou treinamento de técnicos,

2. Diversos grupos (SP, RJ, PR, SC, RS, PE, MG) passaram a atuar no âmbito dos Desastres Naturais, principalmente movimentos de massa gravitacionais e inundações,
3. Houve um aumento do oferecimento de disciplinas com conteúdo de Geologia de Engenharia nos cursos de graduação de Geologia, Engenharia Civil, de Minas e Ambiental,
4. Os Sistemas Geográficos de Informações (SIG) tornaram-se comuns e permitem a disposição de dados espaciais de forma mais dinâmica. Consequentemente, trazem ganhos positivos aos profissionais, pois permitem uma análise e interpretação mais efetiva dos dados, por outro lado, há os negativos, como a preocupação somente estética dos trabalhos, o que tem levado a trabalhos (científicos e profissionais) sem conteúdo técnico, o que passa aos novos profissionais a idéia de que a Geologia de Engenharia é somente um aspecto de estética dos documentos cartográficos, e
5. Os programas de pós-graduação com linhas temáticas de Geologia de Engenharia tem um crescimento acentuado em programas relacionados às Geociências, Engenharia Civil e de Minas. No final da década existiam no Brasil cerca de 20 programas em instituições federais, estaduais e privadas, principalmente nos estados de SP, RJ, MG, RS, PR, PE, BRASILIA e BA.

A partir do início desta década há uma participação de um número significativo de profissionais nos trabalhos envolvendo aspectos ambientais, chegando a atingir mais da metade dos profissionais em muitos países, e consequentemente ocorreu a adoção do termo Ambiente nas denominações da IAEG e de grande parte das associações nacionais.

2000 – 2011

Nessa década, a ABGE implementou as comissões de cartografia geotécnica, riscos, erosão, geofísica, recursos hídricos, temas gerais e resíduos, e o Banco de Dados de Cartografia Geotécnica

e Geoambiental, que conta atualmente cerca de 1000 trabalhos cadastrados.

A IAEGE realizou, em 2002, o 9th International Congress of Engineering Geology, em Durban (África do Sul), com a temática central Geologia de Engenharia para os países em desenvolvimento. Knill (2002) realizou a palestra The First Hans-Cloos Lecture - Core Values for Engineering Geology, que levou a IAEGE a realizar debates sobre o tema e, em 2004, publicou no IAEG News (Vol 32, No 1, 2004), um conjunto de tópicos considerados como Core Values:

1. Site specific engineering geological descriptions (local or project related) of stratigraphy, structure, groundwater, processes, and the related engineering or environmental performance.

2. Universal engineering geological syntheses (applicable throughout the world) of properties, parameters, engineering performance of geological materials or processes, soil/rock/water systems, environmental systems, especially inhomogeneous and/or fractured materials and/or active processes.

3. Investigation and characterization methods, surface and subsurface field techniques especially to investigate and describe spatial variability, capabilities and limitations of investigation techniques.

4. Engineering geological models as representations of site specific and anticipated engineering geological conditions, preparation protocols, metadata requirements, descriptions of geological uncertainty, visualization of models, methods of transforming into ground engineering models, use of models for risk management and geohazard engineering

5. Management and communication of engineering geological information, reporting, engineering geological terminology, defensible reporting standards, codes of practice, communication with endusers, education and training.

A ABGE realizou o 10^o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia em 2002 na cidade de Ouro Preto (MG), com a apresentação de um número significativo de trabalhos associados às atividades de mineração.

Em 2005, a AEG passa a ser denominada oficialmente Association of Environmental & Engineering Geologists, incorporando em suas orientações aspectos da Geologia Ambiental e, assim, as duas maiores associações passam a considerar

a Geologia de Engenharia como parte da solução dos problemas ambientais.

Proske, Vlcko, Rosenbaum, Dorn, Culshaw, Marker (Report of IAEG Commission 1 Engineering Geology Mapping) publicaram o texto "Special purpose mapping for waste disposal system", que trata de tema frequente nas publicações e atividades profissionais envolvendo a seleção e caracterização de áreas para disposição de resíduos. M.G. Culshaw publicou o texto "From concept towards reality: developing the attributed 3D geological model of the shallow subsurface", que aborda tema fundamental para o entendimento da variabilidade espacial dos materiais geológicos e estruturas geológicas, e que ganhou nova força, nessa década, devido aos avanços das técnicas computacionais. No Brasil, ocorreu o 11^o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, na cidade de Florianópolis (SC), e foi mantida a tendência de trabalhos com enfoques ambientais,

Em 2006, foi realizado em Newcastle (Inglaterra) o 10th International Congress of Engineering Geology and the Environment, com o tema central Geologia de Engenharia para as cidades do futuro, e algumas publicações trouxeram novas idéias e debates. A publicação de H. Bock denominada "Common ground in engineering geology, soil mechanics and rock mechanics: past, present and future" aponta caminhos futuros que podem ser seguidos pelas três disciplinas básicas da Geotecnia. Chacón, Irigaray, Fernández e El Hamdouni, também em 2006, publicam artigo com o título "Engineering geology maps: landslide and geographical information systems (Report to the Commission 1 on Engineering Geology Maps, IAEGE)" caracterizando-se como uma síntese bem completa do tema. Em 2008, a ABGE realizou o 12^o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, em Pernambuco, na cidade de Porto de Galinhas, e houve um predomínio de trabalhos com enfoques ambientais e, por outro lado, os aspectos de Geologia de Engenharia em boa parte deles não foram considerados como é esperado para trabalhos dessa natureza. Em 2009, a Geological Society of London publica um livro especial (Editado por M G Culshaw, H J Reeves, I Jefferson and T Spink) que tem por título "Engineering Geology for Tomorrow's Cities", com textos elaborados por diversos autores sobre as

bases e o futuro da Geologia de Engenharia, com visões para diferentes países. O 11th International Congress of Engineering Geology and the Environment (IAEGE) realizou-se em Auckland (Nova Zelândia), abordando predominantemente temas relativos aos eventos perigosos (hazard), riscos e sobre o futuro da Geologia de Engenharia como uma ciência de aplicação. A ABGE realiza, em 2011, o 13^o Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, na cidade de São Paulo, com o lançamento da Revista REGEA (Revista de Geologia de Engenharia e Ambiental) e um conjunto de simpósios concomitantes.

Dentre todos os aspectos que a Geologia de Engenharia debateu nestes últimos 10 anos dois predominaram, sendo as avaliações de INCERTEZAS (Uncertainty) na previsão de eventos perigosos e riscos associados, sejam relacionados às obras de engenharia, recuperação e prognósticos de problemas ambientais ou processos naturais e as análises em 3D/4D models.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É fundamental a Geologia de Engenharia manter a IDENTIDADE que a caracteriza como uma área de conhecimento fim e não meio!!!

O desenvolvimento da Geologia de Engenharia depende da qualidade da formação profissional (graduação e pós-graduação) e da ética dos profissionais no desenvolvimento das suas atividades!!

Em trabalho desenvolvido por Hatheway et al. (2005), a demanda na Europa e Estados Unidos para geólogos de engenharia bem qualificados é muito grande, porém, as escolas que são responsáveis pela formação desses profissionais estão em declínio por diversos fatores, dentre eles a falta de financiamento das pesquisas. Essa situação também é válida para o caso do Brasil, e principalmente junto aos cursos de graduação em Geologia.

De acordo com Knill (2002), a Geologia de Engenharia, para ser bem sucedida deve demonstrar um equilíbrio entre um entendimento de alta qualidade da geologia e a adequada apreciação para fins de engenharia e ambientais de tal maneira que a informação relevante seja considerada.

Desde o início 1968/1970 a ABGE já realizou mais de uma centena de eventos técnico-científicos de caráter nacional, como os Congressos Bra-

sileiros de Geologia de Engenharia, simpósios de erosão, resíduos, riscos, cartografia geotécnica e geoambiental. Assim como alguns eventos de ordem internacional, como o congresso da IAEG, Simpósio Latino-Americano de Riscos, entre outros.

As disciplinas de Geologia de Engenharia oferecidas em cursos de Geologia ainda são secundárias em muitos cursos, oferecidas como optativas, em um único semestre e, às vezes, com conteúdo fora do contexto necessário ao desenvolvimento profissional. Por outro lado, existem disciplinas oferecidas para cursos de Engenharia Civil, de Minas e Ambiental com conteúdo adequado e por profissionais muito competentes, levando a uma situação onde em curto espaço de tempo, em se mantendo as condições atuais, deve modificar o perfil do profissional no mercado.

Atualmente, em mais de 100 países existem periódicos específicos para publicação de artigos sobre a evolução do conhecimento técnico-científico no país, como também por avanços nas técnicas de investigação e no desenvolvimento de novos equipamentos e procedimentos. Em termos internacionais, vale destacar os periódicos: Engineering Geology (publicado pela Elsevier), Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology (publicado pelo Engineering Group da Geological Society of London, Bulletin of Engineering Geology and Environment (publicado pela Springer), Geotechnical and Geological Engineering (publicado pela Springer), Review in Engineering Geology (publicado pela Geological Society of America), Italian Journal of Engineering Geology and Environment (publicado pela "La Sapienza" Publishing House da University of Rome "La Sapienza"), Journal of the Japan Society of Engineering Geology (publicado pela Japan Society of Engineering Geology), Hydrogeology and Engineering Geology (Founded in 1957, is in charge of Land and Resources, China Geological Environmental Monitoring Institute), Journal of Engineering Geology (AD of Publication: China), Australian Geomechanics (Published for the Australian Geomechanics Society by the Institution of Engineers, Australia), Australian Journal of Earth Sciences (An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia),

Em termos de livros, é possível encontrá-los na maioria dos países mantendo características

regionais quanto à língua e/ou conteúdo. Entretanto, há um grupo que pode ser considerado de caráter internacional e que deve fazer parte da vida de um profissional da área de Geologia de Engenharia durante a sua formação, principalmente durante os cursos de graduação e pós-graduação, a saber:

Attewell, P. B. & Farmer, I. W. (1976) Principles of Engineering Geology. Chapman & Hall, London.

Bell F.G. (1983). Fundamentals of Engineering Geology. Butterworths.

Bell F. G. (2004) Engineering Geology and Construction. Spon Press.

Bell F.G. Basic Environmental and Engineering Geology.

Blyth F.G.H. & Freitas, M.H. (1984). A Geology for Engineers. Edward Arnold.

Desio A. (1985) Geologia applicata all' ingegneria. Ulrico Hoepli, 3ª ed. Milano.

Duncan N. (1969) Engineering Geology and Rock Mechanics. Leonard Hill, London.

Gonzalez de Vallejo L., Ferrer M. (2011) Geological Engineering. CRC Press.

Goodman R.E. (1993) Engineering Geology - rock in engineering construction. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Krynine D.P. & Judd, W.R. (1957) Principles of engineering geology and geotechnics. McGraw-Hill Book Company, (New York, New York), 730 p.

Legget R.F. (1962) Geology and Engineering. McGraw-Hill.

Legget R.F. & Karrow P.F. (1983) Handbook of Geology in Civil Engineering. McGraw-Hill.

McLean A. C. & Gribble C.D. (1995) Geology for Civil Engineers. E & F N Spon, London.

Price D. G. (2009) Engineering Geology Principles and Practice. Freitas, Michael de (Ed.) 450 p. 182 illus. Springer.

Rahn P.H. (1986) Engineering Geology - An Environmental Approach. Elsevier.

Gokhale K. V. G. K. (2006) Principles of Engineering Geology. B. S. Publications.

González de Vallejo, L.I., Ferre, M., Ortuño, L. e Oteo, C. (2002) Ingeniería Geológica, Pearson Educación, Madrid, p. 744.

Peng S., Zhang J. (2007) Engineering Geology for Underground Rocks

Goodman, R.E. (1993) Engineering Geology: Rock in Engineering Construction

Prentice J. (1991) E. Geology of Construction Materials.

Legget R.F.; 1962. Geology and Engineering. McGraw-Hill.

Legget R.F. & Karrow, P.F.; 1983. Handbook of Geology in Civil Engineering. McGraw-Hill.

Schultz J. R. (1955) Geology in engineering. New York. Wiley.

Waltam T. (2009). Foundations of Engineering Geology. Taylor & Francis.

BIBLIOGRAFIA

AEG (1993). Professional Practice Handbook, 3rd Edition, Special Publication No.5 (eds) Brown & Proctor first edition, Hoose S.N. 3rd edition.

AEG (2002). AEG News, Association of Engineering Geologists, Vol. 45, Annual Report and Directory, p 18.

Anon (1999). "Time to Investigate". Ground Engineering, magazine of British Geotechnical Society, Vol.32, No.11, pp 52-54.

- Anon. (2002). Key Issues in Earth Sciences: Vol. 1: Mapping in Engineering Geology. Geological Society Publishing House, London. Compiled by Griffiths, J., 294p.
- Anon. (2003). Code of Conduct, Geological Society of London, www.geolsoc.org.uk.
- Arnould M., (1970). The International Association of Engineering Geology, History-Activity. Bulletin of the I.A.E.G. Vol. 1: pp 22-28.
- Barroso J. A. & Cabral S. (1997) 30 anos de Geologia de Engenharia na UFRJ: Visões do Passado e do Futuro. Anuário do Instituto de Geociências, vol. 20, PP. 163 - 174.
- Baynes F. J. (1999), Engineering Geological Knowledge and Quality, Proceedings of the Eight Australia New Zealand Conference on Geomechanics, Volume 1 Hobart, Institution of Engineers Australia, pp 227 - 234.
- Baynes F. J. (2004) Generic responsibilities of engineering geologists in general practice. IEGE News, Volume 32, nº1.
- (<http://iaeg.info.dnnmax.com/portals/0/Content/Commissions/Comm26/Baynes%20paper.pdf>)
- Berkey C.P. (1929). Responsibilities of the geologist in engineering projects. Tech. Publs. Am. Inst. Min. Metall. Engrs., No. 215, pp 4-9, quoted and cited in Henkel (1982).
- Burwell E.B. & Roberts G.D. (1950). The geologist in the engineering organization. Application of Geology to Engineering Practice, (ed). S. Paige, Geological Society of America, pp 1-10.
- Bock H. (2006) Common ground in engineering geology, soil mechanics and rock mechanics: past, present and future. Bull Eng Geol Env N° 65: 209-216.
- Cloos H. (1954). Conversation with the Earth. Routledge and Kegan Paul, 409 pp.
- CNPQ (1967) O movimento de encosta no Estado da Guanabara e regiões Circunvizinhas. Relatório da Comissão de especialistas, CNPQ/Presidência da República.
- Culshaw M.G. (2005). From concept towards reality: developing the attributed 3D geological model of the shallow subsurface. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, 38, 231-284.
- Dearman W.R. (1971). Introductory statement to regional meeting of the Engineering Group of the Geological Society Dublin. Q. Jl Eng. Geol Vol. 4, No.3, pp 187-190.
- Fell R (1995). Geotechnical education, Australian Geomechanics. No 27, pp 26-28.
- Fookes P.G. (1997), Geology for Engineers, the Geological Model, Prediction and Performance - Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 30: pp 293-424.
- Fookes P.G., Baynes F.J. & Hutchinson J.H., (2000). Total Geological History: A Model Approach to the Anticipation, Observation and Understanding of Site Conditions, International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, Australia Technomic, Vol.1, pp 370-460.
- Fookes P.G., Baynes F.J. & Hutchinson J.H. (2001). Total geological history: a model approach to understanding site conditions, Ground Engineering, Magazine of British Geotechnical Society Vol.34, No 3, pp 42-47.
- Jones F. O. (1973) Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras escarpment, Brazil. Professional paper Geological Survey (U.S.), no. 697, p.43.
- Glossop R. (1969) Engineering geology and soil mechanics: Address by Retiring Chairman of the Engineering Group of The Geological Society. Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 2, No. 1. 1-5.
- Geotechnical Engineering Office (2007) Engineering Geological Practice in Hong Kong. GEO PUBLICATION No. 1/2007 (http://www.cedd.gov.hk/eng/publications/geo/doc/pub_1_2007_a.pdf). Hong Kong.
- Hall J. (1839) Classification of "Slate rock and shale," Erie Canal Locks Construction, Lockport,

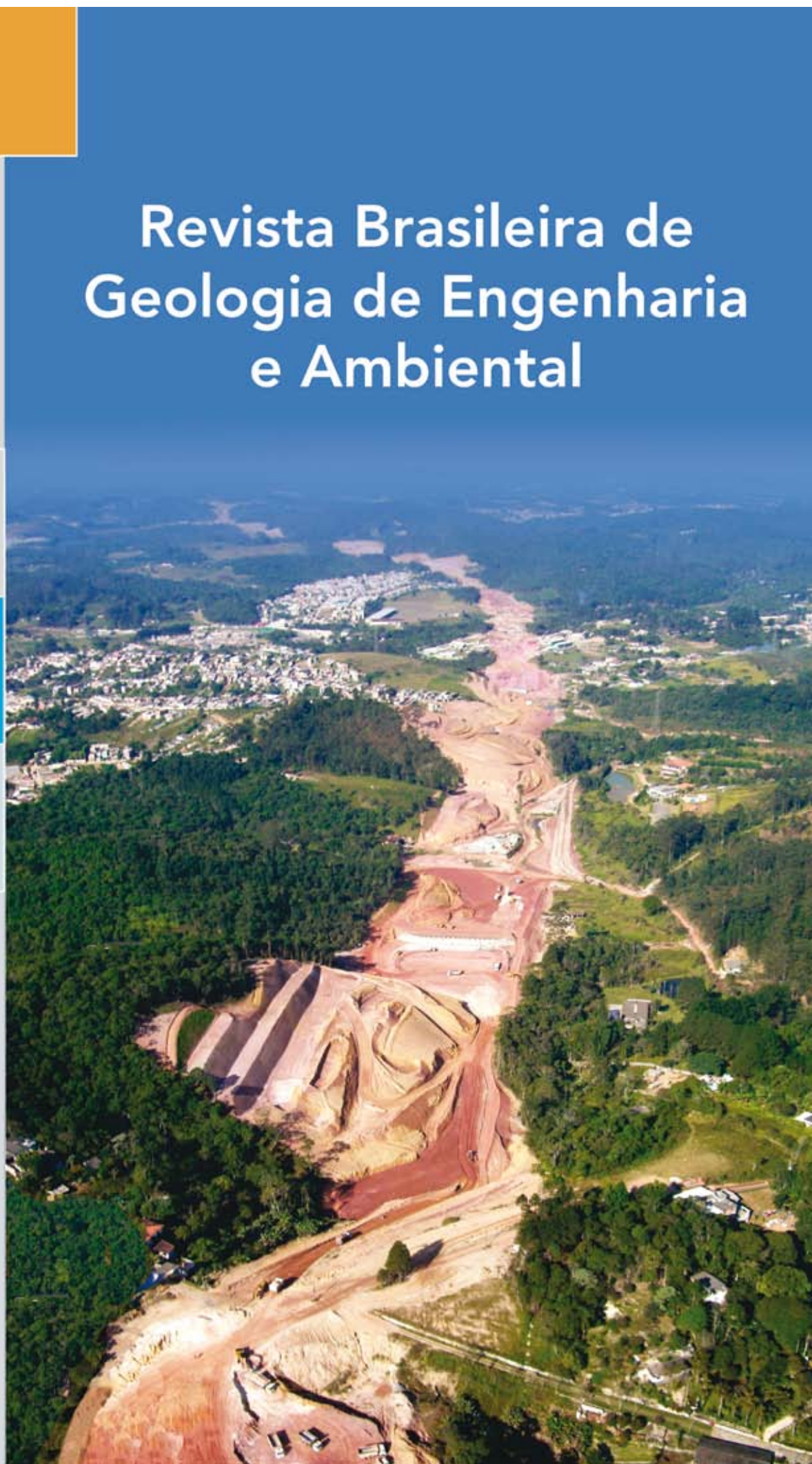
- New York: New York. Geological Survey Annual Report, p.287-339.
- Hamel J.V. & Adams W.R. (2000). Engineering geology for the new millennium: stick with the basics, to be published in a special issue of Journal of Nepal Geological Society, 27p.
- Hatheway A.W. (1998). Engineering geology and the environment. 8th International Congress of I.A.E.G., Vancouver, Canada, 21-25 September, Vol. IV, pp 2269-2277.
- Hatheway A. W., Kanaori Y., Cheema T., Griffiths J. & Promma K. (2005). 10th annual report on the international status of engineering geology – year 2004–2005; encompassing hydrogeology, environmental geology and the applied geosciences. Engineering Geology 81 (2005) 99–130.
- Henkel D.J. (1982). Geology, geomorphology and geotechnics. Geotechnique, Vol. 32, No. 3 pp 175-194.
- Hoek E. & Palmieri A. (1998). Geotechnical risks on large civil engineering projects. 8th International Congress of I.A.E.G., Vancouver, Canada, 21-25 September, Vol.1, pp 79-88.
- Hungr O. (2001). Task force on the promotion of geological engineering and engineering geology in Canada: preliminary report, Geotechnical News, BiTech Publishers Ltd, Vancouver, Vol. 19: pp 60-61.
- IAEG (1998), Frontispiece, Bulletin of engineering geology and the environment, Vol. 57 No. 1.
- James L.B. & Kiersch, G.A. (1991). Failures of engineering works. The Heritage of Engineering Geology; The First Hundred Years, Geological Society of American, Centennial Special Vol. 3, pp 481-516.
- Judd W.R., (1967). Geotechnical Communication Problems; Alex L. du Toit Memorial Lectures No.10. The Geological Society South Africa, annexure to Vol. 70, 45p.
- Kiersch G.A. (1991). "The heritage of engineering geology; Changes through time". The Heritage of Engineering Geology; The First Hundred Years, ed. by G.A. Kiersch, Centennial Special Volume 3, Geological Society of America, p. 1-50.
- Kiersch G.A. & James L.B. (1991). Errors of geological judgment and the impact on engineering works. The Heritage of Engineering Geology; The First Hundred Years, Geological Society of American, Centennial Special, Vol.3, pp 517-558.
- Knill J. L., Cratchley C. R., Early K. R., Gallois R. W., Humphreys J. D., Newbery J., Price D. G. & Thurrell R. G. (1970) Geological Society Engineering Group Working Party report on the logging of rock cores for engineering purposes. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* December 1970, v. 3:1-24.
- Knill J. (2002). Core Values: The First Hans-Cloos Lecture. Proceedings of 9th International Congress of the IAEG, Durban, South Africa, 16-20 September. (eds.) van Rooy J.L. & Jermy C.A, South African Institute of Engineering and Environmental Geologists.
- Lapworth H. (1907 – 1908) The principles of engineering geology. (two lectures to the students of the institution in session 1907-8). Minutes of the Proceedings, Volume 173, Issue 1908, pages 298 –327.
- Lapworth H. (1911). "The geology of dam trenches". Transaction Association of Water Engineers, Vol. 16, p. 25.
- Lugeon M. (1933). Barrages et Géologie. Librairie de l'Université, F. Kouge et Cie, Lausanne.
- Morgenstern N.R. (2000). Common Ground - International Conference on Geotechnical and Geological Engineering, Melbourne, Australia Technomic, Vol. 1, pp 1-30.
- Moye D.G., (1966). Engineering geology. paper presented to Symposium on undergraduate geological training, A.N.U. Canberra quoted and cited in Stapledon (1982).
- Müller-Salzburg L. (1976). Geology and engineering geology. Reflections on the occasion of the 25th anniversary of the death of Hans Cloos. Bulletin of the IAEG, N° 13, pp 35-36.

- Paige S. (1950). "Application of Geology to Engineering Practice". *The Berkey Volume*. Geological Society of America.
- Ries H. & Watson T. L. (1914) *Engineering geology*, 1st ed., 5th ed., 1936: New York, John Wiley and Sons, 679 p.
- Rawlings G.E. (1972). The role of the Engineering Geologist during construction. *Q.Jl Engng Geol.* Vol. 4, pp 209-220.
- Redlich K, Terzaghi K & Kampe R (1929) *Ingenieurgeologie*. Springer, Wien, p 708.
- Rengers N., Hack R., Huisman M., Slob S. & Zigterman W. (2002). Information Technology Applied to Engineering Geology. 9th International Congress of I.A.E.G., South Africa, 16-20 September, (eds) van Rooy J.L. & Jermy C.A. pp 83-105, South African Institute of Engineering and Environmental Geologists.
- Ruiz M.D. (1987) A evolução da Geologia de Engenharia no Brasil e suas Perspectivas. Conferencia Especial, %o CBGE, Anais, Vol. 2, São Paulo, SP.
- Slosson J.E, Williams J.W., & Cronin V.S., (1991). Current and future difficulties in the practice of engineering geology. *Engineering Geology* Vol. 30, part 3, pp 3-12.
- Stapledon D.H. (1982). Subsurface engineering - in search of a rational approach. *Australian Geomechanics News*, Vol. 4, pp 26 - 33.
- Stapledon D.H. (1983). Towards Successful Waterworks, *Proceedings Symposium for Dams and Canals*, Alexandra, Institution of Professional Engineers, New Zealand, pp 1.3 - 1.15.
- Stapledon D. (1986). Let's Keep the "Geo" in Geomechanics. *Specialty Geomechanics Symposium*, Adelaide, 18-19 August 1986, pp 18-31.
- Stapledon D.H. (1996). Keeping the "Geo"; Why and How, the John Jaeger Memorial Address, *Proceedings of the Seventh Australia New Zealand Conference on Geomechanics*, Adelaide, South Australia, Jaksá, Kaggwa & Cameron (eds), Institution of Engineers, Australia, Canberra, pp3-18.
- Vargas M (1985) Origem e desenvolvimento da Geotecnologia no Brasil. *Quipu*, Vol. 2.
- Zaruba Q. and Mencl, V. (1963). "Engineering Geology". Elsevier, Amsterdam.
- Zaruba Q. (1970). Engineering geology, some experiences and considerations. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, No. 1, p. 15-21.
- Zebera K. (1947). *Geologie in der regionalen Planung*. Geotechnica, vol. 4, Praha.
- Zekkos D. Athanasopoulos G., Athanasopoulos A. & Manousakis J. (2006) elements of engineering geology and geotechnical engineering in the homeric poems. *International Symposium "Science and Technology in Homeric Epics"*, Ancient Olympia, Greece.



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

INTEGRAÇÃO DE ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS APLICADOS A PROJETOS DE ENGENHARIA E À AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS: ESTAMOS AVANÇANDO?

OMAR YAZBEK BITAR *omar@ipt.br**
AMARILIS LUCIA CASTELI FIGUEIREDO GALLARDO – *amacafi@ipt.br**
SOFIA JULIA ALVES MACEDO CAMPOS – *scampos@ipt.br**
TÂNIA DE OLIVEIRA BRAGA – *taniabrg@ipt.br**
CAIO POMPEU CAVALHIERI – *caiopc@ipt.br**

RESUMO ABSTRACT

Discute-se a integração dos estudos geológico-geotécnicos realizados para fins de projetos de engenharia e de avaliação de impactos ambientais de empreendimentos propostos, com destaque a obras de infraestrutura e indústrias de base. Inicialmente, apresenta-se a correspondência entre os principais tipos de projetos de engenharia realizados nas diferentes fases de um empreendimento e os estudos ambientais requeridos no processo de Avaliação de Impacto Ambiental. Analisam-se as relações entre os estudos geológico-geotécnicos envolvidos nas duas frentes de aplicação. Dentre vários enfoques possíveis, enfatiza-se o grau de integração dos estudos geológico-geotécnicos adquiridos e gerados nas diferentes fases de um empreendimento, tendo em conta a perspectiva de propiciar, ao mesmo tempo e com igual relevância, a construção de obras adequadas e sustentáveis. Busca-se contribuir para uma compreensão sobre se, de fato, está se avançado nessa integração ou se ainda há um longo caminho a percorrer para um aproveitamento mais efetivo do conhecimento geológico-geotécnico. Toma-se como referência observações efetuadas em casos de rodovias, ferrovias, dutovias, minas, loteamentos e aterros sanitários, realizados nos últimos anos no estado de São Paulo e submetidos ao processo de Avaliação de Impacto Ambiental, instrumento por meio do qual a integração dos estudos geológico-geotécnicos nas duas frentes de aplicação tem sido potencializada. Os resultados obtidos indicam que há sinais de integração, mas predomina ainda certo distanciamento. Apontam-se alguns desafios tecnológicos e gerenciais

INTEGRATION OF THE GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL STUDIES APPLIED TO ENGINEERING PROJECTS AND ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT: ARE WE MOVING?

This paper discusses the integration of the geological and geotechnical studies applied to engineering projects and environmental impact assessment for new developments, especially engineering works of infrastructure and basic industries. Initially, the correspondence between the main types of previous engineering projects developed in the phases of a proposed development, and the environmental studies required by Environmental Impact Assessment process is presented. The relations among the geological and geotechnical studies involved in these two contexts are examined, that means both due to the engineering projects and the environmental impact studies. Amongst several possible approaches, the analysis of integration grade between the acquired and generated knowledge in these two areas is emphasized in order to provide at the same time and with equal importance the construction of appropriate and sustainable engineering works. The aim is to encourage to the perception of whether this combination is advancing or there is still a long way to achieve an integrated the geological and geotechnical knowledge. Observations from cases of roads, railways, pipelines, mines, housing developments and landfills in recent years and submitted to the Environmental Impact Assessment process at the state of São Paulo are used to develop this paper. The Environmental Impact Assessment process has been increasingly enhancing

* Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), São Paulo, SP, Brasil, labgeo@ipt.br

a enfrentar em prol de um aproveitamento mais integrado do conhecimento geológico-geotécnico em novos empreendimentos.

Palavras-chave: geologia de engenharia; meio ambiente; conhecimento geológico-geotécnico; obras de infraestrutura; indústrias de base.

the synergy between these two approaches. The results indicate that there are signs of rapprochement although remains still some distance. Some technological and management challenges facing towards integrated use of geological and geotechnical knowledge applied to the engineering and environmental studies related to the new developments are brought forward.

Keywords: engineering geology; environment; geological and geotechnical knowledge; infrastructure works and basic industries.

1 INTRODUÇÃO

As primeiras experiências relacionadas à aplicação de dados e informações de caráter geológico-geotécnico em projetos de engenharia no País remontam ao início do século passado. Muito avanço se obteve desde então, constatando-se hoje a importância do conhecimento geológico-geotécnico na construção de obras, desde as de pequeno porte até as de maior complexidade. Exemplos do papel relevante desempenhado por esse tipo de conhecimento em obras de infraestrutura podem ser encontrados em empreendimentos instalados em diferentes regiões do País, sobretudo entre 1930 e 1980, como usinas hidrelétricas, linhas de transmissão, rodovias, ferrovias, dentre outros quais a aplicação do conhecimento geológico-geotécnico se mostrou essencial na viabilização de projetos de engenharia.

Com o surgimento de demandas relacionadas ao meio ambiente, em sintonia com tendências internacionais, deflagradas especialmente a partir do final da Segunda Grande Guerra, o conhecimento geológico-geotécnico começa a se desenvolver também em relação aos desafios ambientais inerentes à implantação de grandes obras de engenharia. Datam da década de 1970 as primeiras manifestações da comunidade científica, grupos ecologistas e populações locais, bem como diretrizes de organismos internacionais de fomento, no sentido de exigir a apresentação de estudos prévios sobre o meio ambiente, como requisito para a obtenção de financiamentos em grandes obras de infraestrutura. A Usina Hidrelétrica de Tucuruí/PA teria sido a primeira grande obra no País para a qual se condicionou o aporte de recursos financeiros à realização de um estudo de impacto ambiental, que acabou realizado em 1977, com

a obra já em andamento (MONOSOWSKI, 1994, *apud* SÁNCHEZ, 2006).

Não obstante, as aplicações do conhecimento geológico-geotécnico a problemas ambientais decorrentes de obras de engenharia ganhariam impulso no País com a edição de políticas públicas ambientais, instituídas a partir da década de 1960, tanto em nível federal quanto no âmbito dos estados relativamente mais industrializados, como MG, RJ, RS e SP. Marco relevante desse processo está na Política Nacional do Meio Ambiente, criada e regulamentada no início da década de 1980, que incluiu o processo de Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) como um de seus instrumentos fundamentais. Com a edição dessa Política e da subsequente Resolução 01/86 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que estabeleceu as primeiras orientações para a realização da AIA e do correspondente Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA), explicitou-se literalmente o *meio físico* entre os subsistemas que devem ser estudados previamente. Dessa forma, com a inclusão do meio físico entre os fatores de decisão para a aprovação de empreendimentos que podem gerar mudanças significativas no ambiente, a contribuição do conhecimento geológico-geotécnico passou a ser progressivamente considerada nos estudos ambientais de empreendimentos novos.

Assim, para uma mesma obra de engenharia, desde então se distingue claramente a demanda por estudos geológico-geotécnicos em duas frentes básicas de aplicação: uma visando atestar a viabilidade técnica dos projetos de engenharia e subsidiar a construção e operação dos empreendimentos; e outra de modo a equacionar os impactos

ambientais decorrentes e demonstrar a viabilidade ambiental do empreendimento. Em relação aos projetos de engenharia (que incluem anteprojeto ou projeto conceitual, projeto básico, projeto executivo e outros), os estudos geológico-geotécnicos requeridos se relacionam principalmente com o desafio de prever o comportamento da interação obra-meio físico, com a finalidade de garantir a execução de uma obra segura, operacional e tecnicamente adequada. Sob o ponto de vista da viabilidade ambiental, procurando também prever a interação obra-meio físico, a preocupação maior reside em avaliar as consequências futuras adversas em relação ao meio ambiente. Portanto, embora com enfoques, abordagens e ferramentas distintos, os estudos geológico-geotécnicos requeridos nas duas frentes de aplicação contemplam essencialmente o mesmo objeto de análise (a interação obra-meio físico), fato que ressalta a importância da integração dos estudos geológico-geotécnicos realizados nas duas frentes.

Dentre os muitos aspectos que se poderia analisar em relação a esses estudos geológico-geotécnicos, destacam-se a cooperação técnica entre as equipes envolvidas na sua elaboração em cada frente e a integração efetiva do conhecimento geológico-geotécnico desenvolvido nas duas aplicações. Isso não apenas em prol de uma maior racionalização de equipes e recursos, mas também no sentido de propiciar uma compreensão aprimorada e mais abrangente acerca da interação obra-meio físico. Ou seja, de modo a propiciar a aquisição e geração de conhecimentos geológico-geotécnicos em favor da realização de obras adequadas sob o ponto de vista dos projetos de engenharia e, ao mesmo tempo e com igual relevância, essenciais também à perspectiva de sustentabilidade ambiental do empreendimento.

No entanto, observações preliminares efetuadas em casos de empreendimentos submetidos ao processo de AIA nos últimos anos indicam que a cooperação entre as equipes e a integração dos estudos geológico-geotécnicos desenvolvidos nas duas frentes de aplicação ocorrem ainda de maneira incipiente na maior parte dos casos, sendo até mesmo ausente em certas situações. Indícios nesse sentido estão na prática usual de se constituir equipes de geologia e/ou geotecnia distintas para uma e outra aplicação, geralmente oriun-

das de diferentes empresas e instituições. Essas equipes, por sua vez, relacionam-se também com equipes de unidades organizacionais distintas no âmbito do empreendedor, havendo apenas eventuais contatos entre elas, para a discussão de um ou outro assunto considerado de maior relevância e salientado por parte do empreendedor. Em decorrência, dificulta-se a integração dos estudos geológico-geotécnicos produzidos em cada frente. Por outro lado, a constatação de casos em que houve maior cooperação entre as equipes e integração dos estudos geológico-geotécnicos, com notáveis resultados benéficos ao conjunto da obra, sugere que situações melhores podem ser alcançadas em outros empreendimentos.

A acepção do termo *interação* considerada no presente artigo diz respeito ao fenômeno em que certos agentes, ao constituir um conjunto (no caso, o conjunto obra-meio físico), acabam por exercer influência mútua e o comportamento de cada parte se torna estímulo para a outra. Por sua vez, *cooperação* se relaciona a atividades que, embora com origens e finalidades distintas, visam à obtenção de resultados que sejam relevantes e beneficiem igualmente as partes envolvidas. Difere, portanto, do significado de *colaboração*, termo este mais associado à ideia de auxílio ou apoio de uma parte em relação à outra, sem necessariamente haver reciprocidade. O termo *integração*, por seu lado, é aqui entendido no sentido da confluência organizada de partes para a constituição de um todo, com a finalidade de bem cumprir um objetivo comum. De acordo com o entendimento desses termos e do pressuposto de que tanto os projetos de engenharia quanto os estudos ambientais devem visar à sustentabilidade econômica, social e ambiental do empreendimento, considera-se que a cooperação efetiva entre equipes técnicas de geologia e/ou geotecnia envolvidas nas duas frentes de aplicação tende a propiciar maior grau de integração dos estudos geológico-geotécnicos realizados.

1.1 Objetivos

Este artigo objetiva analisar as relações estabelecidas entre os estudos geológico-geotécnicos elaborados para fins de projetos de engenharia e os estudos geológico-geotécnicos elaborados para fins de avaliação e gestão de impactos ambientais, a

partir do contexto de AIA e relativos a um mesmo empreendimento. Busca-se destacar evidências de cooperação entre as equipes técnicas envolvidas e de integração dos estudos geológico-geotécnicos desenvolvidos nas duas frentes de aplicação, ou seja, tanto aqueles gerados para fins de projetos de engenharia quanto os que constituem parte dos requisitos ambientais em AIA, incluindo o licenciamento ambiental correlato.

Pretende-se contribuir para uma reflexão acerca de tendências em relação ao tema, delineando se a cooperação entre as equipes técnicas e a integração dos estudos aplicados às duas frentes ocorrem e se mostram efetivas ou se, de fato, perante eventuais dificuldades encontradas, desenvolvem-se de modo incipiente, havendo um longo caminho a percorrer em prol de uma condição mais favorável.

Em termos específicos, visa-se distinguir os principais contextos formais e institucionais que favorecem uma integração maior entre os estudos geológico-geotécnicos realizados nas duas frentes de aplicação. Obter um panorama da evolução dos estudos geológico-geotécnicos aplicados a aspectos e impactos ambientais em obras de engenharia no País, considerando a possibilidade de que podem auxiliar no entendimento das relações estabelecidas nas duas frentes de aplicação ao longo do tempo, no âmbito nacional, encontra-se também entre os objetivos específicos do trabalho.

1.2 Materiais e Métodos

Para atingir os objetivos previstos, efetuou-se inicialmente uma revisão bibliográfica sobre o assunto, considerando trabalhos que abordam especificamente conhecimentos geológico-geotécnicos produzidos nas duas frentes de aplicação, em um mesmo empreendimento. Foram também consultados os resumos de trabalhos publicados nos principais eventos nacionais correlatos, tendo em conta o pressuposto de que a relação entre projetos de engenharia e estudos ambientais estabelece o campo no qual a aproximação entre geologia de engenharia e meio ambiente melhor se configura.

Examinou-se a correspondência processual entre os principais tipos de projetos de engenharia (projeto conceitual, projeto básico e projeto executivo), conforme elaborados nas fases iniciais

de um empreendimento, e os estudos ambientais requeridos no correspondente processo de AIA. Para isso, priorizam-se os procedimentos formalizados por órgãos ambientais encarregados do licenciamento ambiental, em nível federal e estadual. Admite-se que a correspondência entre os projetos de engenharia e os estudos ambientais, conforme propugnadas pelos órgãos ambientais, configura os vários contextos e momentos em que se pode esperar uma integração entre os estudos geológico-geotécnicos realizados nas duas frentes de aplicação.

Em seguida, efetuaram-se observações sobre estudos geológico-geotécnicos realizados para projetos de engenharia e estudos ambientais relativos a casos nos quais os autores do presente trabalho tiveram alguma participação, em apoio ao órgão ambiental ou ao empreendedor, em diversas fases da evolução dos empreendimentos. Para tal, selecionaram-se casos de obras de infraestrutura e de indústrias de base (mineração, cimento) submetidas aos procedimentos de AIA e de licenciamento ambiental no estado de SP. O universo inicialmente considerado abrange algumas centenas de empreendimentos, conforme acervo documentado em relatórios e pareceres técnicos elaborados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) desde 1988. No entanto, tendo em conta as finalidades do presente trabalho, toma-se como referência observações efetuadas apenas em casos de empreendimentos de grande porte e de diferentes setores, bem como relativamente mais recentes, em torno dos últimos dez anos.

Entre outros, consideraram-se os seguintes casos: a) rodovias, como a duplicação de trecho da rodovia dos Imigrantes em região do Planalto, Serra do Mar e Baixada Santista, o prolongamento da rodovia dos Bandeirantes entre Campinas e Limeira, a construção do rodoanel metropolitano de São Paulo em seus trechos oeste, sul e norte, a adequação de trecho da rodovia Presidente Dutra entre Jacareí e São José dos Campos e a duplicação de trechos das rodovias Raposo Tavares na região de Cotia e Sorocaba, Fernão Dias, Régis Bittencourt, Tamoios, Marechal Rondon e Caraguatatuba-São Sebastião; b) ferrovias, como na Linha 4 do Metrô de São Paulo e o trecho norte do ferroanel de São Paulo; c) transporte de cargas, como a estrutura

de correias transportadora entre o Planalto e a Baixada Santista; d) setor de petróleo e gás natural, como a troca de dutos em trecho do oleoduto São Sebastião-Cubatão, a construção do gasoduto Caraguatatuba-Taubaté e a implantação de unidade de tratamento de gás natural em Caraguatatuba; e) mineração, como areia em Itaquaquecetuba e São Carlos, brita em São Paulo e caulim em Embu-Guaçu, calcário em Nova Campina e Ribeirão Grande e areia quartzosa em Analândia e Corumbataí; f) dragagem de canais, como o canal do Piaçaguera, na região do Porto de Santos; g) projetos urbanísticos, como loteamentos em Itu, Bertioga e São José dos Campos; e h) aterros sanitários, aterros industriais e estações de tratamento de resíduos, como em São Paulo, Jacareí, Mogi Mirim, Salto, Olímpia, Sorocaba, Santo André, São José dos Campos, Paulínia, Itaquaquecetuba e Iperó. Ao todo, somam-se 41 empreendimentos.

Para realizar a análise, baseando-se nas observações efetuadas à época de cada empreendimento e, ainda, por meio de revisão de dados e informações face ao presente trabalho, considerou-se, em cada caso, especialmente o EIA/RIMA (ou outro documento técnico equivalente, conforme o caso) e o Plano - ou Projeto - Básico Ambiental (PBA), bem como o denominado Plano Ambiental da Construção (PAC), este último formalizado apenas em alguns empreendimentos. Em relação aos projetos de engenharia, variáveis de acordo com o caso, destacam-se eventuais consultas ao anteprojeto ou projeto conceitual, projeto básico e projeto executivo, analisados em relação a aspectos específicos disponíveis. Vale registrar que a análise dos casos foi efetuada sob um ponto de vista tomado a partir de uma inserção relativamente maior no processo de AIA, mas sempre tendo em conta observações referentes aos projetos de engenharia.

Busca-se identificar alguns elementos que caracterizem a integração dos estudos geológico-geotécnicos realizados nas duas frentes de aplicação. Uma primeira característica a prospectar diz respeito ao contexto em que a integração se evidencia, ou seja, as diferentes fases do empreendimento. Outra característica se relaciona com os vários momentos em que a integração entre os conhecimentos gerados nas duas frentes de aplicação tende a ocorrer. Nesse aspecto, verificar a

correspondência entre as etapas frequentes na elaboração e execução dos projetos de engenharia e em AIA é essencial. Uma terceira característica está nas formas por meio das quais se propicia a cooperação e/ou colaboração entre as equipes técnicas e uma possível integração entre os estudos geológico-geotécnicos aplicados nas duas frentes.

Considerando essas características, analisou-se o grau de integração obtido entre os estudos geológico-geotécnicos para fins de projetos de engenharia e os para fins de avaliação e gestão de impactos ambientais, conforme observados nos casos considerados. Cabe registrar que a grande maioria dos empreendimentos analisados já se encontra em fase de operação, mas há alguns que ainda não tiveram sua construção iniciada. Para a análise e obtenção do grau, efetuou-se a análise de cada caso individualmente, em que os empreendimentos foram classificados em um dentre três graus relativos adotados (alto, médio e baixo). Os resultados obtidos foram agregados em uma síntese geral elaborada a partir de análise de predominância.

Ao final, tendo em conta as observações efetuadas nos casos considerados, procura-se discutir os resultados obtidos e sintetizar as principais conclusões do trabalho, esperando que possam contribuir para uma primeira reflexão acerca do tema.

2 BREVE PANORAMA SOBRE A INTEGRAÇÃO DE ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS EM EMPREENDIMENTOS

Em realidade, pouco se tem documentado sobre práticas na integração dos estudos geológico-geotécnicos desenvolvidos nas duas frentes de aplicação. A bibliografia específica sobre o tema é extremamente escassa. A integração entre os estudos geológico-geotécnicos aplicados às duas frentes é um assunto que, embora permeie vários estudos de caso relatados na bibliografia nacional e internacional, raramente consiste em foco principal de abordagem, sobretudo quando se considera a análise de casos de um mesmo empreendimento no processo de AIA. Há uma vasta literatura técnico-científica sobre questões diversas relativas às fases de um empreendimento de engenharia e os estudos ambientais correlatos. Porém, raramente se discute sobre a integração dos estudos geológico-geotécnicos envolvidos.

Alguns trabalhos se aproximam do tema, nos quais se podem distinguir, além da abordagem do meio físico nos projetos de engenharia e nos estudos ambientais, ambos comumente tratados de modo separado, algumas características referentes a estudos geológico-geotécnicos realizados para as duas aplicações.

Salientam-se esforços conjuntos de geólogos de engenharia e da área ambiental do serviço geológico e da universidade, ambos do estado norte-americano da Dakota do Norte, na realização de mapeamentos geológicos detalhados e integrados, buscando realçar a percepção das condições geológico-geotécnicas existentes na região de Fargo e suas implicações ambientais (Anderson, 2006). Esse autor destaca que muitos dos produtos provenientes das investigações geológicas têm servido como base de dados primária para o planejamento ambiental futuro dessa região. Cita, ainda, que várias condições geológicas desfavoráveis encontradas, como deformação de solos argilosos de origem lacustre, capacidade de suporte inadequada e presença de movimentos de massa, têm sido a causa de problemas geológico-geotécnicos e ambientais, exemplificando com as dificuldades na definição do greide da estrada de ferro (*Northern Pacific*) e a ocorrência de recentes e repetidas inundações sazonais em áreas urbanas.

A importância vital entre a geologia ambiental e os processos geológicos no entendimento do meio físico, bem como a influência fundamental da geologia de engenharia no mundo moderno, em particular para as obras de infraestrutura, são destacadas como campos que devem atuar conjuntamente (Bell, 2008). O panorama da relação intrínseca entre geologia de engenharia e meio ambiente é ilustrado por esse autor com base em exemplos práticos. O mesmo autor examina a influência de aspectos de riscos geológicos, a significância dos recursos hídricos e do solo, os impactos ambientais da mineração, a disposição de resíduos e a poluição sobre o meio ambiente, assim como vários outros aspectos que envolvem o desenvolvimento de obras de infraestrutura e que acarretam problemas ambientais.

Quanto a formas de integração praticadas, tem-se que a elaboração de projetos complexos implica necessariamente a participação de diversos atores, com formações e pontos de vista diferentes. Contudo, o relacionamento entre esses atores pode se tornar problemático na prática,

como no caso de barragens e outras grandes obras de infraestrutura. Visando contribuir para efetividade da cooperação na concepção de grandes projetos, Grebici (2007) desenvolveu um modelo que integra as diferentes formas de cooperação, os diferentes modos de organização do processo de concepção de um projeto e os produtos intermediários e sua adequação às finalidades do empreendimento, destacando a importância de desenvolver formas apropriadas de cooperação. De fato, nos casos em que há cooperação efetiva entre os projetistas e a equipe ambiental, muitos impactos ambientais negativos podem ser prevenidos ou, ao menos, ter sua magnitude reduzida de maneira significativa (Sánchez, 2006).

Sánchez & Hacking (2002) também alertam para a importância entre vincular a AIA ao Sistema de Gestão Ambiental (SGA) de um empreendimento, aproveitando os estudos realizados para a confecção do EIA/RIMA para a gestão da construção, operação e desativação de empreendimentos, o que geralmente não ocorre na prática. Um caso hipotético de uma mineração ilustra as interações possíveis e necessárias para que isso seja viabilizado e promova, dentre outras melhorias, a adequada implantação e monitoramento de impactos ambientais após a aprovação da viabilidade ambiental do empreendimento.

No país, o movimento de aproximação entre projetos de engenharia e estudos ambientais trouxe evidentes repercussões ao campo da geologia de engenharia e ambiental, o que se observa em eventos e publicações correlatas a esses ramos das geociências aplicadas. Em meio a outras fontes e bases de dados passíveis de análise, breve consulta aos anais dos últimos quatro congressos nacionais da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) possibilita detectar alguns sinais nessa aproximação. Considerando os trabalhos que enfatizam a contribuição do conhecimento referente ao meio físico na solução de problemas de engenharia e que, conjuntamente, abordam também questões ambientais, nota-se que a quantidade aumentou no início da década de 2000, mantendo-se relativamente estável desde então. Esses valores se referem a trabalhos completos que tratam de aspectos e impactos ambientais relacionados a empreendimentos (obras de infraestrutura e indústrias de base), independentemente do porte e do fato de haver alguma relação com o processo formal de AIA (**Tabela 1**).

Tabela 1 - Relação entre a quantidade de artigos publicados que abordam conjuntamente aspectos geológico-geotécnicos para fins de projetos de engenharia e de estudos ambientais de empreendimentos e a quantidade total de artigos publicados nos últimos quatro congressos da ABGE.

CONGRESSO/LOCAL - ANO	QUANTIDADE DE ARTIGOS COMPLETOS PUBLICADOS (X)	QUANTIDADE DE ARTIGOS COMPLETOS PUBLICADOS SOBRE O MEIO FÍSICO EM EMPREENDIMENTOS (Y)	PROPORÇÃO Y/X (%)
9º CBGE/São Pedro - 1999	90	14	16
10º CBGE/Ouro Preto - 2002	155	40	26
11º CBGE/Florianópolis - 2005	184	59	32
12º CBGE/Porto de Galinhas - 2008	192	60	31
Total	875	259	30

As proporções obtidas sugerem que já há uma quantidade relevante de experiências acumuladas na área de geologia de engenharia e meio ambiente, relacionadas a empreendimentos. Essas experiências certamente ensejariam análises detalhadas no sentido de aferir o grau específico de integração entre os diversos estudos geológico-geotécnicos elaborados e sua aplicação plena às distintas fases de um empreendimento específico. Contudo, em análise preliminar, nota-se que a discussão sobre a integração desses estudos é praticamente ausente.

A relevância e o potencial de integração entre os estudos geológico-geotécnicos realizados nas duas frentes de aplicação, em alguns casos de empreendimentos de rodovias, ferrovias, dutovias, minerações, loteamentos e aterros sanitários construídos nos últimos anos e submetidos ao processo de AIA, são exemplificados e discutidos nos trabalhos de Gallardo & Sánchez (2005), Gallardo *et al.* (2008a, 2008b), Campos *et al.* (2008, 2010) e Bitar *et al.* (2010). Nesses trabalhos, apontam-se os estudos geológico-geotécnicos que têm sido salientados no processo de AIA nos casos abordados. Parte dos casos considerados por esses autores é incluída no conjunto de empreendimentos analisados no presente trabalho.

3 RELAÇÕES ENTRE PROJETOS DE ENGENHARIA E ESTUDOS DE AVALIAÇÃO E GESTÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS DE EMPREENDIMENTOS

As perspectivas de empreendimentos futuros no País, ligados a programas continuados de investimentos públicos e privados, desenharam um

cenário com centenas e talvez até alguns milhares de novas obras de infraestrutura a serem submetidas ao processo de AIA nos próximos anos. Exemplo da expressiva dimensão desse cenário, conforme demonstrado em Marreco (2010), encontra-se na listagem de projetos de âmbito federal em andamento, relacionados a abastecimento de água (canais, adutoras, irrigação, barramentos), transporte (rodovias, ferrovias, aeroportos, portos, hidrovias), energia (usinas hidrelétricas, usinas termelétricas, parques eólicos, linhas de transmissão de energia elétrica, unidades de exploração e produção de petróleo e gás natural), dutovias (gasodutos, oleodutos, polidutos), unidades de refino, petroquímica e fertilizantes, unidades da indústria naval (estaleiros, petroleiros e plataformas), entre outros. Ao se somar também os projetos empreendidos em âmbito estadual e municipal, essa dimensão tende a revelar um cenário com uma quantidade de empreendimentos ainda maior.

Simultaneamente, surge a possibilidade de se incrementar a implantação no País do instrumento da Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), com o objetivo de antecipar-se às consequências ambientais negativas devido à criação e implantação de políticas, planos e programas de desenvolvimento, as quais resultam posteriormente na definição de projetos específicos. Com a AAE, busca-se interferir na reformulação e adaptação dessas iniciativas (políticas, planos e programas), em tempo hábil, ou seja, antes que decisões importantes sejam tomadas e venham a dificultar ou impedir eventuais necessidades de mudanças na concepção dos projetos decorrentes. Com a implantação da AAE no País, espera-se facilitar e tornar mais eficiente

a AIA de projetos específicos e, conseqüentemente, adequar os esforços na elaboração e na análise dos EIA/Rimas correspondentes, antecipando e ampliando o potencial de contribuição dos conhecimentos geológico-geotécnicos no planejamento de um empreendimento.

Não obstante, enquanto a integração entre AAE e AIA não se estabelece plenamente, deve-se refletir sobre a efetividade da integração entre os estudos geológico-geotécnicos nos moldes em que ocorre hoje, a partir das etapas iniciais de projeto e dos procedimentos de AIA, analisando a contribuição em relação ao objetivo maior de compatibilizar as ações humanas com a conservação do ambiente. Cabe verificar se há avanços na incorporação do tratamento de aspectos e impactos ambientais aos vários projetos de engenharia efetuados ao longo das fases do empreendimento, tanto no projeto conceitual quanto nos projetos básico e executivo, incluindo a utilização plena do conhecimento geológico-geotécnico desenvolvido. Ou se, ao contrário, aborda-se limitadamente a AIA (e o EIA/Rima correspondente) como mera burocracia a transpor, entendendo este materializado com frequência na maneira pela qual por vezes se considera a inserção nos procedimentos

de licenciamento ambiental, por parte de alguns setores da sociedade, deixando com isso de utilizar plenamente, entre outras decorrências importantes, os conhecimentos geológico-geotécnicos obtidos.

Com o tempo, em vista das práticas desenvolvidas no País, estabeleceu-se e vem se consolidando certo padrão de correspondência temporal e de conteúdo na realização dos projetos de engenharia e dos estudos ambientais necessários ao desenvolvimento de um empreendimento de infraestrutura. Essa correspondência tem sido influenciada em razão da vinculação da AIA ao licenciamento ambiental, este definido por lei como procedimento administrativo por meio do qual o órgão ambiental competente aprova (com base em estudos ambientais) inicialmente a viabilidade e a localização de uma obra que utilizará recursos ambientais e que pode poluir ou causar degradação ambiental, bem como autoriza, na seqüência, sua instalação (ou eventual ampliação) e operação. Tal correspondência pode ser visualizada na **Figura 1**, conforme modelo desenvolvido pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), mais apropriado a obras de infraestrutura.

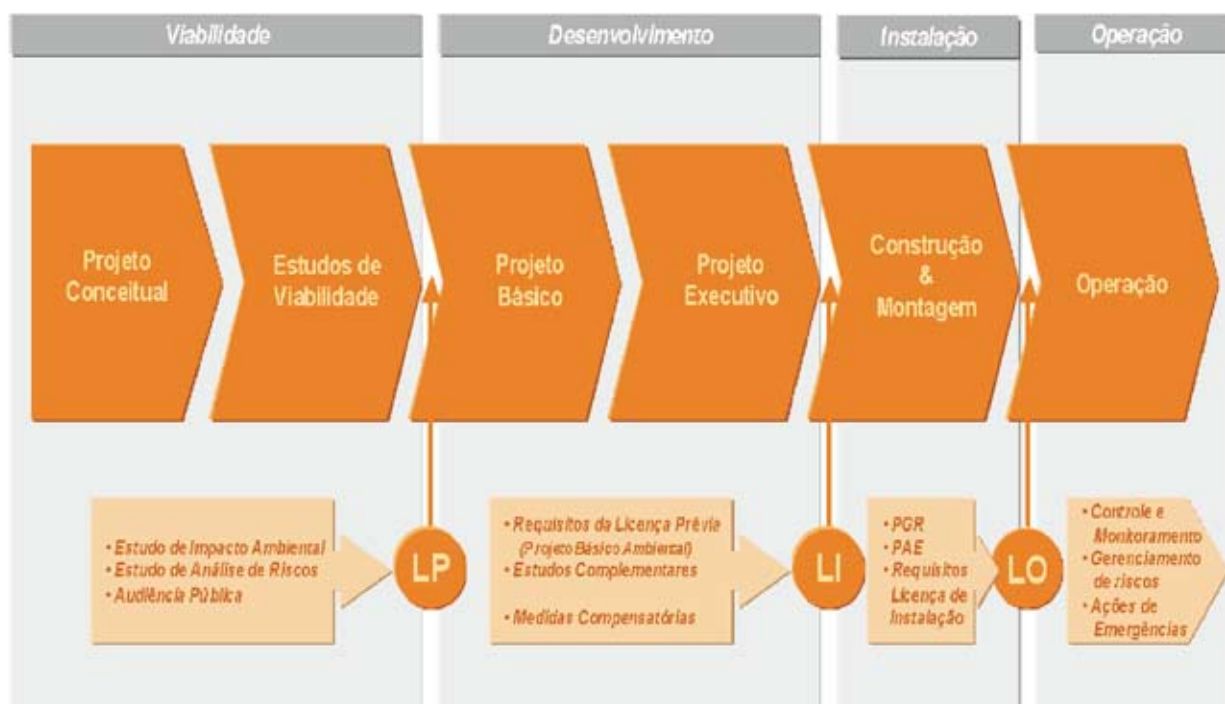


Figura 1 – Relação geral entre as diferentes fases ou etapas de um projeto de engenharia, estudos ambientais e licenciamento ambiental, considerando especialmente o caso de obras de infraestrutura. Obs.: LP- Licença Prévia; LI- Licença de Instalação; LO- Licença de Operação; PGR- Plano de Gerenciamento de Riscos; PAE- Plano de Ação de Emergência. Fonte: IBAMA, 2009.

O projeto conceitual, bem como os denominados estudos de viabilidade (em geral efetuado com caráter predominantemente técnico-econômico), encontram correspondência, no campo dos estudos ambientais, especialmente com o EIA/Rima (ou equivalente, no caso de licenciamentos estaduais, a depender da sistemática adotada em cada unidade da federação). Mediante a análise do EIA/Rima e dos aspectos do projeto conceitual nele embutidos, incluindo eventuais estudos de análise de riscos requeridos conforme o tipo de empreendimento, é que se decidirá pela expedição ou não da Licença Prévia (LP).

Na sequência, o projeto básico e o executivo configuram a fase denominada de “desenvolvimento do projeto” e geralmente se realizam ao mesmo tempo em que se elabora o Projeto Básico Ambiental (PBA) da construção. A elaboração do projeto básico, do projeto executivo e do PBA confluem para a Licença de Instalação (LI). Nessa fase, detalham-se e complementam-se também alguns aspectos do EIA/Rima, esperando-se que estes novos elementos, uma vez aceitos e aprovados pelo órgão ambiental competente e inclusos no PBA, sejam considerados e incorporados também no projeto executivo e nas subsequentes fases de instalação e de operação do empreendimento.

Durante a instalação, ajustes e reformulações em relação ao projeto executivo (que se conver-

te em projeto executivo atualizado) encontram normalmente correspondência apenas em relação ao Plano de Gerenciamento de Riscos (PGR) e ao PAE (Plano de Ação de Emergência), visando-se a Licença de Operação (LO) e suas renovações periódicas. Há distinções de acordo com o tipo específico de empreendimento, mas os procedimentos gerais, com algumas variações e oscilações em seu fluxo, seguem caminhos aproximadamente correspondentes. Ambos, PGR e PAE, têm por vezes sua elaboração iniciada concomitantemente ao EIA/Rima, na forma de Estudo de Análise de Riscos (EAR). No entanto, não raro, em sua aplicação à fase de instalação, esses dois instrumentos (PGR e PAE) acabam permanecendo, durante a vigência de LI, muito próximos ao formato com que foram elaborados para fins de LP, ou seja, enquanto EAR, o que reduz o potencial de gestão adequada dos riscos durante a instalação e sua inclusão dentre os aspectos ambientais mais relevantes.

Os procedimentos gerais aplicáveis ao caso da indústria, conforme fluxograma desenvolvido pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP) e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), aparentemente elaborado a partir do modelo do IBAMA (*op. cit.*), tendo em conta situações como a da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) e ilustrado na **Figura 2**, mostram similaridade em relação ao que tem sido adotado em obras de infraestrutura.

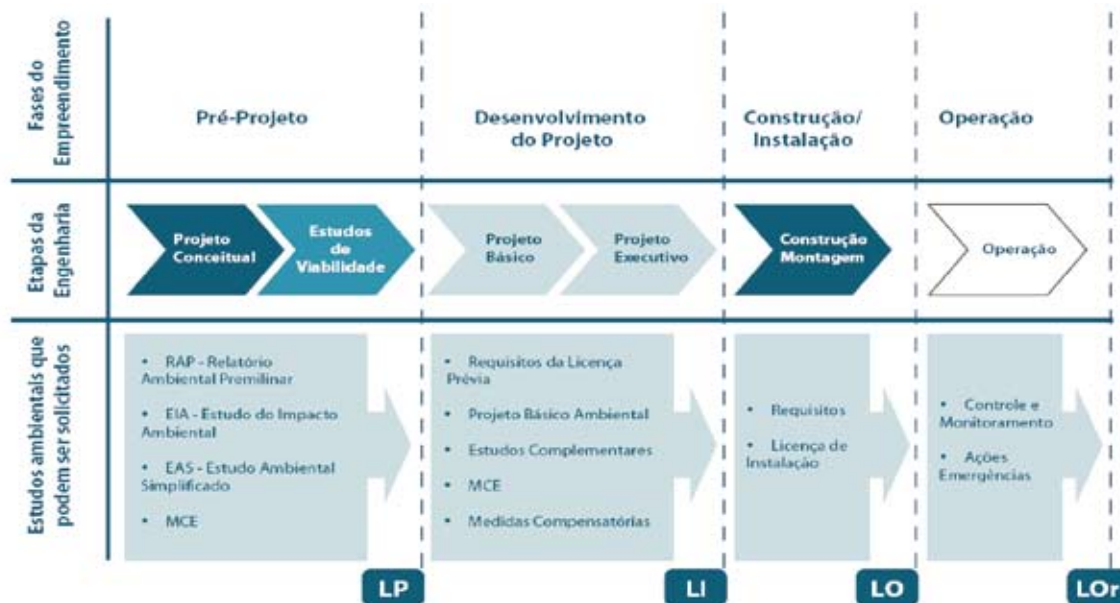


Figura 2 – Relação geral entre os estudos das diferentes fases e etapas na implantação de uma indústria, os estudos ambientais correspondentes e o licenciamento ambiental, aplicável especialmente a casos na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP). Obs.: MCE- Memorial de Caracterização do Empreendimento; LP- Licença Prévia; LI- Licença de Instalação; LO- Licença de Operação; e LOr- Renovação de Licença de Operação. Fonte: FIESP & CETESB (2011).

Com alguma variação terminológica em relação às fases e estudos requeridos, especificam-se, no caso da indústria, alguns instrumentos próprios, com destaque ao Memorial de Caracterização do Empreendimento (MCE), que pode ser requerido para fins de LP e/ou LI e no qual se descrevem as etapas do processo produtivo, as fontes de poluição e o tratamento dos poluentes correspondentes, entre outros tópicos.

Nas duas situações, obras de infraestrutura e indústrias, salvo alguns poucos casos, nos quais se encontra um novo tipo de estudo, denominado Plano Ambiental da Construção (PAC) ou similar, ressalta-se a ausência de uma ferramenta consolidada na forma de um possível projeto executivo ambiental (como de um eventual PEA- Projeto Executivo Ambiental), para a fase de instalação. Ou seja, um instrumento correspondente ao projeto executivo de engenharia, mediante o qual, com detalhamento equivalente, conduzir-se-ia de maneira integrada o conjunto de medidas ambientais a executar durante a construção de empreendimentos.

Essa é uma demanda já aventada por muitos profissionais atuantes na área ambiental hoje no País, notada tanto no caso de obras de infraestrutura quanto em indústrias. Isso não significa que o grau de integração hoje atingido nas relações entre EIA/RIMA e projeto conceitual ou anteprojeto e, da mesma forma, entre PBA e projeto básico de engenharia estejam num nível elevado e não exijam cuidados. Ao contrário, constata-se que frequentemente não se dá a mesma importância a ambos (projetos de engenharia e estudos ambientais), reflexo de uma maior atenção ainda hoje atribuída aos projetos de engenharia dirigidos para a construção. A consecução em algum instrumento equivalente seria uma forma de aglutinar uma série de estudos que têm sido requeridos e que geralmente se encontram dispersos. Exemplos disso estão no PGR e PAE, entre outros instrumentos, os quais geralmente compreendem ações que visam reduzir a magnitude de alguns dos impactos ambientais identificados, previstos e avaliados no processo de AIA, para fins de obtenção de LP. Formulados e executados isoladamente, por vezes tendem a dificultar as possibilidades de integração às demais medidas ambientais executadas durante a fase de instalação. Por outro lado, ao

se criar um instrumento de destaque, como um eventual PEA, pode-se afastar ainda mais as possibilidades de integração, já tão limitadas durante a construção.

Na operação de um empreendimento, realizada com base em plano de ação operacional ou equivalente, as relações mais frequentes ocorrem com as atividades de meio ambiente contidas em Plano de Gestão Ambiental (PGA) ou Sistema de Gestão Ambiental (SGA), este último em alguns casos apoiado em normalização técnica nacional e internacional. Há casos em que se adota o PBA da operação. Nesses instrumentos, contemplam-se basicamente as atividades de controle e gerenciamento ambiental e as ações relativas a riscos e emergências, conectadas a processos produtivos inerentes ao funcionamento do empreendimento.

Portanto, embora ainda com alguns problemas de sincronicidade, torna-se cada vez mais clara a associação entre os estudos e projetos de engenharia e os instrumentos de avaliação e gestão de impactos ambientais. Isso não apenas em termos temporais em face do licenciamento ambiental, mas também no que se refere ao conteúdo tecnológico e gerencial desenvolvido em cada um dos dois conjuntos.

4 INTEGRAÇÃO DOS ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS NOS CASOS ANALISADOS

Os levantamentos e análises de caráter geológico-geotécnico aplicados a empreendimentos, considerando especialmente obras de infraestrutura e de indústrias de base, podem ser agrupados de acordo com suas finalidades básicas. Resumidamente, distinguem-se os estudos geológico-geotécnicos para fins de projetos de engenharia e para fins de avaliação e gestão de impactos ambientais.

4.1 Estudos geológico-geotécnicos para fins de projetos de engenharia

De uma maneira geral, os estudos geológico-geotécnicos para fins de projetos de engenharia, envolvem a caracterização e o conhecimento dos maciços rochosos e terrosos em que serão instaladas as obras. Subsidiando especialmente a execução de escavações e fundações, visam contribuir para que aqueles projetos sejam elaborados e executados

dentro de soluções técnicas e práticas que garantam a segurança das obras e contribuam para que não ocorram aspectos inesperados do meio físico, os quais possam acarretar maiores custos e ameaçar ou afetar as condições ambientais internas e externas aos empreendimentos.

Identificar os componentes e a distribuição espacial dos distintos materiais existentes no solo e no subsolo, caracterizando-os quanto a suas constituições, propriedades e comportamentos prováveis, incluindo a análise do estado de tensões nos maciços, os fluxos hidráulicos presentes e outros aspectos geodinâmicos, constitui fundamento para que os empreendimentos sejam executados de modo adequado. A elaboração de modelos geológico-geotécnicos digitais e georreferenciados, crescentemente efetuados com emprego de ferramentas que propiciem a compreensão geral e uma visualização tridimensional da variabilidade espacial existente nos maciços naturais, também se mostra fundamental aos projetos de engenharia, tornando-se cada vez mais importante na facilitação da comunicação entre empreendedores e projetistas, subsidiando as discussões e a tomada de decisão em prol de obras seguras, econômicas e tecnicamente adequadas e, ainda, ao mesmo tempo, ambientalmente viáveis.

Não obstante tal potencialidade, na maior parte dos casos analisados, esses estudos têm sido conduzidos de modo pouco relacionado aos de meio ambiente. A caracterização dos maciços, independentemente de sua qualidade e suficiência para fins de projeto básico e projeto executivo, pouco é utilizada nos estudos ambientais. Tem sido comum, inclusive, a realização destes estudos por equipes projetistas que, após a fase de licenciamento ambiental prévio, ou seja, após a obtenção da LP praticamente não mais se relacionam com as equipes responsáveis pelos estudos ambientais subsequentes. Denota-se evidente lacuna entre o uso do conhecimento geológico-geotécnico produzido neste contexto em relação ao que se desenvolve no âmbito dos levantamentos e análises do meio físico para fins ambientais.

4.2 Estudos geológico-geotécnicos para fins de avaliação e gestão de impactos ambientais

Por sua vez, os estudos geológico-geotécnicos efetuados no âmbito dos estudos ambientais em

AIA, englobados então nos estudos do meio físico ou estudos geoambientais, também se norteiam pela caracterização e conhecimento da composição e dinâmica dos maciços rochosos e terrosos em que serão instaladas as obras. Isso geralmente se efetua em escala territorial mais ampla e visando contribuir especialmente na identificação, previsão, avaliação e mitigação de efeitos negativos de ordem física, biótica e sociocultural, devido a aspectos ambientais dos empreendimentos que interagem com o meio físico, como aqueles que decorrem de métodos construtivos adotados, antes que decisões importantes sejam tomadas. Não obstante haver essa predominância, por vezes, em razão de peculiaridades na combinação entre o tipo de empreendimento e o ambiente em que se localiza, os estudos geológico-geotécnicos têm sido frequentemente requeridos e ganham relevância também em escala de semi-detulhe e de detalhe, quando comumente são denominados de investigações geológico-geotécnicas ou geoambientais.

No caso de obras de infraestrutura lineares, por exemplo, como rodovias, ferrovias e dutovias (gasodutos, oleodutos, alcooldutos, polidutos), estas costumam interceptar uma série de cursos d'água ao longo do traçado, potencializando a amplificação de impactos ambientais negativos em razão de efeitos a ecossistemas e a alterações adversas na qualidade dos recursos hídricos em grandes extensões territoriais. Entre outros aspectos, as movimentações de terra, associadas aos métodos construtivos comumente empregados na instalação dessas obras, induzem a deflagração ou aceleração de processos do meio físico. Entre esses processos, salientam-se os erosivos e deposicionais, que envolvem a remoção e o carreamento de sedimentos por meio das águas pluviais e os consequentes assoreamento e alteração nos níveis de cor e turbidez das águas situadas a jusante, com impactos a ecossistemas e ao uso dos recursos hídricos em áreas que muitas vezes extrapolam as próprias áreas de influência direta ou indireta definidas em EIA/Rima.

Com isso, em vista de múltiplos requisitos ambientais (legais, normativos e sociais), incrementam-se progressivamente as demandas por um bom conhecimento prévio das suscetibilidades associadas ao meio físico em grandes regiões, bem como cuidados especiais durante a construção e

operação de obras, visando evitar que os impactos negativos ocorram ou que, ao menos, quando inevitáveis, consiga-se mitigá-los de modo eficaz. Os grandes volumes de terraplenagem geralmente previstos na construção de empreendimentos lineares e o ambiente a ser percorrido pela obra têm requerido programas específicos para o meio físico, como o de controle de erosão e assoreamento. Constata-se que as consequências da erosão compõem, desde os estudos ambientais prévios, o rol dos principais impactos ambientais negativos esperados em empreendimentos de infraestrutura. Contudo, esses estudos acabam também sendo efetuados de modo distante em relação aos projetos de engenharia, o que se observa, por exemplo, na formulação de sistemas e dispositivos de drenagem e em outros temas correlatos.

Há outros aspectos, associados aos demais processos do meio físico e referentes a tipos distintos de obras, os quais também têm sido destacados. Exemplo de outro processo está na questão da sismicidade induzida e nas vibrações no solo, em decorrência de escavações em maciços por meio de perfuração e uso de explosivos. Em obras com abrangência mais localizada ou pontual, como minas e loteamentos habitacionais e industriais, ocorre, da mesma forma, a terraplenagem e a geração de material excedente, sendo, também, a erosão um dos principais problemas tratados, mas em uma escala mais restrita. No caso específico de minas, que constituem empreendimentos onde há constante movimentação de solo e rocha durante toda sua vida útil, o controle principal consiste na instalação de estruturas que evitam o aporte de sedimentos para cursos d'água, além da área do empreendimento, muitas vezes sendo necessária apenas uma barragem e, ainda, a estabilidade de taludes em relação à segurança do ambiente interno e externo à obra. No caso de aterros sanitários e industriais, ressalta-se a poluição e a contaminação de aquíferos entre as situações em que se constata que os estudos ambientais se mostram potencialmente importantes também aos projetos de engenharia.

4.3 A necessária, mas ainda incipiente integração

Portanto, denota-se que os conhecimentos geológico-geotécnicos adquiridos ou gerados no

contexto dos projetos de engenharia se mostram relevantes também para fins de avaliação e gestão de impactos ambientais e vice-versa. Contudo, tem sido possível observar que os estudos do meio físico realizados nas duas frentes de aplicação se desenvolvem predominantemente de forma distanciada, na maior parte das vezes com profissionais e equipes técnicas distintas. Algumas peculiaridades e demandas específicas geralmente colaboram para esse distanciamento, mas há situações em que a simples presença de profissionais de geologia de engenharia pertencentes às equipes de meio ambiente, em contato com as equipes de projeto de engenharia, contribui para melhorar um pouco a integração e a consequente utilização plena dos conhecimentos obtidos. E o mesmo se poderia conseguir no sentido inverso, ou seja, com profissionais de projetos de engenharia presentes nas equipes responsáveis pelos estudos ambientais.

De certo modo, as demandas associadas a requisitos próprios de cada contexto, como a questão do objeto e da escala dos produtos cartográficos gerados, contribui um pouco para esse distanciamento. Enquanto os estudos de projeto de engenharia tendem a se voltar mais para o conhecimento do meio físico no subsolo e em escala de obra, os estudos geológico-geotécnicos para fins de viabilidade ambiental se direcionam geralmente para o entendimento mais abrangente da geodinâmica de superfície, onde, em princípio, eventuais consequências negativas de um dado empreendimento tendem a ser evidenciadas especialmente sob o ponto de vista socioambiental e de uso e ocupação do solo. Vale salientar que isso se configura apenas como aspecto comumente verificado, não se constituindo como regra. Há casos em que os estudos realizados mostram exatamente o contrário, fruto de demandas específicas. Em relação à escala, por exemplo, esta se apresenta como um diferencial apenas em alguns casos, havendo situações em que os impactos se distinguem mais significativamente em nível de detalhe, requerendo investigações específicas adicionais, como ocorre em relação a interferências nas águas subterrâneas em casos de mineração, aterros sanitários e loteamentos.

A situação onde se nota maior aproximação entre os estudos geológico-geotécnicos realizados nas duas frentes de aplicação está nos casos que envolvem escavações ou obras subterrâneas,

como túneis rodoviários ou ferroviários, para os quais o conhecimento desenvolvido em cada frente de aplicação acaba sendo frequentemente útil também à outra. Depreende-se que, nos empreendimentos com intervenções relevantes no solo e nas águas subterrâneas, o conhecimento em sub-superfície se mostra tão importante quanto o que se refere à superfície, mostrando-se relevante nas duas frentes de aplicação consideradas.

A partir dos casos considerados e da análise de cada um deles em termos de uma classificação

quanto a um dos três graus relativos adotados (alto, médio e baixo), em relação à integração dos estudos geológico-geotécnicos realizados para fins de projetos de engenharia e para fins de avaliação e gestão de impactos ambientais, obteve-se a síntese apresentada na **Tabela 2**. Na comparação com as Figuras 1 e 2, as fases do empreendimento, bem como os projetos e estudos correlatos, reúnem as denominações contidas nessas duas figuras, abrangendo assim tanto obras de infraestrutura quanto indústrias em geral.

Tabela 2 - Grau relativo de integração dos estudos geológico-geotécnicos realizados para fins de projetos de engenharia e de avaliação e gestão de impactos ambientais, conforme predominância geral observada em relação ao conjunto dos casos analisados, de acordo com as fases de um empreendimento propostas em IBAMA (2009) e FIESP & CETESB (2011).

ESTUDOS PARA FINS DE PROJETOS DE ENGENHARIA	ESTUDOS PARA FINS DE AVALIAÇÃO E GESTÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS	INSTRUMENTOS DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL		INSTRUMENTOS DE GESTÃO AMBIENTAL	
		EIA/Rima	PBA da Construção	PAC ou PEA	PGA, SGA ou PBA da Operação
Fase do empreendimento, conforme IBAMA (2009) e FIESP & CETESB (2011)	Projetos e estudos de engenharia	EIA/Rima	PBA da Construção	PAC ou PEA	PGA, SGA ou PBA da Operação
Viabilidade ou pré-projeto	Anteprojeto ou projeto conceitual e estudos de viabilidade	Alto	Médio	NO	NO
Desenvolvimento do projeto	Projeto básico	Médio	Médio	Baixo	Baixo
	Projeto executivo	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
Instalação, construção e/ou montagem	Projeto executivo atualizado	Baixo	Baixo	Médio	Baixo
Operação	Plano funcional ou projeto operacional	Baixo	NO	NO	Médio

Obs.: EIA/Rima- Estudo de Impacto Ambiental/Relatório de Impacto Ambiental; PBA- Plano Básico Ambiental; PAC- Plano Ambiental da Construção; PEA- Projeto Executivo Ambiental; PGA- Plano de Gestão Ambiental; SGA- Sistema de Gestão Ambiental; e NO- Não Observado.

Essas observações sugerem apontar que, em face do grau relativo de integração observado nos casos analisados, a integração entre os conhecimentos do meio físico aplicados à engenharia e ao meio ambiente se mostra maior na fase de viabilidade ou pré-projeto do empreendimento, especialmente na interface entre projeto conceitual e EIA/Rima. Decorre esperar que as chances de sucesso do projeto, em termos de viabilidade ambiental, tende a ser maior quando o processo de concepção técnica do projeto engloba as variáveis ambientais, estendendo-se a todo o espectro da avaliação ambiental relacionada aos aspectos

geológico-geotécnicos. A contramão disso é exatamente o caso da realização do EIA/Rima após o projeto estar praticamente concebido em suas diretrizes técnicas essenciais. Procedimento este ainda frequente e cujos resultados se mostram flagrantemente prejudiciais tanto para a demonstração da viabilidade ambiental do projeto quanto para a condução do licenciamento ambiental, afetando a celeridade na análise por parte dos órgãos ambientais, a aceitação pública da obra e a obtenção da LP. No restante, envolvendo as fases de desenvolvimento do projeto, instalação e operação, incluindo as transições entre estas, evidencia-se

uma aproximação variando entre média e baixa, o que denota uma integração relativamente menor.

No geral, pode-se considerar que se carece de uma cultura ou prática desenvolvida no sentido de uma maior cooperação entre as equipes responsáveis pelos estudos geológico-geotécnicos realizados nas duas frentes de aplicação, bem como de profissionais que facilitem esse processo e utilizem linguagem adequada e favorável à percepção das relações existentes e dos benefícios advindos de uma integração efetiva. Nas situações em que tal cooperação se mostra mais presente, notam-se maior economia de recursos e expressiva redução de tempo com a análise ambiental dos dados e informações geológico-geotécnicas, elementos estes comumente presentes entre os focos do empreendedor e da equipe projetista.

A participação de profissionais com trânsito nas duas frentes de aplicação e o uso do conhecimento do meio físico na fase mais avançada de viabilidade, como se vê em relação ao projeto básico, também se mostra aquém de sua potencialidade. Quanto à fase de instalação propriamente dita, deve-se ressaltar o exemplo da prevalência de alguns procedimentos adotados de modo generalizado durante a construção, muitas vezes desconsiderando distintas suscetibilidades do ambiente físico, evidenciando baixa integração com os estudos geoambientais realizados. Dentre esses procedimentos, cita-se, apenas como exemplo, em relação a processos erosivos e depocionais, a execução extensiva de terraplenagem e a consequente exposição prolongada e simultânea de amplas áreas de solos, em cortes e aterros, possivelmente em obediência única a diretrizes de produção e com pouca sintonia em relação à gestão ambiental e ao controle de processos do meio físico a ela associado. Situações como essa ilustram o distanciamento entre engenharia e meio ambiente na fase de instalação. A generalização de procedimentos parece estar sempre influenciada por cronogramas e custos, mas deve-se também à ausência de uma cooperação entre as equipes em grau mais elevado. Na prática, é como dizer que a equipe de engenharia “faz a obra” e a equipe de meio ambiente “corre atrás”. Haveria que se buscar, nessa relação, maior equilíbrio e sincronia entre as atividades de construção e as de gestão ambiental, em um regime no qual não se possibilitasse acarretar,

desnecessariamente e por período muito longo, extensas áreas de solo exposto.

Esses e outros aspectos chamam a atenção para a necessidade de uma crescente cooperação entre as atividades de construção e as de gestão ambiental. Em algumas situações, evidencia-se a defasagem temporal entre ambas, com a primeira por vezes se distanciando muito à frente da segunda, o que resulta em baixa aplicação dos conhecimentos acerca do meio físico. Fundamentando-se nos princípios do desenvolvimento sustentável, hoje mundialmente propugnados, considera-se que ambas têm a mesma importância e, se assim abordado, devem evoluir de maneira mais sincronizada e integrada. Esse talvez seja um dos maiores desafios a equacionar em obras. Muitos gestores aparentemente ainda não consideram que a internalização dos aspectos ambientais se mostra cada vez mais coincidente com os aspectos de engenharia. Essa abordagem se expressa também na aceção usual do termo “geologia de engenharia”, muitas vezes entendido como passível de aplicação exclusiva ao desenvolvimento do projeto de construção da obra em si, e seus aspectos de interesse mais imediato, como custos e prazos, como se fosse possível executá-la sem interagir com o ambiente geológico-geotécnico.

5 CONCLUSÕES

Em face das considerações efetuadas e dos estudos de caso analisados, os resultados obtidos com a realização do presente trabalho sugerem concluir que:

- a) Em empreendimentos de infraestrutura e da indústria de base, distinguem-se duas frentes principais de aplicação do conhecimento geológico-geotécnico: os estudos geológico-geotécnicos para fins de projetos de engenharia; e os estudos geológico-geotécnicos para fins de avaliação e gestão dos impactos ambientais. Estes últimos, por vezes encontram-se simplificados sob a denominação de estudos do meio físico ou estudos geoambientais, sobretudo nas etapas iniciais do processo de AIA, mas invariavelmente encerram aspectos de natureza predominantemente geológico-geotécnica;

- b) Embora com enfoques, abordagens e ferramentas distintos, tanto os estudos geológico-geotécnicos em projetos de engenharia quanto os estudos geoambientais contemplam essencialmente o mesmo objeto de análise, ou seja, a interação obra-meio físico. Essa constatação sugere a importância de que haja uma integração entre estudos geológico-geotécnicos desenvolvidos nas duas frentes de aplicação;
- c) Os estudos geológico-geotécnicos realizados para fins de projetos de engenharia, quando utilizados também em AIA, tendem a propiciar a identificação de aspectos e impactos ambientais importantes. Da mesma forma, conhecimentos geológico-geotécnicos adquiridos ou gerados durante o processo de AIA, incluindo a gestão ambiental a ser realizada nas fases de instalação e operação de empreendimentos, têm se mostrado úteis também aos projetos de engenharia. Todavia, em vista do potencial de integração identificado, observa-se que, ante as práticas atuais, muito ainda se pode avançar. Há sinais de cooperação entre as equipes técnicas, bem como de integração entre os estudos geológico-geotécnicos aplicados a projetos de engenharia e à avaliação e gestão de impactos ambientais, mas predomina ainda certo distanciamento, situação esta possivelmente influenciada por demandas específicas requeridas de maneira isolada pelo empreendedor em cada uma das frentes de aplicação;
- d) A integração propiciada pela correspondência temporal e de conteúdo na realização dos projetos de engenharia e dos estudos geoambientais necessários a um empreendimento, em razão da vinculação da AIA ao licenciamento ambiental, tem sido observada, porém ainda em grau muito aquém do potencial. A constatação de alguns empreendimentos em que o grau de integração se mostra relativamente mais elevado indica que situações melhores podem ser obtidas em um número maior de casos; e
- e) Os conhecimentos geológico-geotécnicos desenvolvidos na fase de viabilidade e de desenvolvimento de projeto de uma grande obra de engenharia deixam muitas vezes de ser

plenamente aproveitados durante as fases de instalação e operação de empreendimentos, fato salientado pela frequência de grau de integração considerado baixo e médio nessas fases, o que atenta contra a efetividade das sistemáticas de planejamento de obras e de avaliação de impactos ambientais.

Ressente-se, enfim, não apenas de uma maior sincronia entre as atividades atinentes a cada contexto, mas também de ações e atitudes que favoreçam incrementar a aproximação entre conteúdos tecnológicos. Frequentemente, isso parece depender mais da percepção de profissionais que conduzem os projetos de engenharia, no sentido de fomentar a efetiva integração com as equipes de meio ambiente.

Estimular a cooperação entre diferentes perspectivas acerca do mesmo objeto (ou seja, a interação obra-meio físico), o que se pode fazer aproximando mais os profissionais de geologia e/ou geotecnia envolvidos nas duas frentes de aplicação, bem como aumentar o intercâmbio de conhecimentos adquiridos e gerados nas fases de viabilidade, desenvolvimento, instalação e operação de um empreendimento, constituem desafios atuais a enfrentar.

Agradecimentos

Registram-se os agradecimentos: às empresas e agências governamentais envolvidas nos estudos de caso analisados, pelas oportunidades oferecidas nas atividades de avaliação e de acompanhamento geoambiental da instalação e operação de empreendimentos; aos profissionais que atuaram na construção dessas obras e que, de uma maneira ou outra, interagiram e contribuíram nos trabalhos realizados; e aos colegas Nivaldo Paulon, André Luiz Ferreira e Wellington Gomes dos Santos, pelo apoio na pesquisa e na preparação das ilustrações.

REFERÊNCIAS

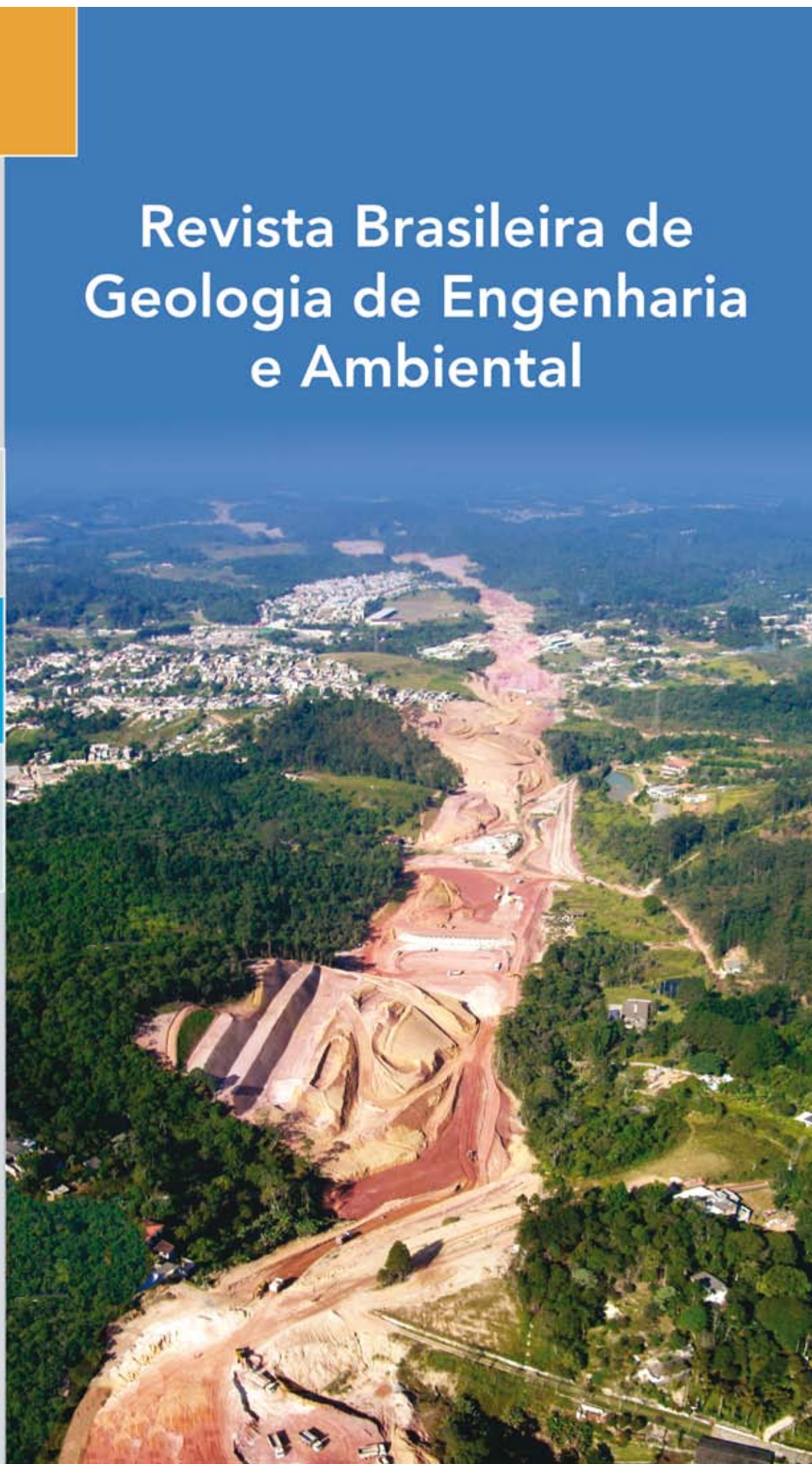
Anderson, F.J. 2006. A highlight of environmental and engineering geology in Fargo, North Dakota, USA. *Environmental Geology*, 49:1034-1042.

- Bell, F. G. 2008. *Basic Environmental and Engineering Geology*. Whittles Publishing, Caithness, Scotland, 342 pp.
- Bitar, O.Y.; Campos, S.J.A.M.; Gallardo, A.L.C.F.; Cavallieri, C.P.; Alvarenga, M.C.; Paulon, N.; Braga, T.O.; Tiezzi, R.O.; Gama Junior, G.F.C.; Gomes, C.L.R.; Ferreira, A.L. 2010. Impactos geoambientais em obras viárias: avanços e desafios na construção do rodanel metropolitano de São Paulo, Brasil. In: REDE/IAIA, Conferência da Rede de Língua Portuguesa de Avaliação de Impactos: transportes, desenvolvimento urbano e avaliação de impactos, 1, Lisboa, *Atas ...* Disponível em <http://www.redeimpactos.org/upload/atas.pdf>, p.145-157. Acessado em 30 ago 2010.
- Campos, S. J. A. M.; Bitar, O. Y.; Gama Júnior, G. F. C.; Gallardo, A. L. C. F.; Paulon, N. 2008. Integração de alternativas tecnológicas para proteção de recursos hídricos na fase de construção de obras rodoviárias: o caso do Trecho Sul do Rodanel Metropolitano de São Paulo. In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, Porto de Galinhas, *Anais ...*, v.1, CD-Rom.
- Campos, S.J.A.M.; Gallardo, A.L.C.F.; Bitar, O.Y.; Gama Júnior., G.F.C.; Cavallieri, C.P.; Alvarenga, M.C.; Paulon, N.; Gomes, C.L.R.; Ferreira, A.L.; Soares, E.B. 2010. Technological alternatives for erosion control in road construction. In: IAEG, Congress Of The International Association For Engineering Geology And The Environment, 11, Auckland, New Zeland. *Proceedings ...* Boca Raton: CRC Press, CD-Rom.
- Federação das Indústrias do Estado de São Paulo- FIESP; Companhia Ambiental do Estado de São Paulo- CETESB. 2010. Licenciamento Ambiental da Atividade Industrial na Região Metropolitana de São Paulo. Disponível em: <http://www.fiesp.com.br/publicacoes/meio-ambiente.aspx>. Acessado em 29 abr 2011.
- Gallardo, A. L. C. F.; Campos, S. J. A. M.; Bitar, O. Y.; Azevedo, S. G. 2008a. A relevância dos estudos hidrogeológicos e geológico-geotécnicos desde as fases iniciais do processo de avaliação de impacto ambiental: considerações a partir de casos de mineração. In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, Porto de Galinhas, *Anais ...*, v.1, CD-Rom.
- Gallardo, A. L. C. F.; Campos, S. J. A. M.; Gama Júnior, G.F.C.; Azevedo, S. G. 2008b. Discussão de aspectos hidrológicos, hidráulicos e hidrogeológicos na implantação de loteamentos: recomendações para atenuação dos impactos ambientais resultantes. In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 12, Porto de Galinhas, *Anais ...*, v.1, CD-Rom.
- Gallardo, A. L. C. F.; Sanchez, L. E. 2005. Atenuação de impactos ambientais associados a grandes obras de engenharia - do projeto à operação - pista descendente da rodovia dos Imigrantes. In: ABGE, Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, Florianópolis, *Anais ...*, CD-Rom.
- Grebici, K. 2007. La maturité de l'information et le processus de conception collaborative. These pour obtenir le grade de Docteur de L'Institut National Polytechnique de Grenoble, Spécialité Génie Industriel, 393p.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA. 2009. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/>. Acessado em 26.10.2009.
- Marreco, M. 2010. Avaliação de Impactos no Brasil: perspectivas futuras. In: REDE/IAIA, Conferência da Rede de Língua Portuguesa de Avaliação de Impactos: Transportes, Desenvolvimento Urbano e Avaliação de Impactos, 1, Lisboa, *Atas ...* Disponível em: <http://rcpt.yousendit.com/899289135/70e63f48eab8fb8b18cc03119c5ec8f4>. Acessado em 28 jun 2010.
- Sánchez, L. E. 2006. *Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos*. Oficina de Textos, São Paulo, 496 pp.
- Sánchez, L. E., Hacking, T. 2002. An approach to linking environmental impact assessment and environmental management systems. *Impact Assessment and Project Appraisal*, Guildford, v. 20 (1), p.25-38.



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

GEOLOGIA APLICADA A BARRAGENS: UMA REVISÃO DE PROCEDIMENTOS

LUIZ FERREIRA VAZ

THEMAG Engenharia – São Paulo/SP - Brasil
Professor visitante – IG/UNICAMP – Campinas/SP - Brasil
vaz@themag.com.br

MAGALI DUBAS GURGUEIRA

THEMAG Engenharia – São Paulo/SP - Brasil
magali@themag.com.br

TALITA DE OLIVEIRA MUZZI

THEMAG Engenharia – São Paulo/SP - Brasil
talita@themag.com.br

RESUMO ABSTRACT

A alteração do marco regulatório das concessões para aproveitamentos hidroelétricos, depois de 1995, levou ao encurtamento dos prazos para o projeto e a construção de barragens para usinas hidroelétricas, afetando a aplicação da Geologia nesses empreendimentos. Simultaneamente, a maior parte da exploração do potencial hidroelétrico deslocou-se para a região amazônica, enfrentando condições geológicas inéditas ou pouco conhecidas. Por outro lado, novos métodos de investigação e a evolução dos existentes, forneceram ferramentas atualizadas para o estudo e avaliação das condições geológicas. Este artigo oferece uma revisão de procedimentos da Geologia de Engenharia utilizados nos estudos de aproveitamentos hidroelétricos face aos novos paradigmas. São comentadas as implicações do modelo atual de concessão nos trabalhos de investigação geológico-geotécnica e a utilização de novos métodos de prospecção, como a perfuração ótica, incluindo critérios para a interpretação dos resultados. A seleção de eixos de barramento nos estudos de inventário e outros é discutida, enfatizando a interação entre as condições geológicas e o arranjo geral da obra na escolha do sítio. É também discutida a elaboração de planos de investigação para o estudo de aproveitamentos hidroelétricos, fornecendo critérios para a quantificação de sondagens. São ainda comentadas, para o entendimento dos riscos geológicos, a incerteza e os imprevistos. Um exemplo de avaliação de riscos geológicos é apresentado, discutindo-se os principais condicionantes e os critérios básicos para a elaboração da avaliação.

Palavras-chave: Barragem, investigação e risco geológico

GEOLOGY APPLIED TO DAMS: A REVIEW OF PROCEDURES

The change in the regulatory framework of concessions for hydroelectric developments in Brazil, after 1995, led to the shortening of deadlines for the design and construction of dams for hydroelectric plants, affecting the application of geology in these projects. Simultaneously, most of the exploitation of hydropower potential has shifted to the Amazon region, facing unpublished or little known geological conditions. On the other hand, new investigation methods and further development of the existing ones, provide updated tools for the study and evaluation of geological conditions. This paper offers a review of procedures used in engineering geology studies of hydroelectric developments in relation to new paradigms. The implications of the current model of concessions on geological and geotechnical investigations and the use of new exploration methods such as optical profiling, including criteria for the interpretation of results are discussed. The selection of dam axis at inventory stage and other studies is discussed, highlighting the interaction between geological conditions and the layout on the selection of the dam axis. The development of investigation plans for the study of hydroelectric developments is also discussed, providing criteria for quantifying the drilling. The understanding of geological risks, uncertainty and the unpredicted features are also commented. An example of geological risk assessment is presented, discussing the main constraints and the basic criteria for the preparation of the assessment.

Keywords: Dam, investigation and geological risk

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, os conhecimentos geológicos passaram a ser aplicados à construção de barragens em princípios da década de 50 do século passado. Entretanto, sua utilização sistemática nos projetos de barragens somente veio a se tornar corriqueira depois de meados da década de 60, com os trabalhos do Comitê de Estudos Energéticos da Região Centro Sul - CORESP. L

O Comitê, como ficou conhecido, foi a contrapartida brasileira a um financiamento da ONU para o levantamento do potencial hidroelétrico da região centro-sul. Para orientar e conduzir o estudo foi contratado um consórcio de empresas americanas e canadenses, denominado CANAMBRA. Este consórcio contava com a participação das principais empresas daqueles países no projeto de usinas hidroelétricas e, portanto, introduziu a tecnologia de ponta então disponível, não só em geologia, mas também em hidrologia e hidráulica, cartografia, estudos energéticos e outras áreas (Vaz, 1998).

No tocante aos estudos geológicos para os estudos de viabilidade, além do mapeamento geológico detalhado, eram feitas sondagens ao longo do eixo, não somente a percussão e rotativas, mas

também sondagens sísmicas de refração, além de estudos sobre a disponibilidade de materiais naturais de construção. Mais importante do que isso, os eixos dos aproveitamentos eram escolhidos a partir de suas características geológicas e topográficas, tendo em vista o atendimento do arranjo das obras. Pela primeira vez, os conhecimentos geológicos foram utilizados na escolha dos eixos, até então feita somente com base nos dados topográficos.

O Comitê, por sua vez, contava com técnicos cedidos pelas empresas estatais de energia elétricas então existentes. No Estado de São Paulo essas estatais dividiam os rios principais, a CHERP (rios Pardo e Tietê), a CELUSA (rio Paraná) e a USELPA (rio Paranapanema). Essa participação dos técnicos das estatais propiciou a rápida absorção da tecnologia de projeto de usinas hidroelétricas, levando à contratação de geólogos por todas elas. Em 1967, as empresas de cada bacia hidrográfica foram unificadas na Companhia Energética do Estado de São Paulo - CESP, a qual contratou o Instituto de Pesquisa Tecnológicas - IPT para conduzir os estudos geológicos de suas barragens (Figura 1). Processo semelhante ocorreu em Minas Gerais, porém, centralizado nas Centrais Elétricas de Minas Gerais - CEMIG.



Figura 1 - Barragem de Ilha Solteira, concluída pela CESP em 1978. Fonte: Exame.com (2011).

Em 1968, o IPT estava presente, com equipes de campo, em todas as barragens da CESP em construção (Ilha Solteira, Promissão e Capivara) além de prestar assistência a outras barragens em fase final de construção (Paraitinga, Jupuí e outras). Essas equipes necessitavam de critérios para seus trabalhos tendo em vista homogeneizar suas atividades, já que trabalhavam para o mesmo cliente. Foram então elaboradas, numa reunião em meados de 1968, na Usina de Promissão, com a participação dos geólogos Fernando Pires de Camargo, Luiz Ferreira Vaz e João Alberto Nery de Oliveira, as especificações técnicas para a execução de sondagens e os procedimentos para a classificação de sondagens, definindo-se os graus de alteração e de fraturamento dos testemunhos de sondagem. Esses procedimentos vinham sendo utilizados pelo IPT nos estudos para a Barragem de Ponte Nova, desde 1966, porém foram unificados e aprovados para uso geral pelo IPT na reunião de Promissão.

Dessa forma, ao final da década de 60, uma tecnologia de investigação geológica, adaptada às condições brasileiras, estava ficando disponível. Daí para frente, diversos outros métodos e procedimentos, tanto de campo como de laboratório foram desenvolvidos, principalmente pelo IPT e aplicados ao projeto e construção de barragens, criando uma tecnologia brasileira de grandes barragens em regiões tropicais.

Dentre esses diversos passos alguns foram particularmente importantes. O primeiro foi o desenvolvimento, pelo IPT, da tecnologia pioneira de estudos de alterabilidade de basaltos, depois estendida para outras rochas, incluindo os estudos sobre a reação álcali-agregado, com a proposição de métodos de análise e parâmetros de utilização (Ruiz, 1963). O segundo foi a introdução, pelo consultor Klaus John, do sistema de classificação de maciços rochosos para aplicação na liberação e tratamento de fundações da UHE Ilha Solteira. Até então, esses serviços baseavam-se na experiência dos profissionais envolvidos, porém, passaram a ser definidos em função da classificação geológica do maciço de fundação. Este passo foi de fundamental importância, pois, até então, a geologia era entendida como necessária apenas durante a fase de projeto participando apenas eventualmente da construção (Vaz, 1998).

Toda esta tecnologia estava disponível para aplicação nas grandes hidroelétricas na década de 70 (Itaipu, Tucuruí e Paulo Afonso IV), nas quais foi aperfeiçoada e testada com sucesso. Porém, nas décadas de 80 e 90 e nos primeiros anos deste século, um período de 20 a 25 anos, houve violenta redução nos investimentos em projeto e construção de usinas hidroelétricas, com a desagregação das equipes, das empresas do setor e dos centros de pesquisa.

Nos últimos dez anos o mercado de projeto e construção de usinas hidroelétricas voltou a ficar aquecido, porém, com usinas de médio porte e só recentemente, com as usinas do rio Madeira voltaram as grandes barragens. Essa retomada acompanhou as modificações no sistema de concessão estabelecidas pela Lei 8987 de 1995. O novo modelo permitiu a entrada de empreendedores privados, isoladamente ou associados com empresas estatais e introduziu modificações nas fases de projetos básico e executivo.

A principal alteração ocorreu com a duração dos serviços de projeto e construção. Esses prazos foram consideravelmente reduzidos, de tal sorte que empreendimentos similares, erigidos na década de 70, ocupavam mais de duas vezes o prazo dos empreendimentos atuais. Em consequência, muitos estudos têm sido postergados para a fase de projeto executivo, o que incrementa os riscos geológicos e pode conduzir a acidentes, além de elevar o custo de construção. Aparentemente, esses custos não superam os resultados da geração antecipada dentro da engenharia financeira do empreendimento, o que pode tornar os prazos insuficientes para a adequada investigação geológica.

Em segundo lugar, as condições geológicas dos locais de implantação das novas hidroelétricas tornaram-se muito mais desfavoráveis do que aquelas investigadas na década de 70. Atualmente, os empreendimentos concentram-se na região centro-norte, a maioria na Amazônia. Nessas regiões predominam os maciços pré-cambrianos, com extrema variação nas condições litológicas, de resistência, de alteração e estruturais. Maciços de comportamento geomecânico desconhecido (Figura 2), constituídos por rochas ígneas, sedimentares, metassedimentares, entre outros, têm que ser enfrentados.

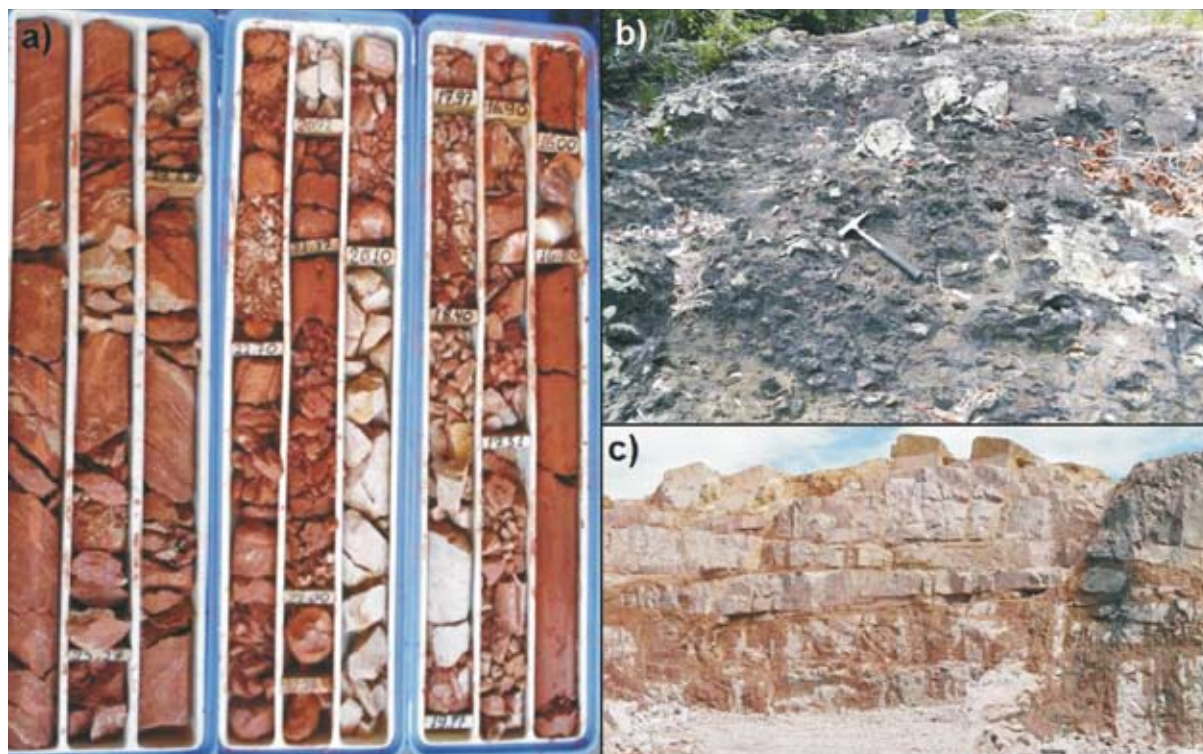


Figura 2 – Exemplos da complexidade geológica a) metassedimentos com intercalações de solo e rocha; b) brecha vulcânica e c) extensas discontinuidades sub-horizontais alteradas até solo de ocorrência aleatória.

Além disso, ocorrem espessas e extensas coberturas recentes, mascarando as condições de sub-superfície e exigindo novos critérios de classificação, seja para fundações ou para materiais de empréstimo. Essas coberturas são de tal monta

que podem preencher canais profundos, como mostrado na Figura 3. A mudança nas condições geológicas faz com que a tecnologia desenvolvida para o estudo das barragens sobre basalto, por exemplo, somente seja parcialmente utilizada.

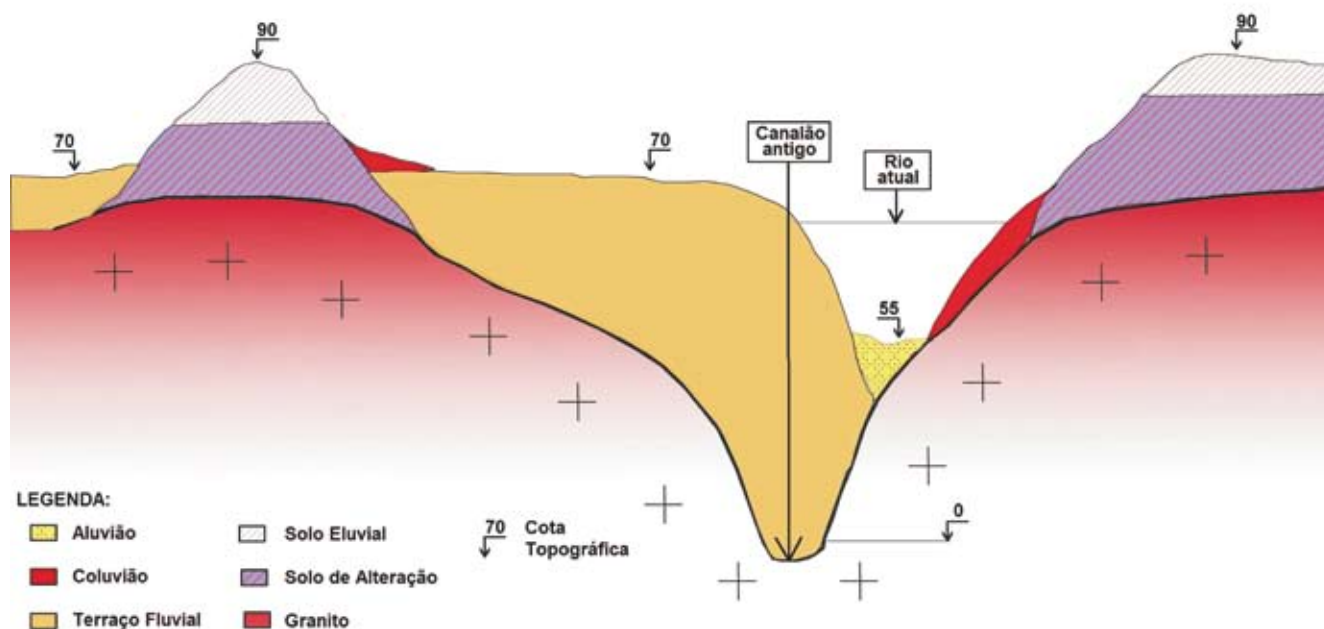


Figura 3 – Modelo esquemático com canais antigos preenchidos por materiais de cobertura.

2 MODELO DE CONCESSÃO E PRAZOS

As etapas de projeto e construção de aproveitamentos hidroelétricos continuam sendo a fase de inventário, a viabilidade dos aproveitamentos mais atrativos e as fases de projeto básico e projeto executivo. Essas fases e os respectivos estudos são definidos no *Manual de inventário hidroelétrico de bacias hidrográficas* (Eletrobras, 2007) conforme mostrado na Figura 4.

As concessões para estudos de inventário são outorgadas pela Agência Nacional de Ener-

gia Elétrica - ANEEL para empresas privadas e estatais, inclusive para a Empresa de Planejamento Energético - EPE, empresa estatal encarregada de estudos e do planejamento energético. É possível que, para uma dada bacia hidrográfica, duas ou mais concessões sejam concedidas. Essas concessões são válidas apenas para os estudos de inventários e seus resultados são encaminhados à ANEEL, tornando-se públicos. Os prazos disponíveis para estes estudos não sofreram muita alteração.



Figura 4 - Etapas de implantação de aproveitamentos hidroelétricos. Fonte: Modificado de Eletrobras (2007).

Porém, para passar à fase seguinte, haverá uma licitação conduzida pela ANEEL. Essa licitação é feita com base no preço ofertado pelo empreendedor para a venda da energia a ser produzida pelo aproveitamento, vencendo aquele que ofertar o menor preço. Para essa oferta o empreendedor precisa do planejamento financeiro de toda a operação, desde o projeto básico até o final da concessão. Obviamente, a redução no prazo entre a licitação e o início da geração de energia é fator determinante do custo da energia produzida. Dessa forma, prazos de 3 a 4 anos entre o início da construção e da geração tornaram-se regra geral.

Para participar dessa licitação, cada uma das empresas interessadas desenvolve suas próprias avaliações elaborando estudos de viabilidade avançados ou projetos básicos simplificados. Esses trabalhos podem ou não dispor de prazo satisfatório já que a data de licitação depende do planejamento da ANEEL para atendimento da demanda de energia elétrica.

Entretanto, depois de definido o vencedor da licitação, começa uma corrida contra o relógio, o que engloba o prazo para o projeto básico consolidado, para o projeto executivo e para a construção. Dessa forma, os prazos têm sido progressivamente reduzidos, em alguns casos chegando à metade daqueles que vinham sendo utilizados. Em consequência dessa redução, várias modificações foram necessárias, começando pela ampliação das equipes envolvidas no projeto.

Além de implicar maiores esforços de coordenação, a redução dos prazos acarretou mudanças na concepção e no desenvolvimento das investigações geológicas. Assim, anteriormente, na fase de projeto básico, métodos como os geofísicos eram usualmente aplicados depois de algum conhecimento do sítio por meio de sondagens diretas. Atualmente, já devem ser aplicados de início, concomitantemente com as sondagens diretas, pois, geralmente, não haverá tempo de executá-los mais tarde.

Em outras palavras, todas as necessidades de investigação devem ser antecipadas uma vez que as informações geológicas para ajustes no arranjo geral das obras e o adequado conhecimento do risco geológico devem estar disponíveis antes da licitação pela ANEEL. Por outro lado não há como exagerar no volume de investigações uma vez que os custos da investigação devem ser mantidos dentro de limites aceitáveis e da disponibilidade de prazo.

Informações sobre o tipo e as quantidades de investigações e estudos geológicos são encontradas no *Manual de inventário hidroelétrico de bacias hidrográficas* (Eletrobras, 2007), nas *Instruções para estudos de viabilidade* (Eletrobras/DNAEE, 1997) e nas *Diretrizes para o projeto básico de usinas hidroelétricas* (Eletrobras/Aneel, 1999).

Cabe registrar que há empreendedores conscientes da importância das investigações geológicas e outros que relutam em alocar recursos para esses trabalhos. Em geral, os primeiros já tiveram alguma experiência desagradável com as condições geológicas e com o impacto financeiro da remediação. Os que não se importam desconhecem os riscos associados às condições geológicas, ou seja, não sabem que não sabem.

3 SELEÇÃO DE EIXOS DE BARRAGENS

A seleção de eixos de barragens para aproveitamentos hidroelétricos é geralmente feita na fase de inventário. A ELETROBRAS editou um manual, conhecido como Manual de Inventário, com os procedimentos para esta fase dos estudos (Eletrobras, 2007). A escolha dos sítios é feita, primeiramente, pelos estudos hidráulicos de divisão de queda, os quais procuram determinar a melhor posição dos possíveis eixos de barragem de forma a aproveitar toda ou a maior parte do desnível do rio. Como existe a possibilidade de variar a altura do barramento, dentro de certos limites, é possível reduzir a extensão do reservatório ou aproveitar uma queda natural (corredeiras ou cachoeiras) para a locação dos eixos. Assim, a locação final do eixo pode ser feita em um determinado trecho do rio em função das condições locais o que, usualmente, é tarefa dos estudos geológicos.

É preciso lembrar que, atualmente, a grande maioria dos estudos de inventário é realizada na

Amazônia, cujas limitações de dados cartográficos é bem conhecida, sendo raros os trechos com mapas topográficos de escala 1:100.000. Além disso, a densa floresta tropical, que domina na região, dificulta a interpretação de fotografias aéreas. Em fases mais avançadas dos estudos de inventário ficam disponíveis levantamentos cartográficos de escala 1: 10.000, em geral utilizando laser. Esses levantamentos aerotransportados são feitos com a emissão de um feixe de raios laser, considerando que a maior parte deles serão refletidos pela copa das árvores, mas, outra parte alcança a superfície do terreno, sendo utilizados. Esses levantamentos, apesar de apresentarem suas restrições, permitem desconsiderar a cobertura da floresta, a qual contribuiu para insucessos em barragens na Amazônia, como ocorreu com a UHE Balbina (Wittman & Bonilla, 2009).

A exatidão dos dados cartográficos deve ser verificada no início dos trabalhos efetuando-se trabalhos de validação dos dados incluindo levantamentos de campo e, principalmente, a verificação dos marcos de referência a serem utilizados. A experiência de estudos anteriores mostra que são frequentes as divergências entre esses marcos na região amazônica.

São muitas as condições que controlam a locação de um eixo de barragem, porém, a mais importante é a existência de ombreiras favoráveis, isso é, que permitam acomodar a altura prevista para a barragem. Ombreiras desfavoráveis são aquelas que apresentam fugas no reservatório, exigindo a construção de diques. Maciços rochosos com vazios e feições que permitam elevada percolação de água devem ser evitados por comprometerem a estanqueidade do eixo.

Em segundo lugar, estão as condições geológicas e geomecânicas do maciço rochoso. As barragens sempre necessitam de rochas duras para as fundações das estruturas de concreto, nomeadamente a casa de força e o vertedouro, além de, em alguns casos, da eclusa e outras obras. Assim, o eixo deve, se possível, apresentar rochas duras, usualmente reconhecidas por provocarem corredeiras e cachoeiras, numa extensão apropriada para as estruturas de concreto previstas. Obviamente, existem barragens com estruturas de concreto acomodadas sobre rochas brandas, sendo a mais conhecida delas a UHE

Curuá-Una, no Estado do Pará. Porém, o custo de construção é mais elevado e pode inviabilizar o aproveitamento.

Em seguida, aparecem outros fatores que afetam o custo das obras, tais como a extensão do eixo. Quanto mais curto, desde que seja possível acomodar as estruturas de concreto, mais interessante é o local. É também necessário que a região do eixo disponha de volumes adequados de materiais naturais de construção (solo, areia/cascalho e rocha) aproveitáveis. É possível britar a rocha para obter areia artificial, porém, além do custo mais elevado, podem ocorrer dificuldades com a trabalhabilidade do concreto, resultando em prazos mais longos. Já a disponibilidade de solo ou rocha, a distâncias superiores a 10 km do eixo, pode inviabilizar um aproveitamento, dependendo dos volumes requeridos.

O local deve ainda permitir acomodar o arranjo geral das obras, ou seja, a disposição das estruturas de concreto e demais obras da barragem. Atualmente, prefere-se que as estruturas de concreto fiquem dispostas na mesma margem, de forma a evitar a instalação de dois canteiros de

obras. Também pode ser mais conveniente, dependendo do comportamento do topo de rocha, substituir parte da barragem de terra por barragem de concreto compactado a rolo (CCR). Note-se que o CCR é mais caro do que a barragem de terra e exige fundação em rocha, porém, é mais rápido para ser construído e depende menos das condições climáticas.

Atualmente estão sendo utilizadas barragens de enrocamento com núcleo asfáltico, principalmente devido ao custo inferior. Da mesma forma que os plintos de concreto, é necessário fundação em rocha para o núcleo asfáltico,

De forma geral, devem ser preferidos os eixos com baixa cobertura de solo, ou seja, com topo de rocha dura na superfície ou próximo (Figura 5). Essa característica vai exigir maior escavação em rocha na casa de força, porém o material será utilizado como brita ou enrocamento, restringindo a abertura de pedreiras. Em contrapartida, o vertedouro e a área de montagem, que usualmente têm fundações rasas, não vão requerer concreto de enchimento e a barragem de terra pode ser substituída por CCR.



Figura 5 – Usina Hidrelétrica de Furnas com rocha aflorante, localizada no rio Grande, Minas Gerais.

Em rios com meandros encaixados, em formato de ferradura, como é comum no Sul, as estruturas da barragem podem ser construídas separadamente. Assim, a barragem é construída na perna montante da ferradura e a casa de força é

construída na perna jusante da ferradura (Figura 6). Além de facilitar a construção, pela separação das obras, há um ganho de desnível entre a barragem e a descarga da casa de força, em função do percurso do rio.



Figura 6 – Usina Hidrelétrica de Itá, localizada na divisa dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina aproveitando meandro em forma de ferradura. Fonte: Site da Secretaria de Turismo do Rio Grande do Sul - Setur (2011).

Nem todos esses fatores podem ser devidamente considerados, por ausência de informações, nas fases de inventário e viabilidade. Entretanto, cabe à Geologia de Engenharia participar ativamente da análise dos dados e propor os ajustes no arranjo geral das obras e na locação dos eixos.

Um programa de seleção de eixos para estudos de inventário inicia-se com a avaliação detalhada dos aspectos fisiográficos e geológicos, utilizando imagens (principalmente do Google Earth), mapas, fotografias aéreas e dados bibliográficos. Essas informações devem ser exaustivamente analisadas, elaborando-se, para cada local, uma ficha e croquis com todas as informações.

A seguir deve ser efetuado um reconhecimento por via aérea, utilizando avião leve de asa alta ou helicóptero, este com a desvantagem do abastecimento mais frequente. Em geral, nesse reconhecimento, além do geólogo, deve ir um engenheiro especializado em arranjo, geralmente em duplas, para permitir que um observe e o outro registre. A principal função do sobrevôo é identificar os trechos do rio mais favoráveis para a implantação dos aproveitamentos. Além disso, o reconhecimento aéreo é fundamental para a escolha de eixos, principalmente na região amazônica, sendo tarefa de rotina nos estudos de inventário. Neste sobrevôo são identificadas as feições topográficas e geológicas regionais e, se possível, definidos os eixos.

O planejamento do sobrevôo é fundamental para seu sucesso. Além de ajustar a rota e altitude a ser mantida, em conjunto com o piloto no início do sobrevôo, é necessário orientar o voo. Um dos geólogos, mais familiarizados com navegação, deve orientar o posicionamento da aeronave. Para o bom andamento dos trabalhos a equipe deve contar com equipamentos (câmera fotográfica, gravadores e GPS's) em duplicata.

Como resultado desse trabalho é indicado um local preliminar para o desenvolvimento dos estudos de campo. Para esses estudos é necessário um planejamento detalhado, cuja complexidade depende, principalmente, de aspectos logísticos. Assim, na Amazônia as condições de acesso, comunicação e alojamento são determinantes da velocidade dos trabalhos. Em outras regiões, com acesso mais fácil, o planejamento é menos complexo, já que alojamento, alimentação e meios de transporte estão disponíveis.

Os trabalhos de campo destinam-se a ajustar o posicionamento do eixo às condições locais efetivamente encontradas e a definir a disponibilidade de materiais naturais de construção. Para isso, um mapeamento geológico detalhado, apoiado por sondagens a trado, poços de inspeção e sondagens sísmicas de refração fornece os elementos preliminares sobre a posição do topo de rocha e do nível d'água, a distribuição das unidades e feições geológicas, tanto em superfície como em

subsuperfície e a disponibilidade de materiais naturais de construção.

Não raramente, um eixo com condições mais favoráveis pode ser encontrado com os trabalhos de campo dada à maior aderência à realidade fisográfica e geológica obtida com esses trabalhos. Essas adaptações ou alterações fazem parte do processo de seleção do eixo, sempre em busca da solução mais favorável.

O eixo do inventário pode ou não permanecer nas fases seguintes de estudos. Em geral, na fase pré-licitação, o empreendedor faz uma revisão da posição do eixo, considerando os mesmos fatores elencados e utilizando os mesmos procedimentos, isto é, sobrevôo e estudos de campo, porém contando com mais recursos de investigação e ensaios de campo, além de levantamentos topográficos e batimétricos.

Em síntese, o processo de estabelecimento de um eixo de barragem e seu respectivo arranjo é um processo de aproximações sucessivas, interativo e multidisciplinar no qual a Geologia de Engenharia tem papel fundamental.

4 INVESTIGAÇÕES

A redução do prazo para as investigações geológicas tornou ainda mais importante o mapeamento geológico-estrutural de detalhe da área do empreendimento. O mapeamento deve ser conduzido após um reconhecimento feito por um geólogo experiente e a elaboração de um manual de mapeamento contendo os critérios e a definição das unidades geológicas. O mapa geológico deve ser progressivamente atualizado à medida que novas informações fiquem disponíveis.

De forma geral, os métodos de investigação pouco evoluíram nessas últimas décadas. Alguns métodos, como os geofísicos (Souza, 2006) foram bastante aperfeiçoados pela utilização de instrumentos digitais, o que, por sua vez, permitiu melhorar o processamento dos dados e a interpretação de sondagens sísmicas em terra e subaquáticas, elétricas e outras. Alguns métodos de ensaio de campo, como o cone de penetração contínua (*deep sounding*) e o ensaio de cisalhamento *in situ* (*vane test*) também foram automatizados, facilitando a interpretação. As informações hidrogeológicas para maciços fissurados foram aperfeiçoadas com

os ensaios 3D que permitem avaliar a continuidade e intercomunicação das estruturas, o tensor de permeabilidade e a anisotropia da percolação (Tressoldi, 1991).

Nas sondagens diretas foi introduzida a perfuração mecanizada nas sondagens a percussão, com o emprego de trado oco (*hollow stem auger*) montado sobre caminhão (Figura 7). O sistema inclui um martelo com queda automática para a realização do ensaio SPT, reduzindo sensivelmente o tempo de execução da sondagem e do ensaio. Equipamentos de sondagens rotativas de alta produtividade, montados sobre esteiras também já existem. Esses equipamentos montados sobre plataformas móveis (caminhões, carretas de esteiras, etc) têm aplicação limitada à disponibilidade de acessos nem sempre podem ser utilizados nas fases iniciais dos estudos de barragens quando, em geral, os caminhos limitam-se às picadas estreitas.



Figura 7 - Equipamento de trado oco com martelo automático para ensaio SPT.

Mais recentemente tornaram-se disponíveis equipamentos digitais de televisamento de furos de sondagens em rocha, conhecidos como perfuração ótica (Figura 8). Esses equipamentos trabalham em furos abertos por sondagens rotativas ou por rotoperfuração, com perfuração pneumática. A perfuração com sondagens rotativas destina-se, principalmente, à aferição das imagens por comparação com os testemunhos (Figura 9). Para o televisamento, o furo deve ser previamente lavado para a limpeza das paredes.

As imagens são digitalizadas o que permite sua exibição em computador, apresentando um testemunho virtual ou desdobrado numa vista de

360° (Figura 10). Como são imagens digitais, as descontinuidades e outras feições podem ser identificadas e obtido o estereograma das diversas famílias de fraturas. A perfuração com rotoperfuração é muito rápida e o televisamento também, de forma

que, não havendo restrições, a operação completa de um furo de 30 a 50m (perfuração, lavagem e televisamento) pode ser concluída em dois dias, permitindo sua aplicação em investigações para a liberação de fundação na fase construtiva.



Figura 8 - Câmera para perfilagem ótica.
Fonte: Fundsolo - Mesa Redonda ABGE/ABMS (2011).

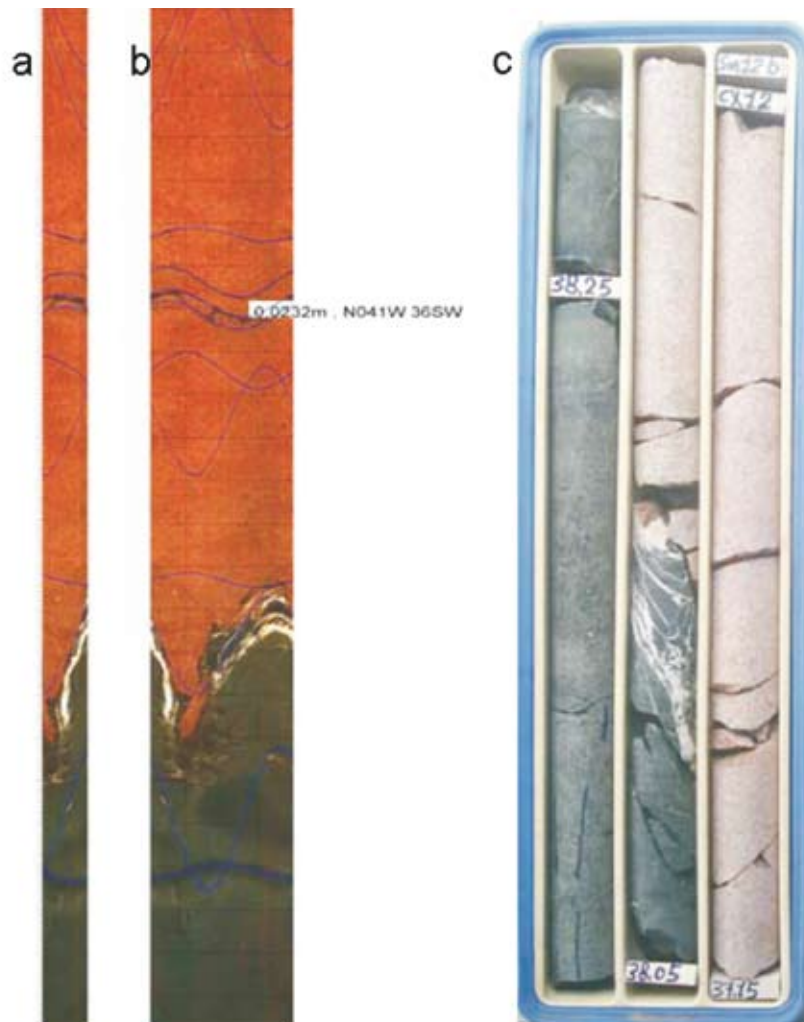


Figura 9 - Comparação entre testemunho virtual (a); imagem das paredes desdobrada em 360° (b) e testemunho convencional (c)
Fonte: Fundsolo - Mesa Redonda ABGE/ABMS (2011).

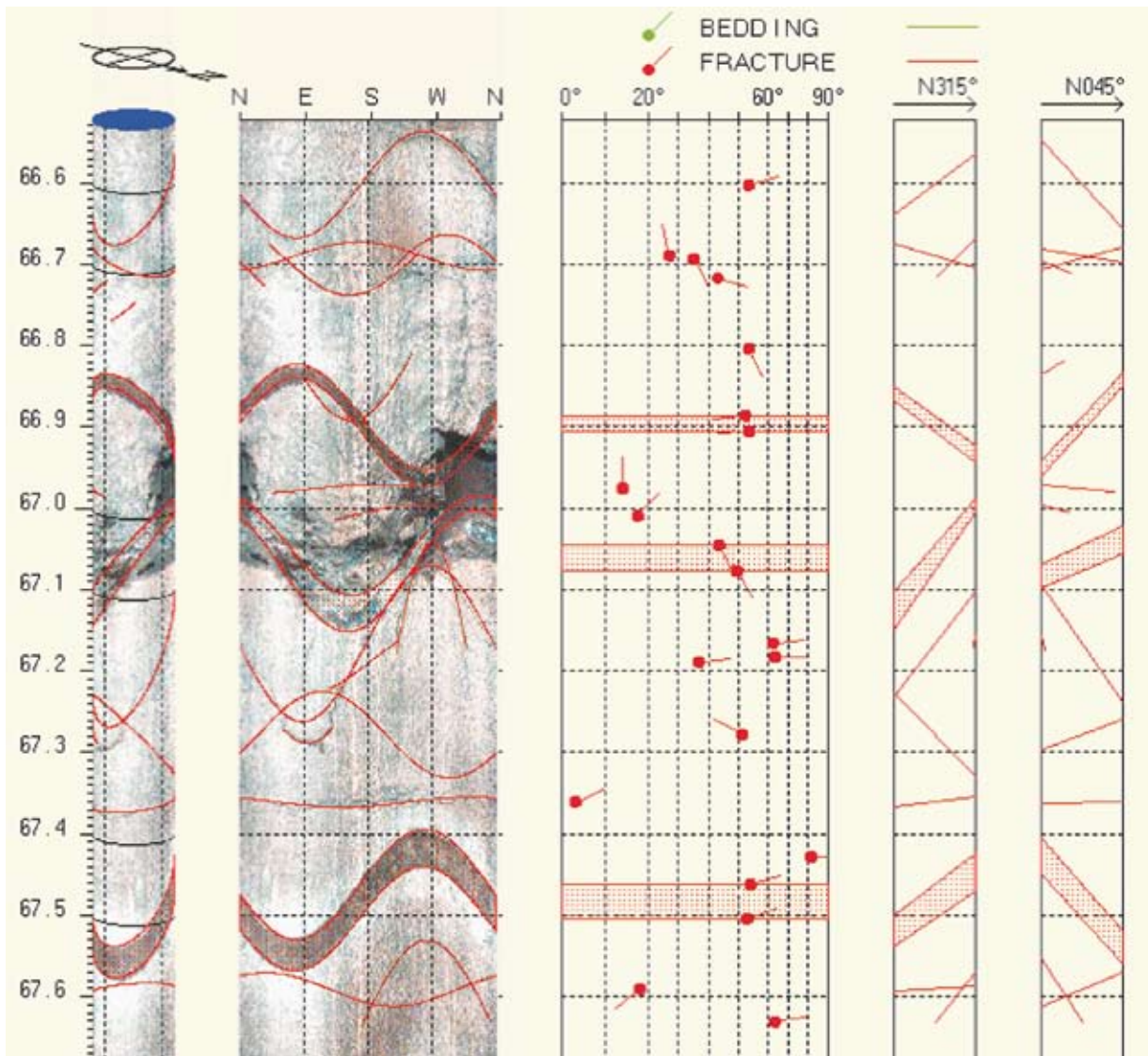


Figura 10 – Interpretação estrutural com o uso de softwares.
 Fonte: Fundsolo – Mesa Redonda ABGE/ABMS (2011).

Para a interpretação dos resultados devem ser definidos critérios específicos para a identificação das feições de interesse. As fraturas, falhas e contatos são claramente visíveis nas imagens e não apresentam dificuldades para a identificação, bastando sua atribuição a um dos sistemas ou famílias previamente identificados. Feições como vazios ao longo das fraturas podem ser atribuídas a preenchimentos de solo ou de rocha muito fragmentada, ambos capazes de ser removidos pela lavagem do furo com jato d' água sob pressão. Com o recurso de aproximação da imagem (*zoom*) é possível visualizar a textura da rocha e, em alguns casos, atribuir graus de alteração em função do descolorimento dos minerais.

A interpretação bem sucedida de imagens de televisamento digital requer a prévia identificação das feições usuais no maciço rochoso com auxílio de testemunhos obtidos em sondagens rotativas e dados dos mapeamentos da fundação. Para cada feição deverá ser definida uma sigla ou número para facilitar a identificação. Posteriormente, no escritório, a interpretação pode ser revista e preparado um relatório individual de sondagem. Segundo Baillot *et al.* (2004), as imagens podem ser utilizadas para a classificação do maciço rochoso.

Uma das principais limitações do televisamento digital é a limpeza do furo já que a água não pode estar afetada por turbidez. Caso as paredes do furo não sejam estáveis, o risco de prender

a câmera pode impedir a execução dos serviços de televisamento. O método também não se aplica a furos inclinados.

A grande vantagem do televisamento é a rapidez na obtenção das informações. Sua utilização no detalhamento de informações obtidas com sondagens rotativas convencionais torna-se muito útil, principalmente na fase de construção. Assim, por exemplo, se estiver previsto no plano de sondagens de uma casa de força, com 500m de extensão total, uma sondagem a cada 50m, as rotativas podem ser feitas a cada 100m e as rotopercussões, com televisamento, nos intervalos. Trabalhando com três equipamentos de sondagens rotativas e considerando 40m de profundidade em cada sondagem, teríamos 440m o que demandaria cerca de 50 dias para conclusão dos trabalhos utilizando apenas sondagens rotativas. Com cinco sondagens, a rotopercussão com televisamento, restariam apenas 240m de sondagens rotativas, o que seria feito em cerca de 30 dias. De forma geral, até 30% da metragem total de sondagens tem sido executada com rotopercussão e televisamento, concentradas nas estruturas de concreto emersas.

O IPT dispõe de equipamento de perfilagem acústica que produz imagens digitais da parede do furo utilizando pulsos sônicos (Birelli *et al.*, 2004). O instrumento exige a presença de fluido na perfuração, que pode ser água turva ou lama bentonítica, porém a resolução é menor do que a da perfilagem ótica. Perfilagens com cáliber e raios gama podem ser conduzidas simultaneamente com a perfilagem acústica. Instrumentos similares estão sendo importados por outras empresas.

Porém, apesar dos avanços nos métodos de investigação, continua sendo necessário apresentar os dados obtidos de forma acessível para engenheiros e outros profissionais. Shaffner (2011) aponta, em seminário sobre o Projeto de Barragens para o Século 21, a necessidade de um conjunto de relatórios e desenhos, combinando dados geológicos e geotécnicos para a avaliação da segurança de barragens, apresentando vários exemplos de mapas e seções geológicas.

5 PLANOS DE INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICA

A metragem de investigações por sondagens (a percussão e rotativas) aumentou consideravelmente nas últimas décadas. Contribuíram para isso, a maior conscientização dos empreendedores sobre os benefícios da investigação geológica (principalmente na redução do risco geológico), a maior abrangência dos planos de sondagem em função dos prazos mais reduzidos e a maior complexidade geológica dos sítios dos empreendimentos.

Para a elaboração de um plano de investigações, também conhecido como plano de sondagem, para uma usina hidroelétrica diversos fatores são considerados, dos quais o mais importante é a complexidade geológica da fundação. Um maciço de rocha dura, cristalina, constituído por um gnaisse com foliação incipiente, pode ser investigado com uma metragem menor de sondagens do que um maciço de metassedimentos, com foliação desenvolvida e várias famílias de fraturas. Se introduzirmos contatos e falhas, mais sondagens serão necessárias, principalmente se os afloramentos forem escassos.

Em segundo lugar, o plano de sondagens depende do arranjo do aproveitamento. As estruturas de concreto, mesmo de baixa altura, requerem sondagens mistas ou rotativas para sua adequada investigação. As barragens de terra e de enrocamento com núcleo argiloso, por sua vez, são usualmente investigadas com sondagens a percussão e algumas sondagens mistas. Barragens de enrocamento com face de concreto ou núcleo asfáltico necessitam de sondagens rotativas e mistas. Para a investigação de um eixo de barramento, essas sondagens devem ser distribuídas ao longo do eixo e em seções transversais de forma a abranger todas as estruturas do aproveitamento.

A metragem de sondagens para a investigação de uma barragem para geração de energia elétrica depende de vários fatores. Admitindo-se um aproveitamento com estruturas de concreto e barragens de terra em região de baixa complexidade geológica e na fase de estudo de viabilidade avançada ou projeto básico simplificado, a metragem de sondagens está indicada na Tabela 1.

Tabela 1 – Metragem de sondagens para estudos de viabilidade avançada.

VARIÁVEL	ESTRUTURAS DE CONCRETO (sondagens rotativas)	BARRAGENS DE TERRA (sondagens a percussão)
comprimento (m)	400	800
altura máxima (m)	50	55
espaçamento sondagens (m)	100	100
número de sondagens (un)	5	9
profundidade de sondagens (m) *1	40	30
metragem parcial	200	270
Acréscimos:		
seções transversais (m) *2	240	240
sondagens rotativas barragem de terra (m) *3	80	-
sondagens de reserva - 2 furos (m)	80	60
sondagem estratigráfica (m) *4	80	
metragem total	680	570
Notas:		
*1 – As sondagens devem penetrar no mínimo 10m abaixo da cota de fundação, se não existirem feições subhorizontais		
*2 – Três seções transversais nas estruturas de concreto e quatro nas barragens de terra, cada uma com duas sondagens		
*3 – Duas sondagens com 40m cada		
*4 – Uma sondagem com o dobro da profundidade das demais		

Além do tipo e características da barragem, diversos outros fatores devem ser considerados na formulação de um plano de investigações, entre os quais os maciços de fundação, o comportamento do topo de rocha, as condições hidrogeológicas e outras específicas do sítio e do arranjo geral.

Para uma região com alta complexidade geológica, a metragem de sondagens poderá ser acrescida de 50 a 70%. Nas *Instruções para estudos de viabilidade* (Eletrobras/DNAEE, 1997), recomenda-se um espaçamento entre sondagens de 50 a 100m ao longo do eixo. Essa variação contempla a complexidade geológica e os requisitos dos arranjos, sendo compatível com os dados da Tabela 1, baseada em eixos investigados.

Para a fase de projeto básico consolidado será necessário, aproximadamente, a mesma metragem utilizada na fase de viabilidade avançada, desde que o eixo permaneça no mesmo local.

Sendo a metragem de sondagens adequada nas fases anteriores, durante o projeto executivo

são necessárias apenas sondagens para detalhamento de feições localizadas, para a investigação de condições geológicas anteriormente não detectadas e para a liberação de fundações. Neste caso deve-se admitir uma metragem de 20% do total despendido nas fases anteriores de projeto.

Atualmente, com o desenvolvimento de desenhos de projetos com recursos tridimensionais (3D), um mapa com curvas de contorno do topo de rocha é essencial para a elaboração desses desenhos, o que pode exigir sondagens fora da área da barragem.

Para a elaboração desse mapa é necessário definir o topo de rocha dura (Figura 11), escavável somente com explosivo e, eventualmente, dependendo das características do maciço, o topo de rocha de escavação comum, sem uso de explosivos (equivalente à base do solo), resultando em dois mapas de contorno. Outros mapas de contorno podem ser necessários, por exemplo, para mostrar as condições geológicas na cota de fundação das estruturas de concreto.

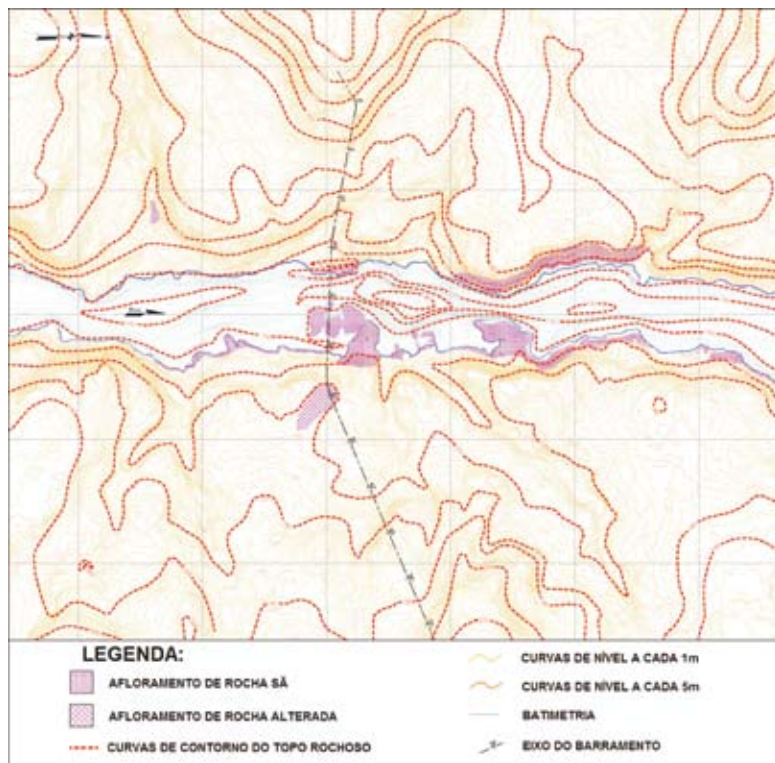


Figura 11 – Mapa de contorno do topo rochoso.

As condições de alteração e fraturamento usuais nos maciços rochosos, bem como os materiais de cobertura (solos residuais, aluviões, terraços e coluviões), obrigam à definição de tipos de materiais, usualmente conhecidas como unidades geológicas. Essas unidades resultam, no caso de

solos residuais e da rocha subjacente, da associação entre o tipo do material e seu respectivo horizonte de alteração. Para isso é necessário utilizar um perfil de intemperismo associado aos processos de escavação, conforme aquele indicado na Figura 12.

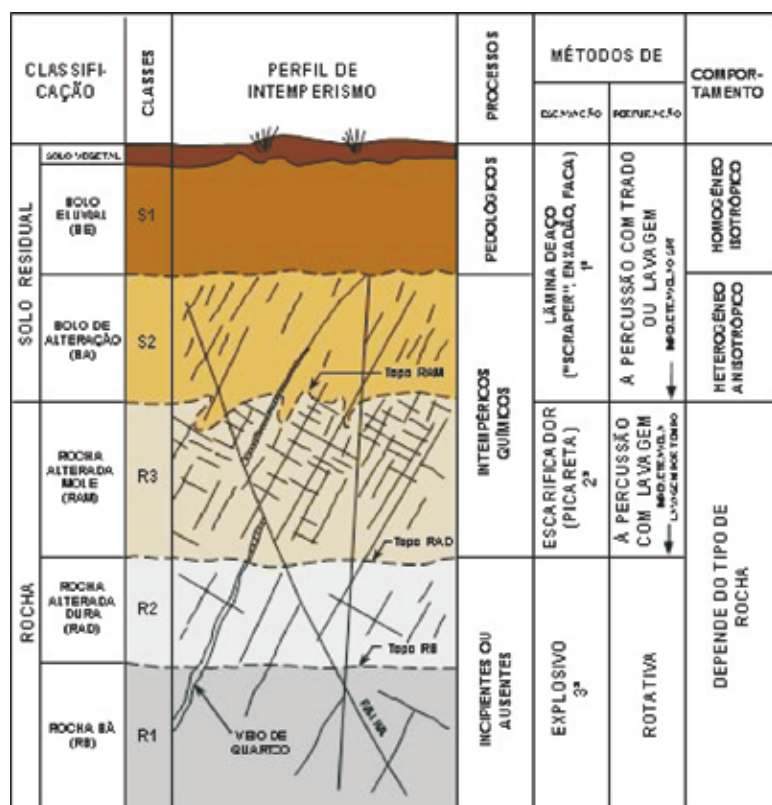


Figura 12 – Perfil de intemperismo para regiões tropicais. Fonte: Vaz (1996).

Tratando-se de um maciço granítico, por exemplo, as unidades geológicas seriam:

- S1Gr - solo eluvial de granito;
- S2Gr - solo de alteração de granito;
- R3Gr - granito alterado mole;
- R2Gr - granito alterado dura e
- R1Gr - granito são.

Os solos transportados são definidos por siglas, como nos exemplos abaixo:

- ALar - aluvião arenoso;
- ALag - aluvião argiloso;
- COag - coluvião argiloso.

Maiores informações sobre a definição de unidades geológicas podem ser encontradas no artigo *Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em regiões tropicais* (Vaz, 1996).

Os critérios de classificação de sondagens devem ser definidos e registrados em relatório específico no início dos serviços. Se necessário, um treinamento em classificação deve ser oferecido aos geólogos responsáveis. Norbury (2010) discute detalhadamente a descrição de exposições e amostras de solo e rocha para fins de Geologia de Engenharia. Apesar de utilizar normas britânicas e européias, são apresentados procedimentos para a sistematização e codificação das descrições de materiais, alteração, descontinuidades e vários outros parâmetros geológico-geotécnicos.

De forma geral, o plano de investigações deve responder ou fornecer dados para as seguintes questões:

- i) posição do topo de rocha na área das estruturas de concreto considerando o topo de rocha dura (escavável a fogo) e o topo de rocha adequado para fundação;
- ii) distribuição em superfície das unidades e feições geológicas;
- iii) distribuição em subsuperfície das unidades geológicas, com suas espessuras definidas;
- iv) caracterização das estruturas com a identificação das famílias de fraturas e macro-estruturas;
- v) caracterização hidrogeológica das unidades e estruturas condicionantes da percolação;
- vi) caracterização geomecânica das unidades geológicas e estruturas que condicionam a esta-

bilidade das estruturas da barragem e a deformabilidade da fundação;

- vii) estudos e projetos de tratamentos de fundação das estruturas da barragem e instrumentação; e
- viii) disponibilidade e características dos materiais naturais de construção.

Essas informações devem atender não somente às necessidades do projeto das estruturas da barragem, mas também da determinação de volumes e quantitativos de serviços de construção.

Finalmente, a apresentação dos dados decorrentes dos estudos geológicos deve considerar sua utilização por diversos outros profissionais, os quais podem ou não estar familiarizados com os conhecimentos geológicos.

6 RISCO GEOLÓGICO

Antes de discutir os riscos geológicos é conveniente esclarecer a distinção entre imprevisto geológico e imprevisível. Diz-se como imprevisto uma feição conhecida, por exemplo, uma falha de empurrão, não detectada por deficiência da investigação ou da interpretação dos dados ou qualquer outra limitação. Imprevisível aplica-se a feições desconhecidas do meio técnico, situadas além do estado da arte. São situações muito mais raras, que podem ser exemplificadas pelo basalto de baixa densidade (“basalto leve”) encontrado, pela primeira vez, na casa de força da UHE Porto Primavera (Tressoldi *et al.*, 1986). Os imprevistos, entretanto, são muito mais comuns, em geral decorrentes de investigação insuficiente.

É também conveniente esclarecer a distinção entre incerteza geológica e risco geológico. A incerteza geológica é a parcela das condições geológicas que pode ficar oculta, mesmo após a aplicação de todos os recursos de investigação. Exemplificando, uma falha no maciço rochoso, coberta por coluviões, poderá não ser detectada, pois, caso a falha seja vertical, dificilmente será atravessada pelas sondagens, em geral também verticais. Neste caso, a falha somente será revelada quando a cobertura for removida, podendo ou não vir a se constituir em risco geológico.

O risco geológico está associado a condições geológicas conhecidas que podem afetar o sucesso (custo, prazo e segurança) da obra. Abrange, também, condições geológicas suspeitas ou não completamente avaliadas por insuficiência de dados. Exemplificando, um sistema de fraturas transversais ao rio, desde que paralelo às paredes de escavação da casa de força, dependendo do mergulho, pode afetar a estabilidade das paredes, requerendo tratamentos adicionais. Um exemplo de feição suspeita é a possibilidade de ocorrer uma camada de areia e blocos de rocha no fundo de “canalões”, dificultando a vedação de enseadeiras. Dificilmente a camada será detectada com sondagens devido às dificuldades de execução, mas há uma elevada probabilidade de sua ocorrência por tratar-se de rocha dura e existirem blocos de rocha na superfície.

No modelo anterior de construção de aproveitamentos hidroelétricos os eventos então conhecidos como *surpresas geológicas* eram suportados pelo proprietário da obra, o qual arcava com os custos decorrentes. Na época, as obras eram remuneradas por preços unitários aplicados às quantidades medidas, o que facilitava os ajustes de custos.

Com a mudança do setor elétrico e a necessidade de conhecer antecipadamente o custo da obra, os contratos com as empreiteiras passaram a ser por preço global, sendo as parcelas pagas por evento, conforme definido no cronograma de construção ou por medição, porém, respeitando o custo global ofertado. Essa mudança acarretou a entrada de novo *personagem* na construção dos aproveitamentos hidroelétricos, o risco geológico, ou mais especificamente, quem responde pelo custo de serem encontradas condições geológicas desfavoráveis não reveladas no projeto básico utilizado pelo empreiteiro para a composição de seu preço.

Em geral as construtoras são obrigadas, por dispositivo contratual, a contratar apólices de seguro para cobrir diversos riscos, entre os quais os chamados *riscos de engenharia*, nos quais se incluem os riscos geológicos. Entretanto, quanto

maiores ou mais indefinidos forem esses riscos, mais cara será a apólice.

As construtoras, por sua vez, majoram seus serviços e custos por fatores de contingência toda vez que uma determinada atividade não possa ser adequadamente prevista, seja em termos de quantidades ou de dificuldade de execução. Exemplificando, um desmonte subaquático pode ser convenientemente previsto e seu custo é conhecido, porém, a dificuldade para remover o material desmontado, em um “canalão” profundo, constitui-se em um risco geológico, pois dificilmente pode ser calculada. Dessa forma, é aplicado um acréscimo no preço de desmonte subaquático toda vez que estiver envolvida a escavação de um “canalão”.

As condições geológicas que mais frequentemente constituem riscos geológicos são:

- variação na posição do topo de rocha dura, alterando os volumes de escavação, principalmente aqueles que requerem explosivos;
- sistemas de fraturas capazes de afetar a estabilidade das paredes de escavação, requerendo tratamentos adicionais;
- fraturas abertas requerendo esforço adicional de tratamento com injeções;
- canalões e paleocanais preenchidos total ou parcialmente;
- feições geológicas capazes de afetar a estabilidade das estruturas e a deformabilidade da fundação;
- feições geológicas favoráveis ao desenvolvimento de processos de *piping* e
- insuficiência da investigação geológica.

A avaliação do risco geológico pode ser feita com distintos graus de detalhamento. O exemplo apresentado na Tabela 2 constitui um procedimento qualitativo baseado no conhecimento das condições geológicas e na experiência anterior. Contém, entretanto, todos os elementos necessários para aferir o risco geológico e adotar as medidas de contingência apropriadas.

Tabela 2 – Tabela simplificada de riscos geológico-geotécnicos.

REFE-RÊNCIA	DESCRIÇÃO DO CONDI-CIONANTE	PROCESSOS E EFEITOS ES-PERADOS	ESTRUTURAS DA BARRAGEM POSSIVELMEN-TE AFETADAS	RISCO QUALITA-TIVO	INTERVENÇÕES NECESSÁRIAS	MITIGAÇÃO
G1	Profundidade dos canais	Profundidade maior do que a prevista	Barragem de CCR	Alto	Aumento do volume de concreto utilizado na barragem e prazos	Aumento nos volumes de concreto na área dos canais e acréscimo do prazo de construção
G2	Camadas de areia com blocos de rocha e elevada condutividade hidráulica em canais	Erosão interna (<i>piping</i>)	Ensecadeiras	Médio	Aumento do volume de material utilizado na ensecadeira	Aumento nos volumes das ensecadeiras
G3	Jazidas de areia	Não encontradas	Concreto e filtros	Médio	Substituição por areia artificial.	Considerar uso de areia artificial.
G4	Suficiência das investigações	Adequada para estudos de viabilidade	Estruturas do arranjo	Baixo	Execução de investigações adicionais nas próximas fases	Programas de investigações
G5	Sobreescavação em rocha	Rocha muito fraturada	Taludes provisórios e finais	Baixo	Plano de fogo ajustado e fogo cuidadoso	Acréscimo do volume de concreto
G6	Reatividade do granito	Reação álcali-agregado	Estruturas de concreto	Baixo	Estudos de dosagem do concreto	Uso de cimento pozolânico com custo de transporte mais alto.
G7	Fraturas de alívio subhorizontais	Subpressões, recalques e instabilidade das estruturas	Barragem de CCR, vertedouro, muros e outras estruturas com fundações rasas	Baixo	Tratamento das fraturas com injeções e drenagem; sobreescavação ou chaveteamento da fundação	Aumento no volume de concreto de enchimento
G8	Áreas de empréstimo de solo	Ensaio insuficientes	Barragens e ensecadeiras construídas com solo	Baixo	Execução de investigações, estudos e ensaios	Ensaio e sondagens conforme programa de investigação
G9	Sismicidade	Aceleração horizontal elevada	Ensecadeiras, barragem, taludes de escavação	Baixo	Definição do coeficiente de aceleração sísmica	Dimensionamento das estruturas

Conforme exemplificado pela Tabela 2, a avaliação do risco geológico compreende as seguintes etapas, indicadas pelas diversas colunas da tabela:

- sigla de referência do risco;
- descrição do condicionante geológico responsável pelo risco;
- processos associados e efeitos esperados decorrentes do risco;
- estrutura da obra afetada pelo risco;
- avaliação qualitativa do risco (baixo, médio e alto);
- intervenções necessárias; e
- medidas mitigadoras dos efeitos do risco.

Dos itens acima requerem comentários específicos a avaliação do risco e a recomendação de medidas mitigadoras. Os demais itens são auto-explicativos pela leitura da Tabela 2.

A qualificação do risco depende da probabilidade de sua ocorrência e dos seus efeitos, ou seja,

do impacto no prazo, custo e segurança da obra. Essa avaliação é qualitativa atribuindo-se à qualificação de riscos baixo, médio ou alto. Devem ser ainda consideradas as características específicas da obra e das medidas mitigadoras, sendo mandatário o impacto na obra.

Assim, uma feição frequente, porém de baixo impacto, por exemplo, um sistema de fraturas com atitude desfavorável para a estabilidade das paredes de escavação pode ser considerado de baixo risco se o talude for de baixa altura. Esse mesmo sistema, num talude elevado, pode tornar-se de risco médio, caso a dificuldade com os trabalhos de contenção possa afetar o prazo previsto para tais serviços. Finalmente, se a condição da obra permitir que o sistema possa afetar a estabilidade de uma estrutura de concreto, o risco pode tornar-se alto.

Para a qualificação do risco e a recomendação de medidas mitigadoras, destinadas a reduzir ou

eliminar os efeitos das feições geológicas desfavoráveis, é necessária uma abordagem multidisciplinar com a participação de especialistas. Em outros casos, as medidas mitigadoras podem exigir consultas a empresas especializadas em métodos de tratamento.

7 CONCLUSÕES

A Geologia de Engenharia (GE) é uma atividade consolidada no estudo e construção de barragens. Contribuíram para essa consolidação os trabalhos de liberação de fundações, de seleção de eixos e da avaliação do risco geológico.

A evolução dessas áreas é distinta. A liberação de fundações é tarefa exclusiva da GE e sua evolução depende essencialmente da própria GE. A seleção de eixos depende da habilidade da GE em identificar a aderência dos arranjos às condições locais. Finalmente, a avaliação do risco geológico ainda tem muito a evoluir, não só na identificação dos riscos, mas também na busca de métodos de quantificação.

Agradecimentos

Agradecemos à geóloga, Dra. Marilda Tressoldi, pela revisão e comentários; e aos colegas, que forneceram dados sobre os equipamentos.

BIBLIOGRAFIA

- Baillet, R., Barton, N., Abrahão, R., Ribeiro Jr., A. 2004. Comparing 360° televising of drill holes walls with core logging. *In: Intern. Site Characterization Conf. ISC-2, ISSMGE, Porto, Portugal.*
- Birelli, C.A., Ferrari, M.A.D., Ciantelli Jr, C.A., Motta, C.E. 2004. Integração de perfilagens ótica, acústica e elétrica para fins de avaliação ambiental de aquíferos. *In: 1º Simp. Reg. Soc. Bras. Geof. SBGf. São Paulo.*
- Eletrobras/DNAEE 1997. Instruções para estudos de viabilidade. Eletrobras/Dnaee, Brasília.
- Eletrobras/Aneel 1999. Diretrizes para a elaboração de projetos básico de usina hidroelétrica. Eletrobras/Aneel, Brasília.
- Eletrobras 2007. Manual de inventário hidroelétrico de bacias hidrográficas. Eletrobras, Brasília.
- Fundsolo 2011. Perfilagem ótica. *In: Mesa Redonda: Sondagens – Método, Procedimentos e Qualidade – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE) e Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica (ABMS). São Paulo, março 2011. Caderno, p.7.*
- Lei Nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/cedoc/blei19958987.pdf>. Acessado em 24 jun 2011.
- Norbury, D. 2010. Soil and Rock Description in Engineering Practice. Whittles Publishing. Scotland, UK. 288pp.
- Revista Exame 2011. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/negocios/empresas/noticias>. Acessado em 17 jun 2011.
- Ruiz, M.D. 1963. Mecanismo de desagregação de rochas basálticas semi alteradas. *In: II Congresso Panamericano de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações. Anais. vol 1, p.533-541.*
- SETUR - Secretaria de Turismo do Rio Grande do Sul 2011. Disponível em: <http://www.turismo.rs.gov.br/portal>. Acessado em 13 jun 2011.
- Shaffner, P.T. 2011. Geologic data and risk assessment; improving geologic thinking and products. 31st Annual USSD Conference - 21st Century Dam Design – Advances and adaptations. US Society on Dams. Disponível em: <http://ussdams.com/proceedings/2011Proc/545-570.pdf>. Acessado em 27 jun 2011.
- Souza, L.A.P. 2006. Revisão crítica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo. 311p.
- Tressoldi, M., Guedes, M.G., Vaz, L.F. 1986. Ocorrências de basalto de baixa densidade na Usina de Porto Primavera e aspectos de interesse ao projeto. *In: II Simpósio Sul Americano de Mecânica de Rochas, Porto Alegre. Anais. Vol. II, p.238-251.*

Tressoldi, M. 1991. Uma contribuição à caracterização de maciços rochosos fraturados visando a proposição de modelos para fins hidrogeológicos e hidrogeotécnicos. Dissertação de mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 291p.

Vaz, L.F. 1996. Classificação genética dos solos e dos horizontes de alteração de rochas em regiões tropicais. Solos e Rochas. ABMS-ABGE, **19**:117-136.

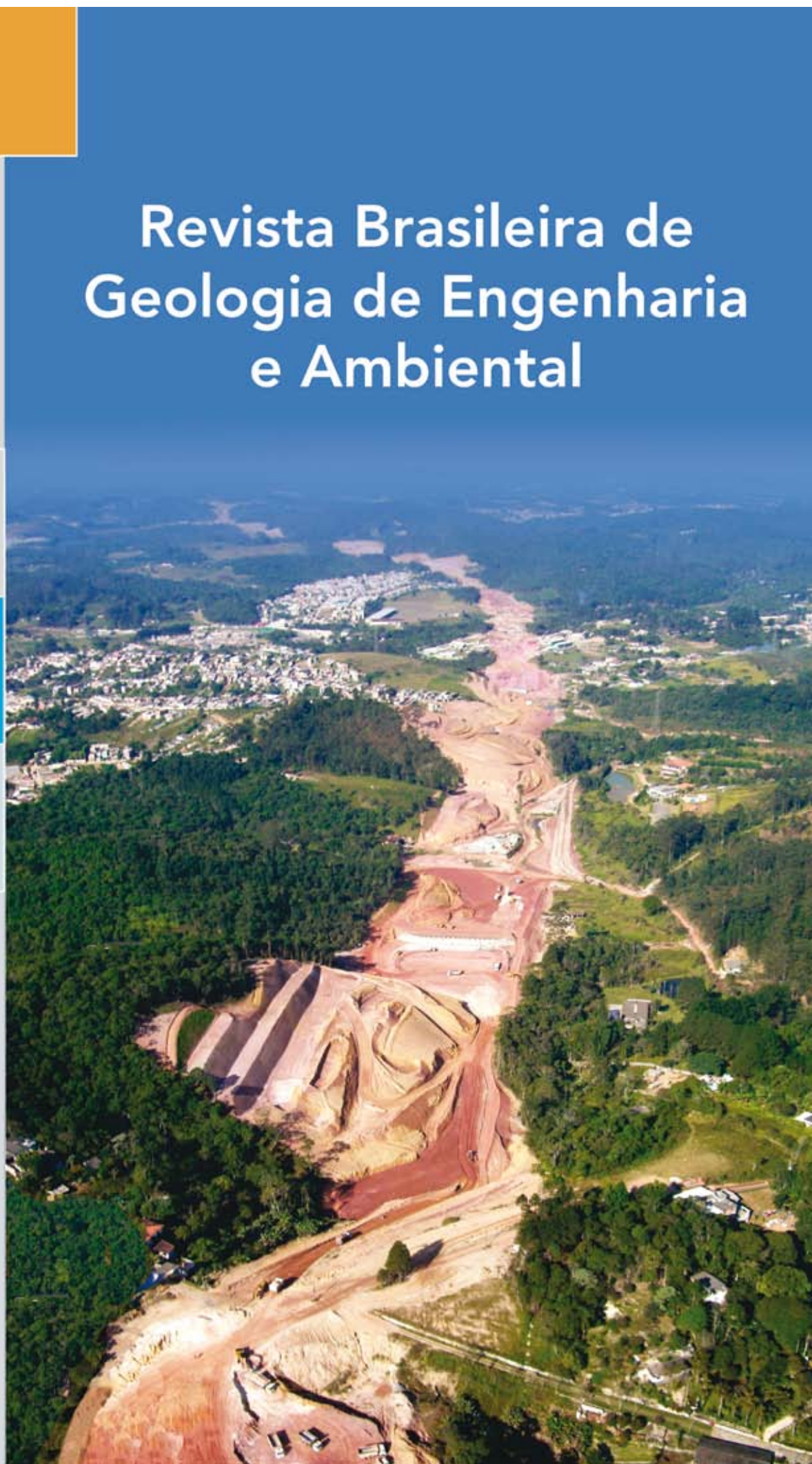
Vaz, L.F. 1998. Os geólogos e a geologia de Engenharia na década de 60. *In*: ABGE 30 anos. ABGE, p.: 20-85.

Wittmann, D.; Bonilla, S.H. 2009. Determination of relevant environmental impacts and benefits caused by Balbina Hydropower at Amazon. *In*: 2nd International Workshop in Advances in Cleaner Production, São Paulo.



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 m³ de volume, oferece (ordem de grandeza) 200 m³ de reservatório adicional à água, e, descontada a umidade higroscópica, cerca de 100 m³ 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 m³ 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 urbano¹. 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.

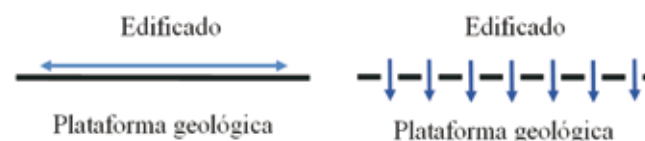


Figura 1 - Esquemas básicos da Cidade com placa tecnológica impermeável e contínua e da cidade com placa tecnológica mantida permeável pela adoção de técnicas e procedimentos dos assentamentos geossuportados.

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.

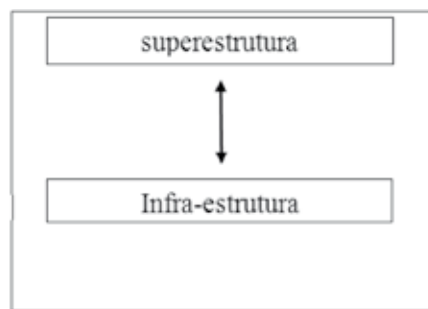
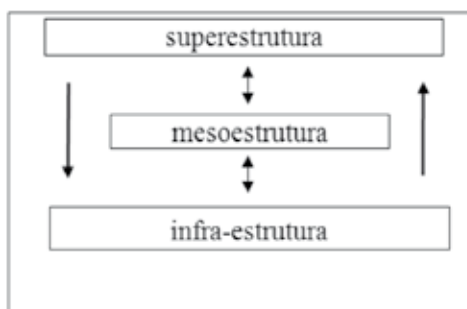


Figura 3. Estrutura da cidade geossuportada.



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. Fiquem 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 municipais². 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 espígones 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.

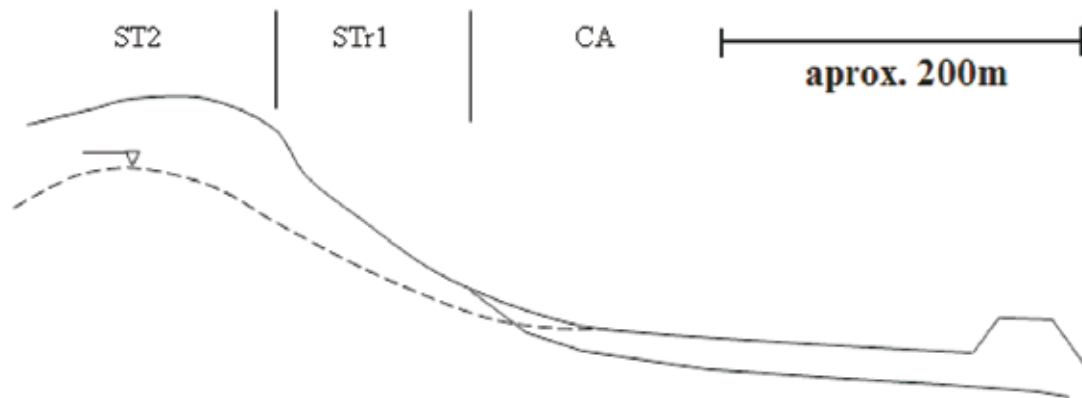


Figura 6. Seção local do mapa de unidades de terreno da Figura 5, mostrando a relação predominante entre as unidades de terreno obtidas por análise cartográfica. ST2, STr1 e CA já conhecidos.

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.

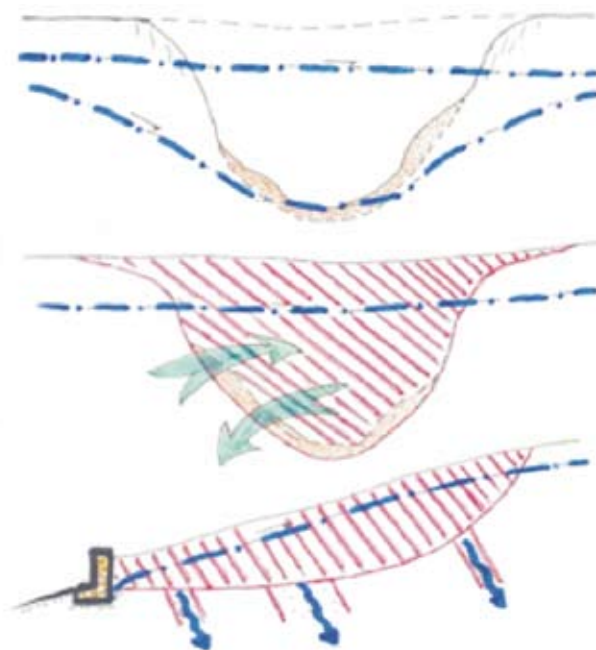


Figura 7 – Primeiro desenho ilustrativo do Método Geológico, para ilustrar a reabilitação de uma voçoroca; as setas da seção central foram usadas para simbolizarem a interação entre o material colocado e o maciço hospedeiro.

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.

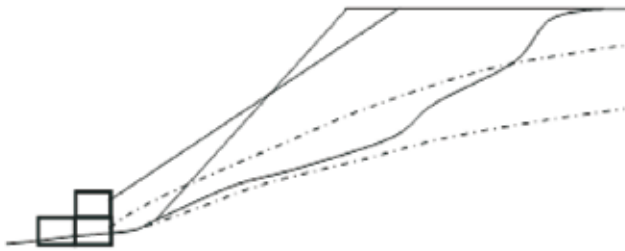


Figura 8 - Aterro de 1 bancada com talude suavizado.

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° a 42° (ângulo de repouso natural), para cerca de 33° (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.

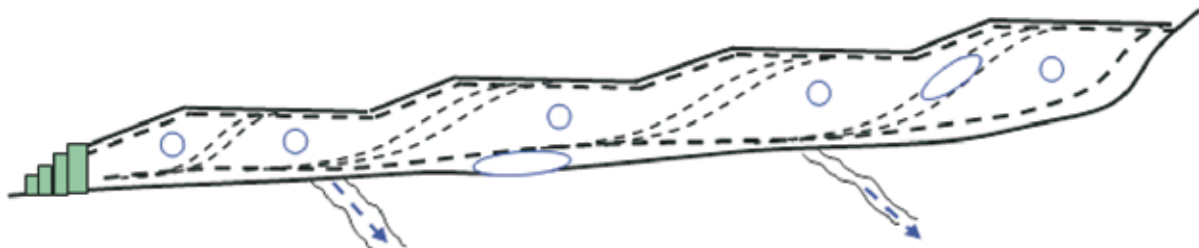


Figura 9 - Seção de aterro de resíduos zonado, em que resíduos de demolição foram previstos para introduzirem elementos filtrantes (tensor permeabilidade representado por elipsóides alongados) em bota-fora siltoso-micáceo de xisto (permeabilidade baixa, invariante, representada por círculos). A implantação 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.

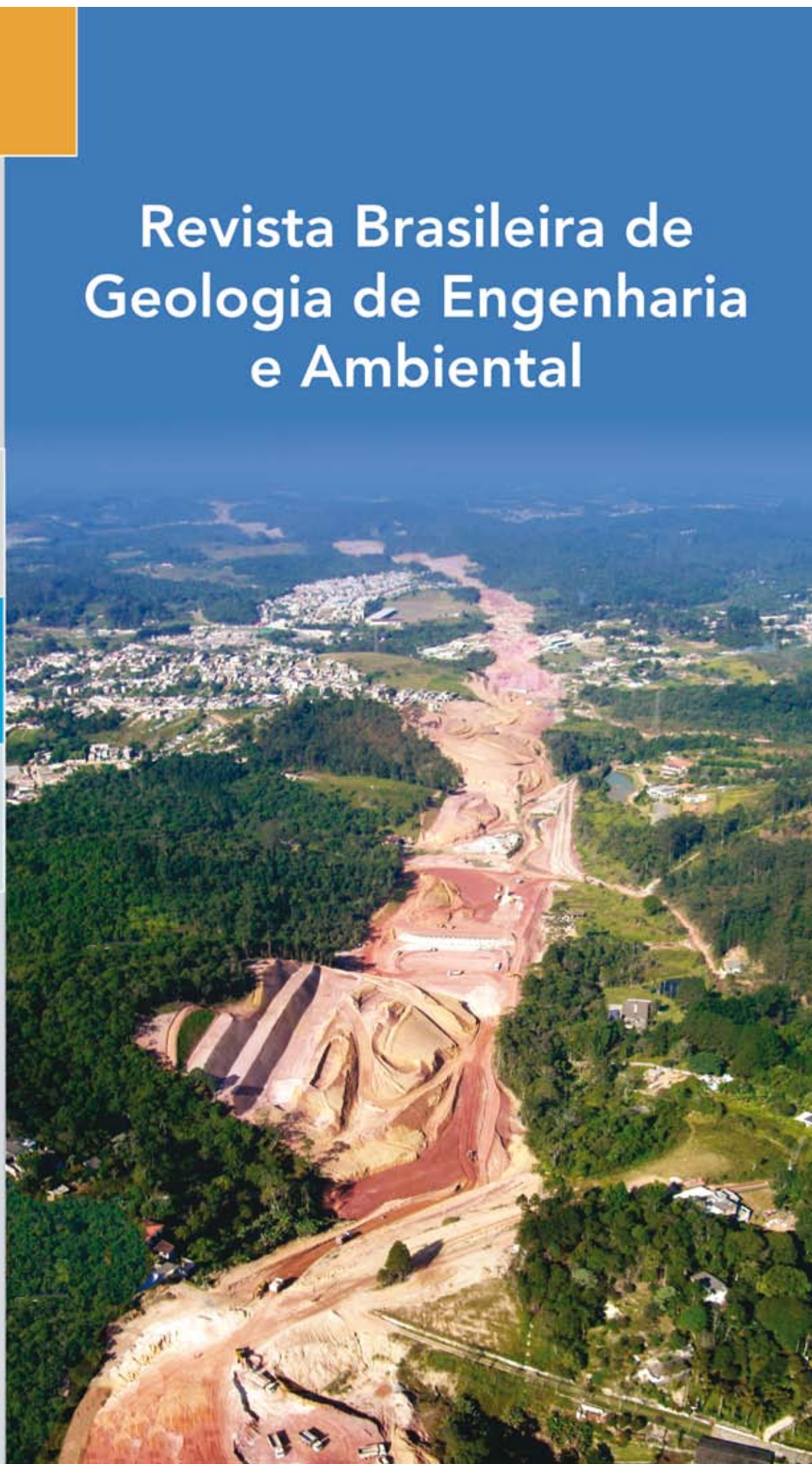
BIBLIOGRAFIA

- 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.



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

GESTÃO DE RISCOS GEOLÓGICOS NO BRASIL



MARGARETH MASCARENHAS ALHEIROS
*Universidade Federal de Pernambuco, Recife,
Pernambuco, Brasil, alheiros@ufpe.br*

RESUMO ABSTRACT

O grande número de desastres naturais registrados nos últimos anos no Brasil, especialmente entre 2009 e 2011 está exigindo uma nova postura quanto à gestão de riscos e desastres, embora os anos 2000 tenham sido marcados por avanços importantes em ações preventivas junto aos municípios, através de capacitação técnica e dos mapeamentos de risco, inseridos no Plano Municipal de Redução de Risco. Com base na experiência adquirida no país e no trabalho desenvolvido pela Estratégia Internacional para redução de desastres naturais, através da ONU é possível promover uma profunda mudança baseada num modelo consistente de gestão de riscos e desastres no Brasil. Para isso é indispensável o fortalecimento dos órgãos responsáveis e a sua efetiva integração na divisão dos esforços para atender aos resultados esperados; a participação das instituições de pesquisa na revisão das metodologias de análise e mapeamento de risco e, das novas tecnologias aplicáveis à redução e minimização dos desastres; o incremento nos investimentos, especialmente aqueles destinados à previsão e prevenção do risco; e um modelo de abordagem para as ações de defesa civil, que melhore as ações de preparação para os desastres, através da operação e difusão de sistemas de alerta e da comunicação com a comunidade em risco.

Palavras-chave: Riscos Naturais; Gestão de Riscos; Riscos no Brasil

GEOLOGICAL RISK MANAGEMENT IN BRAZIL

The large number of recorded natural disasters in recent years in Brazil, especially between 2009 and 2011 demand a new approach regarding the management of risks and disasters, although the '2000s was marked by important advances in preventive actions in the cities through technical training and risk mapping, inserted in the Municipal Plan for Risk Reduction. Based on experience produced in the country and the work of the International Strategy for Natural Disaster Reduction, from UN it's possible to promote a profound change in a consistent model-based risk management and disaster in Brazil. For it is essential to strengthening of the organisms responsible for its effective integration into the division of efforts to meet the expected results; the contribution of research institutions in the review of the methodologies of analysis and risk mapping, and use of new technologies to reduce and mitigate disasters; the increase of the investments, especially focused in risk prediction and prevention; and the adoption of a model approach to civil defense actions, to improve disaster preparedness, through of early warning, evolving the community at risk.

Key-words: Natural Risks; Risk Management; Geological Risks in Brazil

1 INTRODUÇÃO

A partir da nomenclatura internacionalmente aceita, são discutidos alguns dos conceitos básicos adotados neste trabalho, já que envolvem diferenças de tratamento em função da área técnica predominante.

O termo "gestão" vem sendo usado com muita frequência nos tempos atuais, no que se refere

aos riscos e aos desastres naturais. Muitas vezes abrange a função do próprio planejamento, como forma de antever e prover insumos para coordenar ações no território desejado.

O "planejamento" deve prever processos futuros, identificando a evolução dos fenômenos naturais e humanos, para buscar implementos que

evitem, controlem ou enfrentem tais fenômenos e suas consequências. A gestão, por sua vez, é responsável pela implantação das ações e de seus objetivos e metas.

Embora o termo “gerenciamento” seja utilizado como sinônimo de gestão, esta é considerada mais abrangente que o gerenciamento, o qual compreende as ações de monitoramento de risco nas áreas perigosas e resposta a desastres, entre outras.

Quanto aos termos “risco” e “desastre” o uso popularizado pela mídia cria algumas distorções na compreensão dos seus efeitos e dos resultados imediatos esperados, a partir das ações emergenciais empreendidas.

Enquanto o risco é a possibilidade de ocorrência futura de um desastre (daí a necessidade da sua previsão), o desastre é o fato já ocorrido, trazendo perdas materiais e de vidas e danos psicossociais.

O risco resulta da combinação de dois fatores: uma condição propícia para a ocorrência do processo (susceptibilidade) e uma condição de fragilidade das pessoas, de suas moradias e da infraestrutura no local a ser afetada (vulnerabilidade).

Não há desastres sem risco, embora este último nem sempre se anuncie de forma explícita e compreensível, especialmente para a população em geral. Isso traz uma falsa noção de segurança que aumenta a vulnerabilidade da população e reduz a sua capacidade de reagir aos desastres. Por isso, a comunicação do risco é atualmente um tema da maior relevância na redução da vulnerabilidade das comunidades que ocupam áreas perigosas.

O termo “prevenção de riscos” abrange o conjunto das ações (análise – avaliação – mapeamento) exigidas para o conhecimento prévio dos riscos, sendo o passo inicial para uma política de redução de desastres.

O termo “redução de desastres” parte do conhecimento prévio dos riscos (porque, como e onde ocorrem e qual a perda presumida) e consiste na preparação para as emergências, que deve estar delineada num “plano de contingência” do qual constem ações preliminares para redução dos desastres esperados, como remoção preventiva de famílias, obras emergenciais e a logística para as ações e insumos necessários à resposta ao desastre.

O termo “redução do risco de desastres”, mais abrangente e adotado internacionalmente, expressa a aplicação de esforços sistemáticos e integrados para analisar e reduzir os fatores causais dos desastres, através da gestão sábia da terra e do meio

ambiente, da ação para reduzir a exposição a riscos diminuindo a vulnerabilidade de pessoas e bens, e de uma melhor preparação dos procedimentos para responder aos eventos adversos.

A classificação internacional (UN-ISDR)¹ bastante difundida e aplicada na gestão de riscos é apresentada no Quadro 1.

2 QUESTÕES INSTITUCIONAIS

No Brasil, criou-se uma dicotomia no exercício das ações preventivas para redução de riscos e mitigação de desastres, com a prevenção dos riscos associada aos problemas urbanos no âmbito do Ministério das Cidades e a resposta aos desastres executada pelo Ministério da Integração, através da Secretaria Nacional de Defesa Civil, sem o indispensável esforço de integração de ações, troca de informações, entre outras fragilidades interinstitucionais.

Os órgãos formais do Sistema de Defesa Civil nas três esferas de governo, em decorrência da falta de respaldo político e das deficiências técnicas em termos quantitativos e qualitativos, adotaram uma cultura de ação emergencial focada na resposta aos desastres, sem o necessário planejamento prévio, com perda de sinergias e de eficiência no uso dos recursos emergencialmente disponibilizados, como as dotações financeiras, as doações da sociedade, a ação voluntária, entre outros, ampliando com isso o sofrimento das comunidades vitimadas.

As ações de redução de risco, que vinham sendo desenvolvidas pela Secretaria de Programas Urbanos do Ministério das Cidades, desde 2003, tentavam compensar essa situação, viabilizando programas de prevenção de risco de deslizamentos, através da capacitação técnica das defesas civis das cidades mais críticas, para a análise e o mapeamento de risco em áreas de assentamentos precários, além de estimular e financiar os municípios para elaborarem Planos Municipais de Redução de Risco (análise e mapeamento, propostas de intervenção e estimativa dos recursos necessários), projetos básicos para contenção de encostas nos setores de maior risco e obras focadas na redução de risco de deslizamentos. Lamentavelmente, esses programas nunca incluíram o risco das inundações.

1 *International Strategy for Disaster Reduction - ONU*

Quadro 1 – Classificação e conceitos de riscos.

RISCOS	
Danos potenciais causados por eventos físicos, fenômenos ou atividade humana, que podem resultar em perdas de vidas ou ferimentos, danos à propriedade, rupturas sociais e econômicas ou degradação ambiental	
RISCOS NATURAIS	
Processos ou fenômenos naturais que ocorrem na biosfera e podem resultar em danos. Podem ser classificados de acordo com sua origem em: hidrometeorológicos, geológicos ou biológicos	
ORIGEM	FENÔMENOS
Riscos Hidrometeorológicos Processos naturais ou fenômenos de ordem atmosférica, hidrológica e oceânica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ inundações, fluxos de detritos ou de lama ▪ erosão hídrica e costeira ▪ ciclones tropicais, tempestades, ventos, chuvas e outros eventos climáticos severos, raios, relâmpagos ▪ secas, desertificação, incêndios florestais, temperaturas extremas, tempestade de areia e poeira ▪ solos congelados (permafrost), avalanches de neve
Riscos Geológicos Fenômenos terrestres naturais associados a processos endógenos tectônicos ou exógenos, como os movimentos de massa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ terremotos, maremotos (tsunamis) ▪ atividade e emissões vulcânicas ▪ movimentos de massa: deslizamentos, queda de rochas, corridas de lama, deslizamentos submarinos ▪ colapsos e atividades de falhas geológicas
Riscos Biológicos Processos de origem orgânica decorrentes de vetores biológicos, incluindo exposição a microrganismos patogênicos, toxinas e substâncias bioativas	<ul style="list-style-type: none"> ▪ surtos de doenças epidêmicas, contágio por planta ou animal e infestações extensivas (pragas de gafanhotos)
RISCOS TECNOLÓGICOS	
Perigo associado a acidentes tecnológicos ou industriais, falhas estruturais ou humanas que possam causar perdas de vidas, ferimentos, danos à propriedade, ruptura social ou econômica, ou danos ambientais, quase sempre associados a riscos antropogênicos . Exemplos: poluição industrial, emissão nuclear e radioatividade, lixo tóxico, ruptura de barragens, acidentes de transportes ou acidentes tecnológicos (explosões, incêndios, derramamentos)	
DEGRADAÇÃO AMBIENTAL	
Processos induzidos por comportamentos e atividades humanas (às vezes combinados com riscos naturais) que causam danos aos recursos naturais, impactam adversamente processos naturais e ecossistemas. Os efeitos potenciais são variados e podem contribuir para o aumento da vulnerabilidade, frequência ou intensidade dos riscos naturais. Exemplos: degradação da terra, desflorestamento, desertificação, incêndios florestais, perda da biodiversidade, poluição do ar e das águas, mudanças climáticas, subida do nível do mar, depleção de ozônio.	

Fonte: ISDR (2004) (www.unisdr.org).

Os Planos Diretores das cidades, instrumento da maior importância para orientar o uso e ocupação do solo, como também para o controle urbano, em sua quase totalidade não consideram parâmetros técnicos que contemplem os assentamentos informais precários. Os desastres, embora causem forte comoção em toda a sociedade e perdas materiais e de vidas para os que ocupam áreas perigosas, vêm sendo tratado com tema “anexo” e não, determinante das políticas de ocupação das áreas urbanas.

Em verdade, a causa primordial para a grande ocorrência de desastres no Brasil deve-se ao déficit de moradias para a população carente e à falta de controle urbano sobre a ocupação. Os geólogos, Álvaro Santos e Moacyr Schwab, em um memorial resultante de ampla discussão pela internet com a contribuição de vários profissionais que atuam na área de gestão de risco, afirmam:

“A produção técnica e científica da comunidade geológica, geotécnica e urbanística brasileira é de altíssimo nível, reconhecido internacionalmente, estando já totalmente disponibilizada para os mais diversos agentes sociais, públicos e privados responsáveis pelo ordenamento urbano. O principal entrave a uma melhor gestão do problema, dentro da qual se evitariam, ou seriam drasticamente reduzidos os problemas urbanos associados a riscos geológicos (...), está na resistência da administração pública, em seus diversos níveis, em exercer, com eficiência, competência e firmeza, seu papel de regulação técnica do crescimento urbano, especificamente no que se refere ao uso e ocupação do território”.

O Plano Nacional de Habitação do Ministério das Cidades (Brasil, 2010) destaca a grande desigualdade social e econômica e a herança resultante do processo de urbanização intensificado a partir dos anos 1940, como principais responsáveis pelos 3,2 milhões de domicílios em assentamentos precários. Esses assentamentos caracterizam-se pela informalidade na posse da terra, ausência ou insuficiência de infraestrutura, irregularidade no processo de ordenamento urbano, falta de acesso a serviços e moradias com graves problemas de habitabilidade, construídas pelos próprios moradores sem apoio técnico e institucional.

O déficit habitacional em áreas urbanas no Brasil, estimado pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio em 2009, é de 5,8 milhões de unidades habitacionais. O déficit rural também é expressivo

(1,4 milhão) e está concentrado nas regiões Norte e Nordeste. Essa situação responde por grande parte dos desastres que ocorrem no Brasil.

Por outro lado, os investimentos em prevenção são insignificantes, se comparados àqueles destinados às respostas a desastres, ressaltando-se que estes também ficam muito aquém das necessidades reais de recuperação e reconstrução. Estudo da Confederação Nacional de Municípios (CNM), realizado em 2010, sobre a emissão de portarias de reconhecimento de Situação de Emergência e Estado de Calamidade Pública pela Secretaria Nacional de Defesa Civil mostrou que entre 2006 e 2010, os recursos destinados à prevenção e à resposta foram de respectivamente R\$462.266.060 e R\$ 3.167.442.780.

3 A GESTÃO DE RISCO NO CONTEXTO INTERNACIONAL

3.1 A ação da ONU

O aumento da recorrência dos desastres naturais em quase todo o planeta, com intensidades e frequências acentuadas, vem levando gestores públicos e organizações não governamentais, a buscarem soluções sustentáveis para o problema. No final da década de 80, a Organização das Nações Unidas instituiu a década de 90 como a Década Internacional para a Redução dos Desastres Naturais (IDNDR)², que contou com a adesão de cerca de 180 países ao protocolo formulado.

Um grande esforço internacional de troca de experiências gerenciais e técnicas produziu ao longo desse decênio, uma abundante bibliografia³ contendo análises, novas ferramentas de avaliação, guias e procedimentos para a implementação de modelos de avaliação e gestão de risco.

Um modelo de abordagem preventiva para a gestão do risco foi difundido pelo UNDRR (Office of the United Nations Disasters Relief Co-ordinator) contendo as etapas:

- 1) Identificação dos riscos;
- 2) Análise e cartografia dos riscos;

² *International Decade for Natural Disaster Reduction*

³ Disponível em www.unisdr.org e em links sugeridos a partir desse sítio.

- 3) Medidas estruturais e não estruturais de prevenção de desastres;
- 4) Planejamento para situações de emergência;
- 5) Informações públicas e treinamento.

A recorrência de grandes desastres naturais envolvendo expressivo número de mortes (Figura 1) e elevadas perdas econômicas levaram à continuidade pela ONU desse mecanismo internacional, agora como uma ação contínua, sem prazo pré-estabelecido, sob a denominação de Estratégia

Internacional para a Redução de Desastres - ISDR⁴, redesenhada e redirecionada para aprofundar questões relacionadas a maiores níveis de segurança na convivência com os riscos e desastres, com destaque para as análises de vulnerabilidade e resiliência social, já que a década de 90 foi fortemente marcada pelo estudo dos processos destrutivos, das metodologias para a avaliação e mapeamento das suscetibilidades e das tecnologias para a minimização dos desastres.

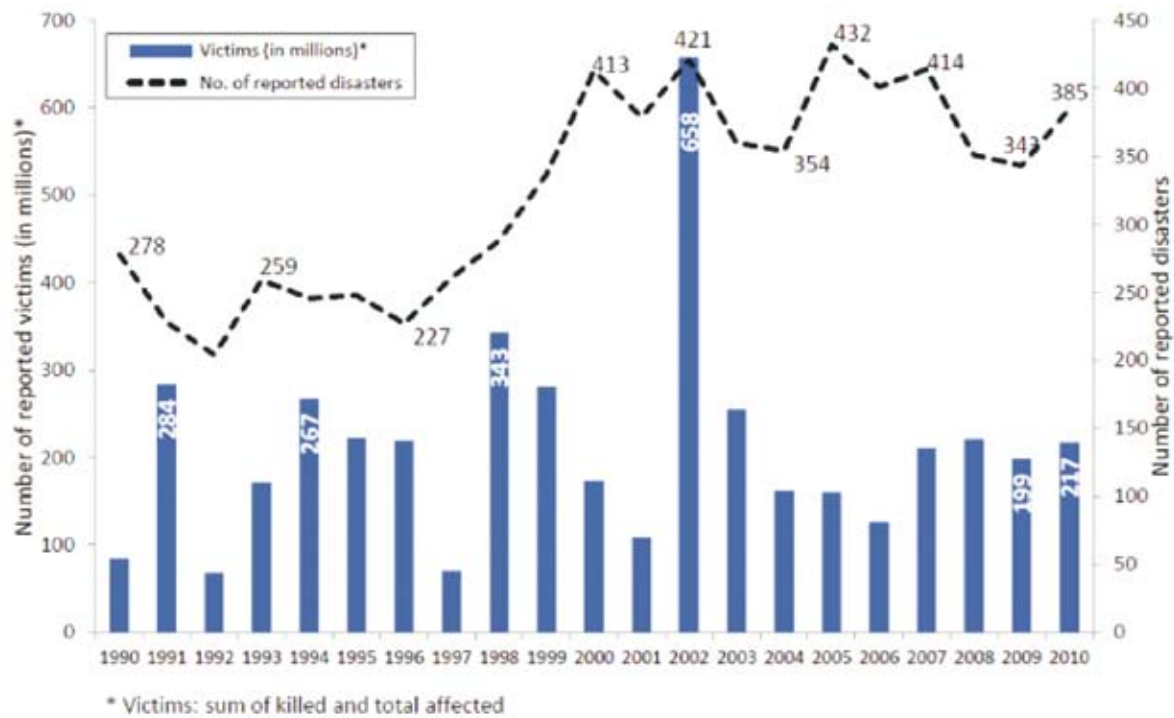


Figura 1 – Mortes x Desastres: impacto dos desastres naturais no mundo.

Fonte: Guha-Sapir et al. (2011)

Dada a diversidade dos temas abordados pela IDNDR (terremotos, deslizamentos, inundações, furacões, ciclones, secas, geadas, incêndios florestais, pragas de gafanhotos) áreas de conhecimento como: climatologia, sismologia, geologia, geomorfologia, engenharia hidráulica, engenharia geotécnica e saúde pública, ganharam impulsos na análise de riscos, razão pela qual um tempo significativo foi destinado à redefinição de conceitos e terminologias, que permitissem a adequada interface entre os diferentes técnicos, gestores e pesquisadores envolvidos.

Em maio de 1994, com o objetivo de realizar uma avaliação parcial da IDNDR, foi realizada

uma Conferência Mundial em Yokohama (Japão), onde foi aprovado por unanimidade o documento “Estratégia de Yokohama para um Mundo mais Seguro: Diretrizes para Prevenção, Resposta e Mitigação de Desastres Naturais”, contendo um Plano de Ação 1994-2004, cuja implementação continuou após a década, sob a coordenação da ISDR, criada no ano 2000. Inúmeros eventos ao longo desse período foram realizados para a discussão de idéias, formulação de políticas e produção de informação como guias, relatórios, livros, etc, material quase todo disponível na Internet (www.unisdr.org).

4 *International Strategy for Disaster Reduction*

A segunda Conferência Mundial para a Redução de Desastres - WCDR⁵ realizada em janeiro de 2005, em Kobe (Japão), se deu logo após a grande catástrofe ocorrida na Ásia, em decorrência de um terremoto com 9.3 graus na escala Richter, próximo a Sumatra, em 26/12/2004, que provocou um maremoto (tsunami) de grandes dimensões, deixando um saldo de cerca de 180 mil mortes, cinquenta mil desaparecidos e 500 mil desabrigados, em 11 países, com uma perda econômica incalculável.

Embora a própria Conferência Mundial já tivesse premonitoriamente escolhido importantes temas centrais relacionados a catástrofes, a ocorrência desse desastre estremeceu a comunidade científica, técnica e política reunida em Kobe, levando a um conjunto de diretrizes objetivas para a busca de resultados mais eficientes de prevenção e resposta a esses grandes desastres.

A Conferência aprovou o “Marco de Ação de Hyogo para 2005-2015: construindo a resiliência das nações e das comunidades aos desastres”⁶, estimulando a formação de “Plataformas Nacionais para Redução de Riscos de Desastres PN-RDD”, contando com o suporte da Secretaria Internacional da ISDR e do órgão representativo da Nações Unidas no país que aderir ao protocolo.

Com as sucessivas catástrofes ocorridas em vários países entre 2006 e 2011, o esforço internacional tem se ampliado e buscado apoiar de forma concreta os países mais vulneráveis, especialmente nos continentes africano e asiático. A Terceira Sessão da Plataforma Global para a Redução do Risco de Desastres, realizada juntamente com a Conferência Mundial sobre Reconstrução, ocorreu em maio de 2011, em Genebra, Suíça, reunindo mais de 2.600 delegados, representando 168 países, 25 organizações intergovernamentais, 65 ONGs e representantes da sociedade organizada.

Estes eventos tiveram como meta principal adaptar mecanismos inovadores de proteção social e gestão de ecossistemas sobre a base de conhecimento atual, a dinâmica da vulnerabilidade, para reduzir os efeitos dos desastres nas comunidades e grupos sociais mais vulneráveis.

Cada Plataforma Nacional de Redução de Risco de Desastres (PN-RRD) é um fórum constituído por um grupo nacional multi-setorial com o fim de promover a redução de desastres de forma integrada. A criação de Plataformas Nacionais tem se ampliado pelos vários continentes, incluindo países de diferentes graus de desenvolvimento, chegando atualmente a cerca de 50 Plataformas criadas ou em processo de criação. Infelizmente o Brasil ainda não conseguiu amadurecer sua articulação política interna, para constituir a Plataforma Brasileira de Redução de Risco de Desastres, mas as perspectivas para isso são bastante favoráveis, no atual contexto político e social brasileiro.

3.2 A política brasileira para a redução do risco de desastres

O Brasil foi signatário da IDNDR após os primeiros anos de sua criação, mostrando-se inicialmente relutante quanto a se reconhecer como país com desastres significativos, comparado àqueles submetidos a grandes tragédias mundiais. Mesmo assim, compreendeu a importância de sua participação no processo, mas a contribuição oficial que se deu pela via de representação diplomática foi tímida e limitada à participação em alguns eventos.

Em contraponto, a comunidade técnico-científica teve durante a década uma ação importante e de impacto para o cenário brasileiro, com a realização de pelo menos um evento anual incluindo a temática do risco, ora em Simpósios Nacionais associados a Congressos nas áreas de Geologia, Geologia de Engenharia e Engenharia Geotécnica, ora em eventos específicos, de caráter local, regional, nacional e internacional.

Diante dos registros de desastres de deslizamento, que provocavam maior número de vítimas no país, foi essa a área que teve maior impulso e permitiu a formação de importantes grupos de pesquisa, tendo como pioneiro o IPT/DIGEO (São Paulo), produzindo e irradiando conhecimentos técnicos de avaliação e gestão de risco, seguido por grupos no Rio de Janeiro (GeoRio), Recife (UFPE), Rio Claro (UNESP), entre outros.

5 *World Conference for Disaster Reduction*

6 *Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters* (HFA)

3.2.1 Ações para redução de riscos

Com a criação do Ministério das Cidades, em janeiro de 2003, e quase simultaneamente, da Coordenação de Prevenção de Riscos vinculada à Secretaria Nacional de Programas Urbanos, a análise de risco deixou de ser exclusividade dos redutos acadêmicos ou de ações isoladas de algumas poucas cidades no Brasil e passou a se constituir numa estratégia política, embasada em uma ação nacional de redução de riscos, até então não efetivamente consolidada como uma política pública.

Essa ação teve como ponto de partida um diagnóstico preliminar das cidades com ocorrência de desastres com vítimas fatais, sendo identificadas cerca de 150 cidades nessa situação. Foi realizado um Seminário Nacional, em Recife, ainda em 2003, para delinear o programa e as metodologias a serem adotadas para uniformizar a análise e o mapeamento de risco.

O programa considerou três eixos de ação principais:

- i) capacitação dos técnicos municipais ligados à defesa civil, obras e controle urbano;
- ii) realização do Plano Municipal de Redução de Risco – PMRR, contendo a análise e mapeamento de risco em assentamentos precários, propostas de intervenções estruturais e medidas não estruturais para a redução de risco, com disponibilização de recursos para a elaboração de projetos básicos em setores de risco alto e muito alto;
- iii) difusão de informações e troca de experiências através de eventos nacionais.

O eixo capacitação de equipes municipais apóia financeira e tecnicamente as administrações estaduais (atualmente PE, SP, MG, SC e RJ em parceria com governos estaduais e o Serviço Geológico do Brasil – CPRM) a realizarem treinamento de técnicos municipais para o gerenciamento de riscos nas cidades. Baseia-se em material e estratégias didático-pedagógicas aplicadas há mais de uma década, o que possibilitou a formulação e implementação de cursos presenciais em diversos estados e a sua adaptação para a modalidade de educação à distância, atingindo todo o território nacional. O material de treinamento “Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios”,

além de “Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração de Políticas Municipais” entre outros materiais para os cursos a distância e acesso a financiamentos estão disponíveis no sítio do ministério⁷.

O Plano Municipal de Redução de Risco, já elaborado em cerca de 60 cidades, tem por base o mapeamento de risco, em escala de detalhe (1:2.500) de todos os assentamentos precários em áreas de encostas, hierarquizando os setores de risco em quatro níveis – baixo – médio – alto – muito alto. Define quais as intervenções de engenharia e medidas de segurança em cada caso, indicando as principais fontes de recursos financeiros, as prioridades e os prazos necessários para a redução das situações de alto risco relacionadas a deslizamentos de encostas e margens de cursos d’água que atingem os assentamentos precários críticos do município. Essas intervenções devem ser compatibilizadas com medidas já propostas nos programas de saneamento, habitação de interesse social e urbanização e regularização fundiária de assentamentos precários, possibilitando a articulação das ações de redução de risco a cargo dos três níveis de governo. A elaboração de projetos básicos de estabilização de encostas tem por objetivo apoiar financeiramente os municípios na implantação das intervenções já definidas como prioritárias nos PMRRs elaborados.

Esse processo deve contar com ampla participação das comunidades das áreas perigosas e ser encerrada com uma Audiência Pública, envolvendo executivo, legislativo e demais lideranças políticas e sociais do município. Foram abertos Editais para financiar Projetos Básicos de Engenharia para Estabilização de Encostas nos municípios que já possuíssem o PMRR.

No eixo da difusão e troca de experiências foram organizados dois seminários de âmbito nacional envolvendo mais de 900 participantes de diversos estados do Brasil. O 1º Seminário Nacional, realizado em 2003, em Recife-PE, teve como objetivo montar as bases do programa nacional de apoio à gestão municipal de riscos em encostas urbanas, enquanto o 2º, realizado em 2006, em Belo Horizonte-

7 (http://www.cidades.gov.br/index.php?option=com_content&view=category&id=135:prevencao-erradicacao-de-riscos&layout=blog&Itemid=163)

MG, promoveu o intercâmbio de experiências municipais e estaduais na temática de gerenciamento de áreas de risco e ampliou a atuação nacional do programa. Encontra-se em fase de organização o 3º Seminário Nacional a ser realizado em Salvador, possivelmente no mês de outubro próximo.

De acordo com dados mais recentes do Ministério das Cidades, são estimados em cerca de 200, os municípios críticos no Brasil, localizados principalmente nos estados de SP, RJ, MG, PE, BA, ES, AL e SC (Figura 2), nos quais já ocorreram 3.109 mortes por deslizamentos (IPT, 2011).

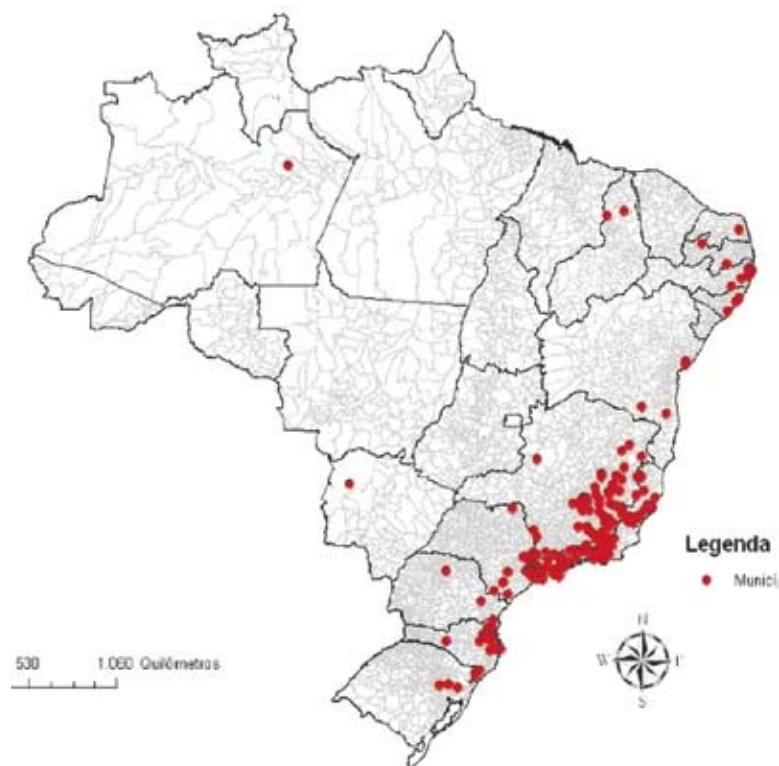


Figura 2 – Mortes por deslizamentos no Brasil.
Fonte: IPT (2011)

Encontra-se em fase de conclusão um atlas de risco do Brasil, onde consta um levantamento detalhado das situações de risco em todo o país, encomendado pela SEDEC à UFSC.

3.2.2 AÇÕES DE RESPOSTA A DESASTRES

O órgão que naturalmente assumiu esse papel foi a Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC), do Ministério da Integração Nacional, criado preliminarmente em 1942 durante a Segunda Guerra Mundial, com o papel de proteger a população civil dos efeitos da guerra, sofrendo reformulações ao longo do tempo, chegando à formatação atual de coordenação de um sistema (SINDEC), constituído por órgãos públicos nas três esferas de governo, tendo como instância superior o Conselho Nacional de Defesa Civil (CONDEC), formado

por representantes dos Ministérios e das Secretarias da Presidência da República.

A SEDEC coordena as ações da defesa civil nacional e tem sua ação direcionada de forma mais efetiva para as emergências, como as secas no nordeste e as inundações que afetam vários estados brasileiros. De acordo com a legislação vigente, o SINDEC tem como objetivo planejar, articular e coordenar as ações de defesa civil em todo o território nacional.

Entretanto, apesar dos esforços empreendidos, o sistema nacional de defesa civil nunca dispôs de respaldo técnico e político suficiente para assumir todas essas atribuições, fragilizado pela equipe insuficiente e pela falta de recursos orçamentários que fizessem jus ao tamanho do problema que precisa ser resolvido.

Um grande esforço tem sido feito pelos gestores sucessivos, no sentido de aperfeiçoar o sistema

de respostas aos desastres, com ações preventivas para a preparação do núcleo técnico nacional e das defesas civis dos municípios, especialmente no que se refere à mobilização dos municípios para a criação de Coordenadorias Municipais de Defesa Civil e de Núcleos Comunitários de Defesa Civil (NUDEC). Para isso tem investido em programas de capacitação para sensibilização e preparação das equipes municipais, pautados nas doutrinas da defesa civil e nos instrumentos que embasam sua ação.

No final de 2010 a Lei 12.340/2010 atualizou o modelo de defesa civil já definido no Decreto 7.257/2005, com ênfase na agilização das transferências de recursos em ações de socorro, assistência às vítimas, restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução nas áreas atingidas por desastre, e ainda, sobre o Fundo Especial para Calamidades Públicas.

Atualmente, esse sistema vem recebendo do governo federal um tratamento diferenciado, com mais respaldo político e orçamentário, que dá suporte ao processo de fortalecimento institucional e à busca incansável de efetiva intersetorialidade entre os órgãos públicos que assumem mais diretamente responsabilidades para com a defesa civil no país, como o Ministério da Integração Nacional - MIN (SEDEC) e o Ministério das Cidades (SNPU), entre outros.

O Seminário Internacional sobre Gestão Integrada de Riscos e Desastres, realizado em Brasília (março/2011), foi uma iniciativa do MIN, que contou com o apoio do Banco Mundial e da ISDR. Esse evento teve um importante papel no convencimento do governo brasileiro e trouxe uma excelente oportunidade de compartilhamento de experiências exitosas em redução de risco de desastres da América Latina e da Europa.

Nos primeiros meses de 2011, foi criado pelo MCT o Sistema Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais, ligado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, formado por quatro módulos principais:

- 1) Conhecimento dos Riscos;
- 2) Sistema de Monitoramento e Alerta;
- 3) Difusão e Comunicação; e
- 4) Capacidade de Resposta.

A implementação dos módulos 1 e 2 se dará ainda em 2011, com a instalação de uma sala de situação

do centro de monitoramento, prevista para setembro. De 2012 a 2014, serão concluídos os módulos 1 e 2 e implementados os módulos 3 e 4.

Será feito o levantamento e padronização de mapas de riscos dos municípios brasileiros críticos e as instituições responsáveis por esse trabalho serão: Secretaria Nacional de Programas Urbanos (SNPU) do Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Defesa Civil (SEDEC) do Ministério da Integração Nacional, Companhia de Pesquisa dos Recursos Minerais (CPRM), Agência Nacional de Águas (ANA) e Secretaria de Relações Institucionais da Presidência da República (SRI). A integração de informações hidrometeorológicas com os mapas de risco será feita ainda este ano, sob a responsabilidade do INPE.

4 CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES

O caráter de urgência que é colocado no momento atual para tratar de um assunto que exige muita reflexão, cautela, apropriação das boas experiências e uma boa fundamentação técnica, não deve ser incentivado.

Para a formulação de um planejamento de âmbito nacional, que envolva a reformulação de procedimentos do órgão central, ampliação da equipe técnica, um arranjo institucional assumido de fato pelos demais órgãos públicos e pela sociedade civil organizada, e que conte com o apoio de técnicos especializados e pesquisadores, é necessário um período de pelo menos um ano. Até a consolidação do Sistema, que exigirá um tempo maior, devem ser considerados os desdobramentos de curto e médio prazos a serem sucessivamente empreendidos pelos gestores federais, estaduais e municipais.

Como se pôde observar há vários gargalos para um bom desempenho da Gestão de Riscos e Desastres no Brasil. Faltam habitações para a população de baixa renda, capacidade técnica instituída na ação dos municípios, instrumentos técnicos disponibilizados e apropriados pelos municípios, controle urbano, recursos financeiros compatíveis com as demandas, mas essencialmente, falta planejamento e integração. E embora exista competência técnica por parte de especialistas e pesquisadores, esta ainda não conseguiu chegar à forma adequada para apropriação direta pelos gestores públicos.

Considerando que a gestão de riscos e desastres não pode ser apenas um “anexo” de outras Políticas de Estado, precisam ser construídos instrumentos de regulação focados na ação nacional e municipal (local), com atribuição de responsabilidades e definição de fontes orçamentárias para atender ao Sistema, de forma permanente.

Nesse sentido, um grande avanço proveio do Ministério do Planejamento que reduziu de 360 para 60, o número de programas orçamentários da União para o PPA 2012-2015, entre os quais foi incluído o programa Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, reconhecendo o tema definitivamente como uma questão de Estado. Os recursos desse programa foram destinados aos ministérios que têm interseção na defesa civil do país, especialmente os ministérios da Integração Nacional e das Cidades.

Os objetivos desse Programa orçamentário incluem os seguintes temas:

- Mapeamento da suscetibilidade a processos destrutivos nos municípios considerados críticos para desastres naturais (responsável: CPRM – Serviço Geológico do Brasil/MME);
- Mapeamento de risco em áreas ocupadas (responsável: Secretaria Nacional de Defesa Civil/MIN);
- Melhoria do Sistema Nacional de Defesa Civil (responsável: Secretaria Nacional de Defesa Civil/MIN);
- Obras emergenciais para redução do risco (responsável: Secretaria Nacional de Defesa Civil/MIN);
- Intervenções estruturais para prevenção de risco em encostas (responsável: Secretaria Nacional de Programas Urbanos/MCidades);
- Intervenções urbanas em margens de rios e canais (responsável: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental / MCidades);
- Sistema Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (responsável: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/MCT);
- Implantação de parques urbanos e melhorias ambientais (responsável: Secretaria de Meio Ambiente Urbano/MMA).

No programa orçamentário Planejamento Urbano, também consta um objetivo de grande relevância para a redução do risco direcionado a um instrumento indispensável para o controle do uso do solo urbano:

- Elaboração de Cartas Geotécnicas nos municípios críticos (responsável: Secretaria Nacional de Programas Urbanos/MCidades).

4.1 Propostas para a melhoria da gestão de risco no Brasil

As propostas que se seguem refletem o esforço coletivo de um número significativo de pesquisadores e técnicos das áreas de geologia, geotecnia e geologia de engenharia, que vêm discutindo de modo informal pela internet as dificuldades encontradas, a necessidade de valorização das experiências e estudos produzidos nessas áreas de conhecimento e a necessidade de estruturar um modelo de gestão de riscos e desastres para o país.

Essas propostas também foram discutidas com o Confea, para que fossem levadas a um Grupo de Trabalho criado pelo MIN, para propor melhorias no sistema nacional de defesa civil.

Qualquer modelo que se pretenda eficaz para a gestão de risco no Brasil, deverá considerar como premissas as seguintes questões:

- Desenvolvimento e fortalecimento da ação pública integrada com visão intersetorial, no âmbito nas três esferas de governo e construção de alianças no plano internacional;
- Ampliação de investimentos em ações preventivas, para induzir um círculo virtuoso na gestão de risco;
- Adoção de um modelo de abordagem para as ações de defesa civil, que melhore as ações de prevenção e preparação para os desastres, a operação e difusão de sistemas de alerta e a comunicação com a comunidade em risco;
- Atualização de metodologias para análise e cartografia de risco e adoção de novas tecnologias para a redução dos riscos e minimização dos desastres, apoiadas em recursos de fomento à pesquisa, direcionados para o tema.

4.1.1 DESENVOLVIMENTO E FORTALECIMENTO DA AÇÃO PÚBLICA INTEGRADA

A integração interinstitucional é um das graves dificuldades que o país enfrenta atualmente no que se refere à gestão dos riscos e desastres. A experiência da Estratégia Internacional apontou como saída para romper inércias tanto dos setores públicos, quanto da sociedade organizada, a criação das Plataformas Nacionais de Redução de Risco de Desastres, respaldadas num modelo, que vem sendo internacionalmente amadurecido e consolidado ao longo dos últimos anos, que se reafirmou no sucesso da terceira reunião mundial

sobre a Plataforma Global, realizada em Genebra, em maio deste ano.

A redução do risco de desastres é um tema complexo, transversal e de impacto no desenvolvimento, razão pela qual requer uma sabedoria coletiva e a soma dos esforços das instâncias decisórias na formulação de políticas nacionais (NU-EIRD, 2009).

A Plataforma Nacional para Redução de Riscos de Desastres é um Fórum de grande importância política e parte de uma ampla campanha de articulação dos órgãos e setores mais afetos às questões da segurança social, para a montagem de um arranjo institucional com respaldo político do Estado, envolvendo as três esferas de Governo e a sociedade civil. A Plataforma Brasileira é, portanto, uma prioridade da maior relevância para o contexto atual de desastres no país, demonstrada pelas dificuldades de articulação institucional durante as catástrofes recentemente ocorridas, podendo contribuir para o estabelecimento de alianças de trabalho, reunindo os formuladores das políticas públicas nacionais.

A Plataforma Nacional deverá ser o mecanismo de coordenação para associar a redução de risco de desastres às políticas públicas, ao planejamento e aos programas de desenvolvimento do país, atendendo às recomendações do Marco de Ação de Hyogo. Deverá ainda oferecer oportunidades à sociedade civil, especialmente às ONGs e às organizações comunitárias, para dialogar com o poder público acerca da redução de riscos e desastres e facilitar o estabelecimento de alianças no contexto internacional.

Para que essa ação se concretize é indispensável investir de forma permanente no fortalecimento institucional dos órgãos e setores responsáveis pela defesa civil do país, no que se refere ao reconhecimento da necessidade de ampliação e qualificação de um quadro técnico permanente, de infraestrutura para garantir a modernização da aplicação de novas metodologias e tecnologias e nas relações com a sociedade civil organizada, especialmente com as comunidades vulneráveis e em condição de risco.

4.1.2 AMPLIAÇÃO DE INVESTIMENTOS EM AÇÕES PREVENTIVAS

A aplicação de recursos na prevenção de riscos reduz consideravelmente as perdas financeiras,

os danos sociais e evita mortes desnecessárias. Embora repetido como um *mantra* por todos que atuam direta ou indiretamente na área de riscos e desastres naturais, isso não é observado na prática da gestão pública de riscos no Brasil. Conforme mostrado anteriormente neste trabalho, nos últimos cinco anos, a Defesa Civil nacional aplicou cerca de sete vezes mais recursos em resposta aos desastres do que em prevenção.

As perdas consideradas por ocasião dos desastres restringem-se quase sempre aos equipamentos públicos urbanos destruídos ou danificados, vias públicas, pontes e moradias das comunidades vulneráveis; não são consideradas as perdas privadas, subentendendo-se que as mesmas são de responsabilidade de seus proprietários e, portanto deveriam estar seguradas. Como em nosso país não se consolidou uma cultura securitária (essencialmente veículos são segurados), as perdas de moradias com todos os bens pessoais ali contidos, os estoques comerciais, os equipamentos do setor de serviços e de pequenas indústrias, a produção agrícola, entre outros, deixam essas pessoas atingidas, pobres e desamparadas, nivelando por baixo o sofrimento de todos.

Fruto da carência de habitações seguras para um grande contingente da população brasileira, o círculo vicioso que resulta na ocorrência de desastres é formado pela ocupação de áreas inadequadas e autoconstrução cortando encostas ou avançando sobre as margens de rios e canais, sem orientação técnica; segue-se uma convivência danosa entre o poder público e as comunidades carentes, deixando a questão da cidade informal para ser resolvida depois (quando?), sem ações efetivas de controle urbano no uso e ocupação do solo; como essas áreas são em sua maioria, bolsões de pobreza, ficam à margem de investimentos significativos para saneamento básico, especialmente esgotamento sanitário e drenagem pluvial; o clima tropical ou temperado, predominantemente úmido, implica em estações chuvosas com grande volume pluviométrico, que satura solos cortados e expostos em condições de prévia instabilidade, causando deslizamentos ou causa o transbordamento de leitos fluviais assoreados e ilegalmente ocupados, levando às inundações; famílias deslocadas dessas áreas afetadas retornam aos mesmos lugares de onde saíram ou ocupam posteriormente

novas áreas inadequadas, fechando esse abominável círculo.

Por outro lado, o círculo virtuoso inicia-se com a inclusão da cidade informal no planejamento do município; passando por um diagnóstico preciso de todo o território municipal obtido pelo Mapa de Suscetibilidades a determinados processos destrutivos (deslizamento, erosão, inundação), determinação das áreas disponíveis e adequadas para o crescimento urbano com base na Carta Geotécnica municipal e da análise e Mapa de Risco nas áreas ocupadas, geralmente com histórico de desastres; segue-se o estabelecimento de parâmetros técnicos para a ocupação

de novas áreas e o plano de reurbanização definidos no seu Plano Diretor e consubstanciados na Lei de Uso e Ocupação do Solo (LUOS), para corrigir os problemas existentes e evitar novos desastres; a construção de novas unidades habitacionais para realocar a população atingida por desastres ou em situação de risco; os investimentos de maior porte em saneamento básico e a construção de moradias em áreas seguras (o que reduz os riscos sanitários e de desastres, evitando consequentemente os altos custos envolvidos na resposta aos desastres, para a recuperação e reconstrução de áreas atingidas), fechando assim o desejado círculo (Figura 3).

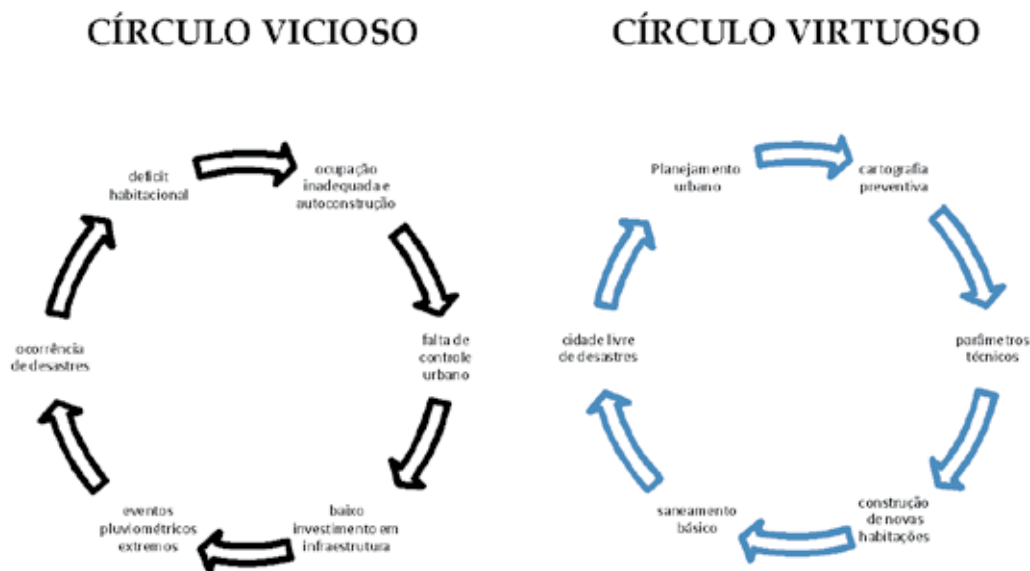


Figura 3 – Representação esquemática de círculos vicioso e virtuoso em gestão de risco.

4.1.3 MODELO DE ABORDAGEM PARA AS AÇÕES DA DEFESA CIVIL

O modelo de abordagem proposto para o uso da defesa civil no Brasil, mostrado no início deste trabalho, já vem sendo adotado em vários municípios e faz parte dos programas de capacitação desenvolvidos nos estados brasileiros mais críticos em termos de desastres, com a coordenação da SNPU do Ministério das Cidades. O que se propõe é a universalização do seu uso pelas defesas civis, especialmente pelos técnicos, gestores e pelos programas de capacitação da SEDEC.

A redução da vulnerabilidade das comunidades ameaçadas por desastres naturais é atualmente uma das maiores preocupações dos organismos

que trabalham com a redução do risco de desastres. Essa condição começa com a sua percepção do risco, o conhecimento das causas e consequências e o seu papel na redução e controle desses processos destrutivos. Isso implica um importante programa de comunicação de risco, que já vem sendo parcialmente desenvolvido pelos programas de saúde da família, com a participação dos agentes comunitários de saúde, em alguns estados do Brasil, mas que precisa ser instituído de forma permanente, para produzir resultados futuros significativos.

A comunicação do risco (contribuição do arquiteto Ney Dantas, do Departamento de arquitetura e Urbanismo da UFPE) abrange a orientação preventiva para a segurança da população, seja na

difusão de alertas para a evacuação das áreas mais perigosas, seja na preparação e capacitação da gestão pública para uma atuação mais qualificada das equipes técnicas. Deve se constituir em um programa de gestão do conhecimento, que aproxime a governança das comunidades sujeitas ao risco, garantindo a confiança indispensável para a aceitação das orientações emanadas do sistema de defesa civil. O processo de adaptação humana aos fatores e condicionantes do ambiente em que vivem está diretamente relacionado à compreensão do papel de cada um na construção, prevenção, mitigação e redução do risco e o desenvolvimento de uma convivência mais segura com estes fatores e condicionantes.

Esta convivência exige mecanismos e ferramentas eficientes de gestão do conhecimento e tecnologia da informação que permitam a difusão de conteúdos, e promovam comunicação e conectividade entre governo e a sociedade gerando ambientes colaborativos que favoreçam o surgimento de soluções inovadoras, eficientes e localizadas. O uso de redes sociais e ferramentas digitais colaborativas na mitigação de catástrofes têm demonstrado seu potencial em desastres recentes na África, Austrália e Japão. Desse modo, a formação de uma rede de conhecimentos e saberes pode atenuar significativamente o tempo de resposta às situações de calamidade.

4.1.4 ATUALIZAÇÃO DE METODOLOGIAS E ADOÇÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS

Após os grandes desastres ocorridos no Rio de Janeiro, em Angra dos Reis, em janeiro de 2010, e na região serrana, em janeiro de 2011, fortaleceu-se a convicção de que as metodologias adotadas para mapeamento de risco precisam ser revistas e adequadas aos diferentes contextos fisiográficos encontrados em nosso território.

Isso demandará esforços e investimentos em pesquisa e desenvolvimento pelos órgãos de fomento à pesquisa do Brasil, sob a forma de linhas de financiamento através de Editais específicos, o que já vem sendo discutido pelo menos há dois anos no MCT/FINEP.

Na área da cartografia urbanística e de riscos, observa-se a importância de revisar e difundir

metodologias e definir aplicações oportunas para os municípios críticos. Essa discussão foi realizada por um grupo de especialistas junto aos ministérios das Cidades e das Minas e Energia e na CPRM – Serviço Geológico do Brasil, abrangendo os seguintes instrumentos:

- a) Mapa de suscetibilidade na escala de planejamento municipal (1:25.000), que permita identificar as áreas propícias à ocorrência de processos do meio físico associados a desastres naturais;
- b) Carta geotécnica de aptidão à urbanização, na escala 1:25.000, para a definição de diretrizes técnicas para novos parcelamentos do solo e para planos de expansão urbana, de maneira a definir padrões de ocupação adequados face às situações de perigo relacionadas aos desastres naturais.
- c) Mapa de risco nas áreas ocupadas, na escala de intervenção (1:2.000), para o planejamento das intervenções estruturais de redução de riscos (implantação de obras de segurança ou remoção de moradias) e para a operação de planos de contingência de defesa civil.

Cabe ressaltar ainda que o atual estágio de percepção dos problemas aponta para a necessidade de revisão dos Planos Diretores municipais, especialmente nos municípios mais críticos, apropriando os novos conhecimentos e definindo parâmetros técnicos adequados para a segurança nas áreas mais suscetíveis e a requalificação urbanística das áreas de risco das cidades.

Agradecimentos

À ABGE e ao Prof. Lázaro Zuquette pelo convite da Revista RBGEA; a todos os colegas que participam informalmente do fórum pela internet, oportunamente provocado pelo geólogo Álvaro Santos; aos amigos Celso Carvalho, Fernando Nogueira e Eduardo Macedo, pelas lições aprendidas ao longo dos últimos 15 anos; ao arquiteto Ney Dantas, pela cessão de seus conhecimentos em gestão do conhecimento; à UFPE pelas oportunidades acadêmicas oferecidas e acolhimento dessa linha de pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

Alheiros, M.M.; Souza, L.A.; Dantas, N.; Otoni, A.B. 2011. Propostas para modernização do Sistema Nacional de Defesa Civil: Contribuição do Confea para uma Política Nacional de Segurança e Redução de Riscos de Desastres. Brasília, 23p. Disponível em <http://www.confea.org.br/>.

BRASIL 2010. Plano Nacional de Habitação. Ministério das Cidades / Secretaria Nacional de Habitação. Versão para debates. Primeira impressão: Maio de 2010, 212 p.

CNM 2010. Os Municípios com a maior incidência de Decretos de Calamidade Pública ou Situação de Emergência e o fluxo de recursos da Política Nacional de Defesa Civil. Confederação Nacional de Municípios, Estudo Técnico. Brasília, 21 p. Disponível em www.cnm.org.br. Acessado em 01/07/2011.

Guha-Sapir, D.; Vos, F.; Ponserre, S. Annual Disaster Statistical Review 2010: The numbers and trends. 2011. CRED - Université catholique de Louvain, Belgium, 50p. Disponível em http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2010.pdf. Acessado em 1/6/2011.

IPT 2011. Mortes por Deslizamentos no Brasil. Banco de Acidentes. Instituto de Pesquisas Tecnológicas/DIGEO/AGAMA. São Paulo.

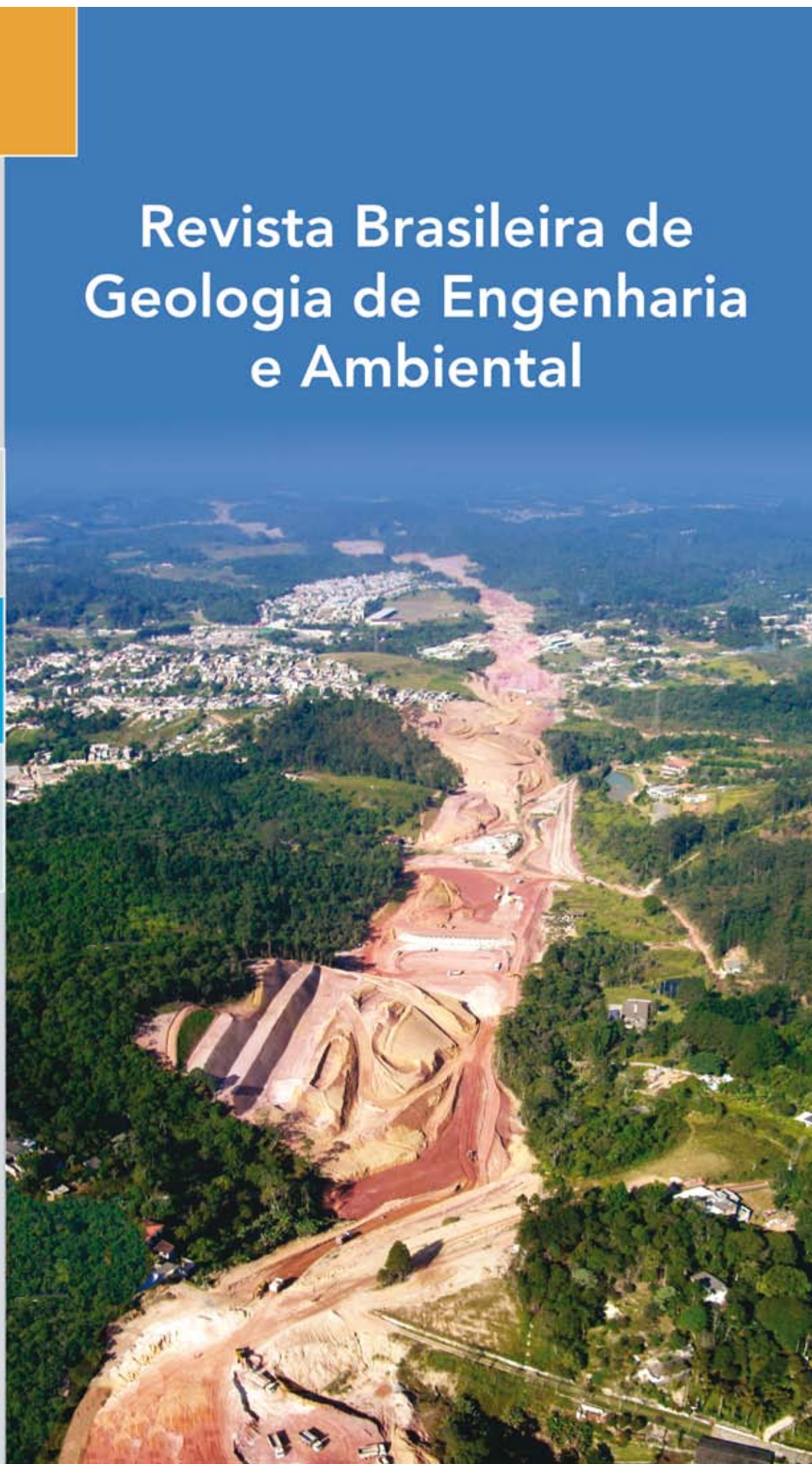
NU-EIRD 2009. Lineamientos: Plataformas Nacionales para la Reducción del Riesgo de Desastres. Geneva, 29p.

Oliveira, E. L. 2009. Demanda futura por moradias no Brasil 2003-2023: uma abordagem demográfica. Brasília. Ministério das Cidades, 144 p. + CD-ROM.



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

IMPORTÂNCIA DA GEOLOGIA DE ENGENHARIA E GEOMECÂNICA NA MINERAÇÃO

SÉRGIO N. A. DE BRITO
BVP Engenharia

PAULO R. C. CELLA
BVP Engenharia

RODRIGO P. FIGUEIREDO
UFOP, MG

RESUMO ABSTRACT

Discutem-se os requisitos mais importantes das várias etapas de estudo e projeto de empreendimentos em mineração. Em seguida, à luz de alguns comportamentos singulares de maciços de rocha branda ou competente evidenciados durante a lavra, examinam-se aspectos teóricos e práticos no campo da geologia de engenharia e projeto geomecânico que explicam tais comportamentos. Fica demonstrado que o envolvimento do projetista no acompanhamento da lavra, por vezes durante anos, apoiado no mapeamento geotécnico de detalhe e nos dados do monitoramento de maciços intemperizados ou são acarretam adaptações importantes no projeto inicial. O fruto disso é que soluções práticas e mais confiáveis podem ser alcançadas em casos de grande complexidade ou na ocorrência de feições geológicas adversas, não antecipadas.

Palavras-chaves: mineração, geomecânica, projeto, complexidade geológica.

No início do desenvolvimento da Geologia de Engenharia no Brasil, alavancado nas décadas de 60 a 80 pelo grande crescimento dos projetos hidrelétricos, a mineração ocupou lugar de pouco destaque em nossos congressos e na nossa própria atividade profissional.

Nos últimos anos temos assistido a um movimento inverso. O enorme desenvolvimento da

THE IMPORTANCE OF ENGINEERING GEOLOGY AND GEOMECHANICS IN MINING DESIGN

In the first part of this paper, the most important requirements to develop a sound mining project are shortly discussed accordingly to distinct phases of studies and design. In the second part, singular mechanical behavior of either weak or competent rock masses as established in real mines are closely analyzed upon theoretical and practical aspects of engineering geology and geotechnical design. It is shown that the mining process usually allows the designer to be closely involved in supervision of excavation over years in some cases, so that detailed geotechnical mapping of large volumes of weathered or fresh rock masses along with monitoring entail important adjustments to the initial design. As a result more reliable and practical solutions can be achieved as well the designer is allowed to tackle with unforeseen adverse conditions or complex behavior of geological materials.

Keywords: mining, geotechnical design, geological complexity.

indústria mineral brasileira, puxada pela grande demanda de nossos minérios, principalmente o minério de ferro, exigiu das empresas de engenharia a formação de equipes especializadas para suprirem a grande demanda de trabalhos solicitados. Podemos dizer hoje que a mineração não só utiliza o que existe de mais avançado nas tecnologias disponíveis dentro de geologia de engenharia e geotecnia

como precisou desenvolver tecnologias próprias. Isto se deve a algumas diferenças importantes que existem entre projetos de obras civis e de mineração, sendo características próprias dos projetos de mineração:

- Grande duração da lavra, que em geral se estende por dezenas de anos.
 - . Permite maior detalhamento dos estudos ao longo do tempo.
 - . Possibilidade de adaptação com o tempo.
 - . Possuem rigorosa avaliação de riscos (Sistema FEL/FMEA).
 - . Exigem considerações quanto ao abandono, em geral ocorrendo após décadas de seu início.
- Pode-se conviver com acidentes que não impliquem em perda de vidas, equipamento e reservas.
- Vários maciços podem e devem, devido às condições *in situ*, trabalhar no limite da funcionalidade, o que pode significar o ‘pós-ruptura’
- Grande impacto ambiental o que demanda projetos de conceitos integrados para redução de custos de restauração, com freqüente presença de contaminantes.

Como todo projeto de engenharia, várias áreas especializadas da engenharia participam dos estudos. Em mineração, esta associação tem que existir de maneira integrada desde o começo dos estudos. As principais áreas técnicas envolvidas são:

- Geologia mineral.
- Geologia de engenharia.
- Geotecnia/Geomecânica.
- Hidrologia/Hidráulica.
- Hidrogeologia.
- Geoquímica.
- Engenharia de minas.
- Engenharia estrutural.
- Engenharia ambiental.

As atividades da geologia de engenharia/geotecnia em mineração podem ser agrupadas em quatro grandes áreas, sendo que em cada uma delas, os interesses principais são os seguintes:

Mineração a céu aberto

- Dimensionamento de taludes.
- Controle da água superficial e subterrânea.
- Escavabilidade e controle de detonações.
- Trafegabilidade.
- Durabilidade dos materiais.
- Monitoramento.

Mineração subterrânea

- Dimensionamento de cavidades da lavra e do desenvolvimento.
- Dimensionamento de pilares.
- Dimensionamento de suportes.
- Controle de detonação.
- Previsão de efeitos na superfície.
- Monitoramento.

Estruturas auxiliares

- Barragens de rejeito.
- Barragens de água.
- Pilhas de estoque, estéril e de lixiviação.
- Fundação das usinas de processamento mineral.
- Vias de acesso e contenções de cortes e aterros.
- Monitoramento.

Impacto ambiental

- Recuperação de áreas escavadas e aterradas.
- Controle de contaminação.
- Previsão de comportamento no abandono.
- Monitoramento.

Todas essas atividades são desenvolvidas em várias fases de estudos da mineração: projeto, implantação, operação e abandono. Os Quadros 1, 2 e 3 sintetizam as demandas de projeto. A característica principal dessas fases é: grande rigor no controle de qualidade das fases de projeto e a grande extensão da fase operacional. Nesta fase, surge então a necessidade de prever comportamentos adversos e estabelecer os procedimentos que permitam minimizá-los ou remediá-los. Esta fase é extremamente dinâmica e exige uma participação permanente da geologia/geotecnia. A

única maneira de prevenir os problemas geomecânicos em uma mina é manter sempre uma equipe de geologia de engenharia e geotecnia na mina encarregada de:

- Mapear toda superfície escavada, mesmo provisória.
- Rever e atualizar permanentemente o modelo geomecânico da mina.

- Propor e supervisionar investigações complementares necessárias.
- Classificar os maciços rochosos encontrados.
- Setorizar as escavações em função do comportamento dos maciços.
- Antecipar o comportamento dos maciços na fase seguinte da lavra.
- Monitorar o comportamento das escavações.

Quadro 1 – Demanda de um projeto de mineração típico – Fase conceitual.

ESTRUTURA	DEMANDA BÁSICA	ESTUDOS E INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS REQUERIDOS
Lavra a Céu Aberto e Subterrânea	Unidades regionais;	Mapas regionais e Reconhecimento descontinuidades em afloramentos
	Contexto geológico no entorno da lavra;	Gênese dos solos e Perfil de intemperismo, Modelo geológico-estrutural preliminar Unidades hidrogeológicas e nível de água
	Sondagem geológica orientada	Litotipos, Anisotropias e Atitude de camadas
	Método de lavra	Descrição geotécnica dos testemunhos Inclinação global da cava Geometria geral da lavra, vãos máximos de realces por métodos empíricos
Pilha de Estéril	Estudo de volume de contenção	Reconhecimento superficial do local da disposição
	Arranjo Geométrico	Feições gerais da dinâmica da encosta e da várzea
	Distância de transporte	Tipo dos solos de cobertura
Diques de Sedimentação	Distância em relação à Pilha	Vale de fechamento em solo ou rocha,
	Dimensão da bacia de finos	Estabilidade de encostas
	Arranjo preliminar	Seção tipo da barragem, Plano do desvio construtivo, Posição preliminar do extravasor e canais, Materiais naturais de construção
Barragem de Rejeitos	Alternativas de fechamento e Dimensão da bacia de rejeito	Litotipos e estanqueidade no eixo e no perímetro da bacia, Diques de sela Vale de fechamento em solo ou rocha Estabilidade de encostas Materiais naturais de construção
	Posição do eixo no entorno da Usina	Reconhecimento da rota da tubulação e Método de disposição
	Físico-Química básica dos rejeitos	Granulometria e densidades, Necessidade de revestimento da bacia; Canal de captura do ingresso de águas pluviais

Quadro 2 – Demanda de um projeto de mineração típico – Fase viabilidade/básico.

ESTRUTURA	DEMANDA BÁSICA	ESTUDOS E INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS REQUERIDOS
Lavra a Céu Aberto e Subterrânea	Minério e Encaixantes;	Mapeamento e descrição sistemática de discontinuidades em afloramentos, Galerias de investigação e Sondagens com testemunhos orientados, Seções geológicas verticais e horizontais; Modelo geológico 3D
	Contexto geológico no entorno da lavra;	Ensaio geotécnicos dos solos e rochas, Seções geotécnicas com caracterização genética, textural e espessuras, Modelo hidrogeológico, Tensões gravitacionais
	Método de lavra	Setorização geomecânica, Definição de bancadas, taludes interrampas e globais Definição de realces por métodos empíricos e numéricos, pilares de realce e barreiras, Subsistência admissível, Medida de tensões naturais (eventual) Rebaixamento do lençol, Despressurização de taludes
Pilha de Estéril	Refinamento do arranjo geométrico	Definição da geometria de bancada e inclinação global, Drenagem periférica e de bancada
	Estabilidade geotécnica	Ensaio geotécnicos dos solos e Seções geotécnicas com caracterização genética, textural e espessuras, Modelo de percolação, Capacidade de carga e recalques admissíveis, Definição da remoção de solos inadequados
	Sistema de drenagem interna e Jazidas de materiais do drenantes	Modelo de fluxo da encosta, zona de recarga e desagendamento. Modelos de infiltração na pilha, Ensaio tecnológicos de materiais pétreos e transições
Diques de Sedimentação	Arranjo geométrico	Definição do reservatório de contenção, Modelo de sedimentação e taxas de erosão, Sondagens geotécnicas, Definição da seção típica Definição do extravasor e canais, Definição do desvio construtivo
	Jazidas de materiais de construção	Amostragem, Ensaio de caracterização, compactação e Cubagem
	Estabilidade geotécnica	Ensaio geotécnicos dos solos e Seções geotécnicas com caracterização genética, textural e espessuras, Modelo de percolação
	Medidas auxiliares	Definição de área de descarte dos sedimentos, Vias de acesso para descarte, Contenção e estabilidade dos sedimentos
Barragem de Rejeitos	Arranjo geométrico detalhado	Definição do eixo, Método de construção, Diques de sela, Definição do dique de partida e da seção típica, Posição do extravasor e emissários de etapa de operação, Projeto de escavação e aterros
	Plano de disposição de rejeitos	Método de disposição Projeto da rota da tubulação principal, Ângulo de praia, Fases de enchimento da bacia, Cálculo do volume, Etapas construtivas da barragem
	Caracterização geotécnica, física e química dos rejeitos	Ensaio geotécnicos básicos e especiais e de decantação, Método construtivo, Projeto do revestimento da bacia ¹ ; Dimensionamento de cortes e aterros de canais de captura do escoamento
	Estabilidade geotécnica	Ensaio geotécnicos dos solos e Seções geotécnicas com caracterização genética, textural e espessuras, Modelo de percolação, Sistema de drenagem interna, Definição da remoção de solos inadequados, Tratamentos de fundação, Potencial de liquefação estática, Plano de monitoramento da estrutura e da praia
	Manejo de rejeitos e controle da praia	Direções principais de lançamento, Ramais auxiliares, Distância entre pontos de descarga, Capacidade de suporte de tráfego e travessias,

Quadro 3 – Demanda de um projeto de mineração típico – Fase de operação.

ESTRUTURA	DEMANDA BÁSICA	ESTUDOS E INVESTIGAÇÕES GEOTÉCNICAS REQUERIDOS
Lavra a Céu Aberto e Subterrânea	Cava;	Mapeamento de detalhe dos taludes, Refinamento do modelo e geometria das unidades litológicas, Monitoramento hidrogeológico de detalhe e de deslocamentos em taludes importantes
	Lavra subterrânea;	Mapeamento de detalhe dos realces e desenvolvimentos, Refinamento do Modelo lito-estrutural, Medida do ingresso de água, Monitoramento de pilares, tetos, etc
	Cavas e Lavra subterrânea	Calibração dos modelos de análise (equilíbrio-limite, numérico, percolação), Revisão das dimensões de realces e pilares, Medida de tensões induzidas, Revisão dos setores geomecânicos da cava, definição de bermas de contenção e taludes interrampas e globais, Controle de detonações e danos aceitáveis
Pilha de Estéril	Controle do arranjo geométrico	Rebatimento de taludes, Controle de escoamento e erosões no topo e nos taludes, Recuperação dos 'greides' e revegetação, Integridade da drenagem periférica e encontro nas encostas
	Estabilidade geotécnica	Inspeção visual de bancadas, Monitoramento hidrogeotécnico na pilha e fundação, Revisão do modelo de percolação e pressões internas e na fundação, Calibração da análise de estabilidade, Monitoramento de deslocamentos superficiais e eventuais profundos
	Sistema de drenagem interna	Medidas de vazão no dreno de fundo, Controle de da velocidade do fluxo na saída e da turbidez
Diques de Sedimentação	Controle de desempenho	Verificação de taxa de assoreamento, Medidas de turbidez no extravasor, Limpeza periódica do lago, Controle da área de descarte e do sistema de contenção dos sedimentos removidos
	Estabilidade geotécnica	Inspeção visual, Monitoramento hidrogeotécnico e de deslocamentos
	Medidas Auxiliares	Controle de desmatamento e erosões no entorno do lago
Barragem de Rejeitos	Controle do arranjo geométrico da estrutura de contenção e do manejo do rejeito	Controle do método construtivo da estrutura de contenção, Controle da inclinação da praia e do escoamento do rejeito, dos pontos de lançamento e da distância de descargas adjacentes, Controle da drenagem e erosões dos taludes do maciço, Monitoramento dos cortes e do fluxo nos canais do extravasor, Controle do nível operacional e máximo do lago (borda livre)
	Caracterização geotécnica do rejeito na praia	Verificação da segregação no perfil da praia, Amostragem para ensaios laboratoriais convencionais e de resistência, Ensaios SPT e Piezocone
	Estabilidade geotécnica	Inspeção visual, Perfilagem piezométrica do maciço frontal de rejeitos, Monitoramento piezométrico e de deslocamentos da estrutura de contenção, Controle dos fluxos de saída do sistema de drenagem interna, Controles de risco de liquefação estática

Isto coloca a operação de mina em uma situação completamente diferente das outras atividades da engenharia, onde os proprietários têm desmantelado suas equipes e hoje dependem quase que integralmente de equipes terceirizadas. As empresas de mineração têm cada vez mais ampliado suas equipes de geologia de engenharia e geotecnia tanto para acompanhar seus projetos como para dar assistência permanente a suas operações.

A fase de engenharia detalhada consiste no refinamento das soluções da etapa de engenharia básica, na elaboração do projeto geométrico

de detalhe e das especificações técnicas finais. No descomissionamento, a carga de estudo é bastante variável dependendo muito das condições no final da lavra, do risco de contaminantes e no estado de conservação das estruturas auxiliares. Todas as intervenções na área deverão ser restauradas para a condição permanente com os respectivos planos de monitoramento. Não é intenção neste trabalho discorrer sobre todas estas atividades. Preferimos selecionar alguns casos históricos que ilustram de que maneira a geologia de engenharia e a geotecnia vêm sendo usadas em nossos projetos.

1.1 CASO 1 - ruptura de cunhas volumosas numa lavra subterrânea

A queda de grandes cunhas rochosas do teto de um nível de desenvolvimento em uma lavra subterrânea quando da escavação dos realces laterais, era algo inusitado. As cunhas eram altas e estreitas, e haviam sido ancoradas com cabos de aço. Até a abertura dos realces nenhuma instabilidade foi registrada. Na retroanálise das rupturas procurou-se avaliar a magnitude da redução das tensões laterais que atuavam nos planos das cunhas devido à abertura dos realces.

A mina já havia ultrapassado a profundidade de 500 m e o fenômeno ocorreu quase no fundo da lavra na El. -300 m, onde a tensão gravitacional podia atingir magnitudes acima de 15 MPa.

Essa mina sempre teve a conotação de ser uma lavra em maciço com elevado estado de tensões naturais. Ensaio de medida de tensões (dominantemente induzidas), retroanálises e deduções de geologia estrutural, feitos entre 1990 e 1995, em diversos estudos, apontaram coeficientes K (σ_h/σ_v) entre 2 e 4 e um estudo sugeriu uma tensão armazenada ('locked in') superior a 50 MPa. Apenas como referência, o menor coeficiente sugerido levaria facilmente a tensão horizontal para cerca de 30 MPa, o que tornaria a queda de cunhas com alturas de até 5-6 metros (Figura 1) uma grande surpresa. A Figura 1 mostra uma cunha rompida.

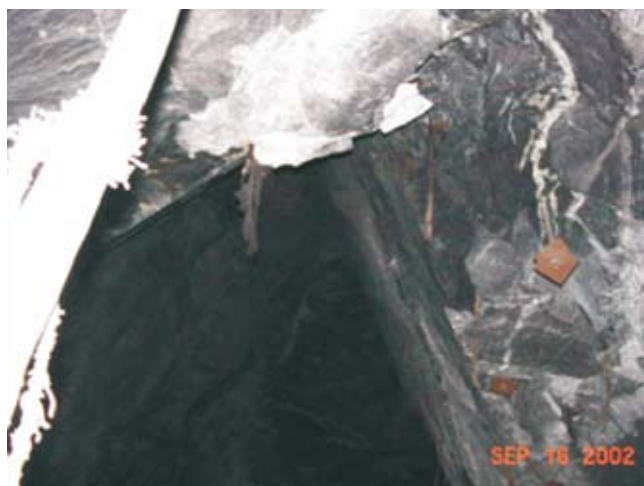


Figura 1 - Vazio deixado pela queda de uma cunha piramidal em desenvolvimento profundo da mina. Notar restos de cabos rompidos.

Para avaliação da tensão lateral atuante no teto da galeria na ruptura recorreu-se a um método

analítico de relaxação proposto por J. W. Bray (apud. Brady e Brown, 1985, 2004) que leva em conta a contribuição da tensão lateral na equação de equilíbrio.

O procedimento determina a força vertical P_I necessária para o equilíbrio-limite, a partir de uma condição inicial elástica, na qual a tensão lateral σ_{H_0} atuante impõe um esforço horizontal H_0 idêntico nos dois planos da cunha. Para simplificação do problema, foi admitido apenas o caso mais provável em que a rigidez normal nos planos da cunha é consideravelmente mais elevada que a rigidez tangencial - equação (1). A expressão reduz-se a:

$$P_I = \frac{2H_0 \operatorname{sen} \alpha \operatorname{sen}(\phi - \alpha)}{\operatorname{sen} \phi} \quad (1)$$

A Figura 2 ilustra a geometria da cunha típica de análise.

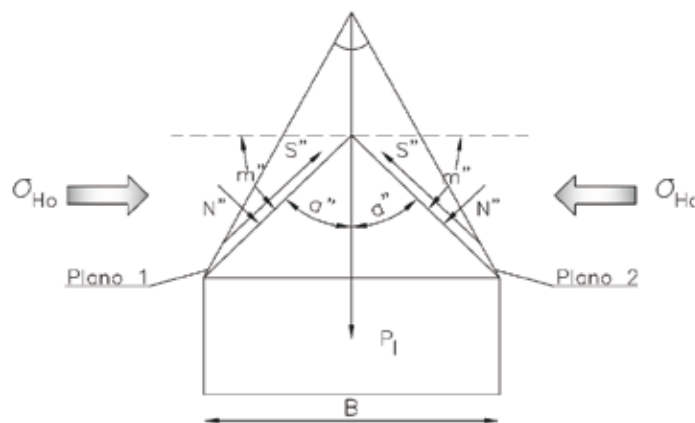


Fig. 2 - Cunha simétrica no teto de uma abertura subterrânea com vão B, parâmetros geométricos e forças atuantes (N, S) nos planos das discontinuidades que formam a cunha.

As combinações geométricas mais comuns das cunhas que desabaram do teto da galeria na El. -300 m foram determinadas com levantamento de detalhe a laser da "capela". Os parâmetros eram os seguintes:

- α : na faixa de 34° a 41° , predominante nas diversas seções levantadas, exceto junto das interseções com outra galeria;
- ϕ mais provável entre 35° e 42° , de acordo com o levantamento das discontinuidades efetuado em grande parte da mina

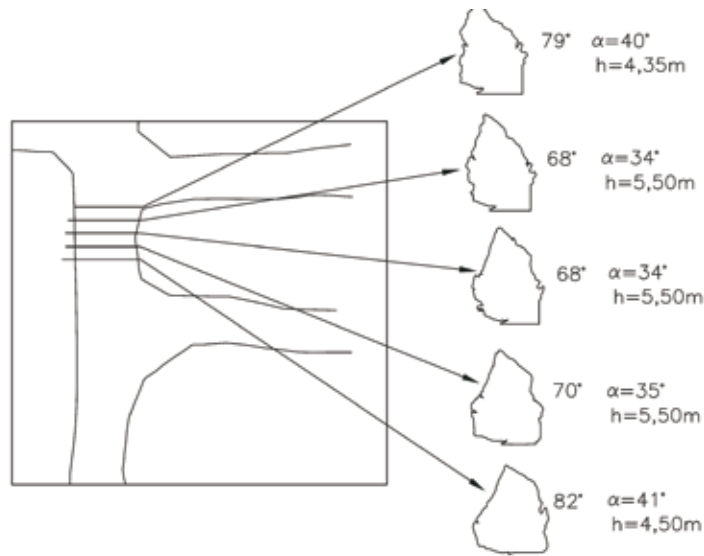


Figura 3 - Levantamento geométrico de detalhe das geometrias das cunhas de grandes dimensões colapsadas no El. -300 m.

A Tabela 4 mostra as combinações mais prováveis dos parâmetros geométricos e geomecânicos em jogo

O Coeficiente de Equilíbrio (CE) é expresso pela diferença entre a força virtual P_l e o peso da cunha. Quando P_l iguala o peso do bloco, tem-se o equilíbrio-limite e CE tende ao valor unitário. Valores de CE negativos ou muito baixos exigem a aplicação de suporte. A razão P_l/W pode ser adotada como próxima do conceito de Fator de Segurança (FS), sendo aceitáveis valores acima de $FS=1,3$. Na retroanálise, valores da razão P_l/W muito baixos (em módulo) indicam quais são as combinações mais prováveis dos ângulos de atrito mobilizados com os ângulos apicais e alturas medidos. A compatibilidade foi encontrada com adoção do σ_{Ho} de 0,4 MPa.

Cerca de quatro anos depois deste estudo, foram feitas determinações das tensões próximas aos realces a 700 m de profundidade e o resultado encontrado, conforme relatório interno da mina, foi de 0,8 MPa para a menor tensão principal. A tensão vertical era tão mais elevada que a horizontal que

as paredes da galeria chegaram a ceder por compressão e flambagem na queda de cunhas pouco mais largas que o vão (Figura 3).

1.1.1 AVALIAÇÃO DA PERDA DA CAPACIDADE DE ANCORAGEM DOS CABOS

O desempenho dos cabos é afetado pela variação da tensão de confinamento no maciço. A Figura 4 mostra a variação da tensão horizontal induzida na galeria da El. -240 m pela escavação dos realces laterais, calculada por elementos finitos. Para um campo gravitacional hidrostático a tensão horizontal *in situ* seria da ordem de 18 MPa. Assumindo uma concentração de tensões mínima no entorno da galeria de duas vezes, chega-se a tensões da ordem de 36 MPa previamente à abertura do realce vizinho. Observando a Figura 4, verifica-se um valor médio para as tensões atuantes no teto da referida galeria de -8,5 MPa (faixa em azul claro), o que indica um desconfinamento total de 44,5 MPa.

Tabela 4 - Combinações de ϕ , α e altura das cunhas e valores da razão de P_l /Peso da cunha (W) expressos como Coeficiente de Equilíbrio (CE).

RETROANÁLISE								
CE = P_l/W								
Altura da cunha (m)	α - Ângulo apical (graus)	ϕ - Ângulo de atrito (graus)						
		20	25	30	35	40	42	45
3,75	45	-17,6	-11,5	-7,4	-4,3	-1,9	-1,1	0
4,4	41	-10,7	-6,6	-3,8	-1,8	-0,2	0,4	1,1
5,4	35	-5,3	-2,9	-1,2	0	0,9	1,3	1,7
7,5	27	-1,2	-0,2	0,4	0,9	1,3	1,4	1,6

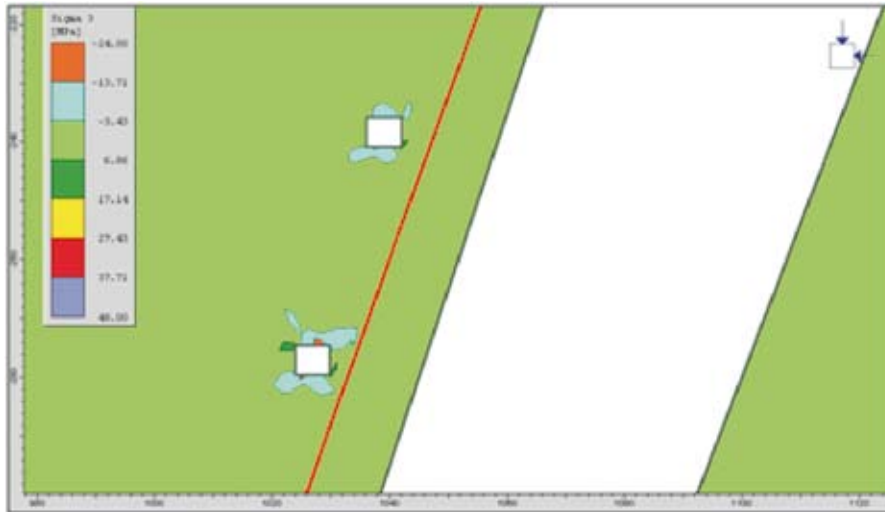


Figura 4 - Detalhe da relaxação de tensões horizontais nas galerias da El. -240 m após abertura do realce lateral.

Para avaliação da resistência ao cisalhamento disponível no cabo após a relaxação, foi realizado um estudo paramétrico com o programa computacional Cablebond-GRC, do Canadá, que permite análises de sensibilidade com variação do módulo de deformabilidade do maciço. O programa estima o efeito da variação das tensões normais atuantes na ancoragem após a instalação do elemento de suporte.

A faixa de variação do módulo do maciço foi de 20 GPa a 40 GPa e a amplitude do decréscimo da tensão lateral foi de 40 MPa (descompressão), após a abertura do realce vizinho.

A Figura 5 apresenta os resultados da análise paramétrica mostrando a redução da resistência ao cisalhamento (MPa) ao longo do cabo como

consequência de diferentes intensidades de relaxação das tensões no teto das galerias, para diversas condições (módulos) do maciço rochoso.

Nota-se que, para o maciço com módulo de deformabilidade médio de 30 GPa, a relaxação alcançada em certas regiões nas galerias adjacentes aos realces provoca a redução da resistência ao cisalhamento na interface de mais de 4 MPa para 1,6 MPa, em um cabo com embutimento de 2,5 m na cunha e injetado com calda com relação Água:Cimento de 0,4:1. Isto levou a estreitar a malha inicial do sistema de ancoragem para 1,5 m x 1,5 m, compatível com a demanda de aderência máxima de 1,8 MPa requerida para estabilização das cunhas de maior dimensão que haviam sofrido ruptura.

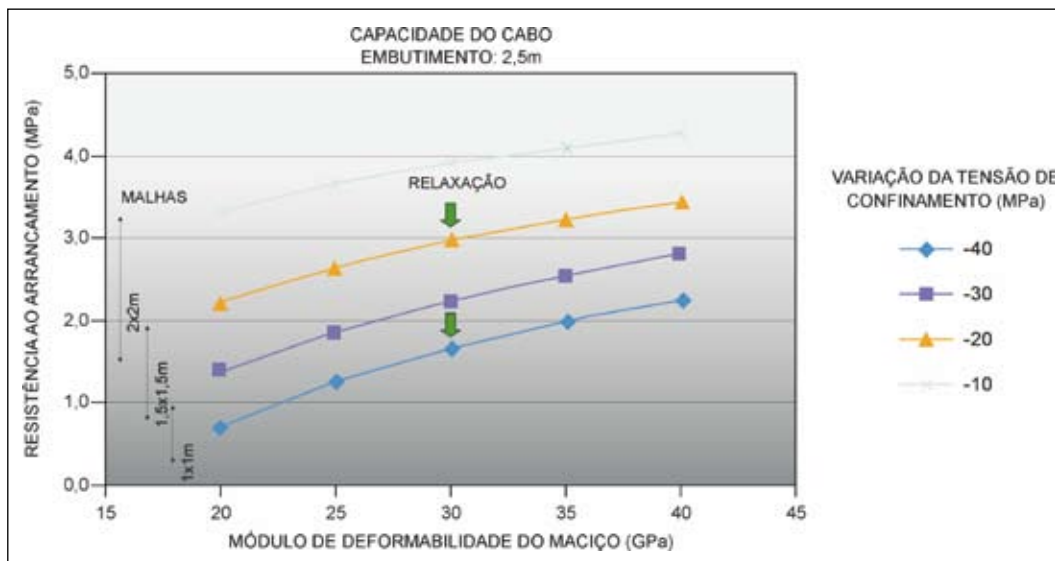


Figura 5 - Perda da capacidade do cabo em função da relaxação das tensões no teto das galerias, para diversas condições do maciço rochoso. Foram lançadas faixas da demanda de aderência nas malhas de 2 x 2 m, 1,5 x 1,5 m e 1 x 1 m, para várias cunhas com altura maior que 4 m.

A tensão de aderência requerida é atingida mediante a instalação de um comprimento suficiente do cabo no interior do bloco instável (embutimento).

Este caso coloca em evidência uma característica peculiar da lavra subterrânea em que diferentes trajetórias de carregamento levam maciços similares a exibir comportamentos muito diferenciados, dependendo do posicionamento em zonas de concentração ou relaxação de tensões induzidas pelas aberturas. Em geral, tais condições coexistem numa lavra em função da geometria dos realces e da sequência da escavação.

1.2 CASO 2 - metodologia de dimensionamento de bancadas e taludes interrampas em cavas rochosas

A sequência de dimensionamento dos taludes em rocha deve sempre ser iniciada pelo dimensionamento das bancadas, seguindo para o dimensionamento inter-rampa e finalmente a definição do talude global. Na escala das bancadas é onde ocorre a maior influência das descontinuidades rochosas. Os dois problemas envolvidos são: a definição da inclinação da face do talude e da largura da bancada de modo a acomodar eventuais rupturas localizadas.

O método mencionado em seguida busca, além de definir a setorização da cava em função do padrão estrutural e dos modos de rupturas similares, que já é prática consagrada, os seguintes alvos:

- Definir as cunhas e as rupturas planares críticas, diferindo de outros programas por operar, vetorialmente, grande número de planos e blocos, podendo-se combinar entre si todos os planos medidos no mapeamento ou optar por combinações de planos dentro de margens de dispersão em torno do vetor médio. O resultado é a determinação dos blocos potencialmente instáveis de maior frequência definidos sem adoção de orientações médias de famílias ou de planos selecionados

arbitrariamente nos estereogramas das descontinuidades.

- Calcular os volumes dos blocos potencialmente instáveis no corte, o volume aproximado do material rompido e a distância de alcance na bancada, com base nos ângulos de repouso das massas maiores.
- Dimensionar o ponto ótimo de conjugação geomecânica e operacional para largura de berma de contenção e ângulo de face de bancada.

O ponto ótimo deve ser encontrado entre a geometria da bancada que praticamente elimina os riscos de deslizamentos estruturalmente controlados e a configuração com a qual se associa um número reduzido de instabilidades que possam ser contidas nas bermas, evitando que os blocos desprendidos atinjam o fundo da cava.

O fluxograma da Figura 6 sintetiza os passos principais do método (Cella et al, 2008).

O ponto central da metodologia é estimar qual será a perda sistemática da crista da bancada, isto é o 'backbreak' típico a ser adicionado à largura requerida para contenção dos blocos potencialmente instáveis da berma superior. Por sua vez, a largura da contenção é definida com base no volume dos blocos críticos mais frequentes, determinados de acordo com uma função de distribuição de frequência das persistências das descontinuidades mapeadas no setor. Se a berma resultante da adição do 'backbreak' à largura da contenção for inferior à berma operacional, adota-se a berma operacional para definição do talude interrampa, caso contrário avalia-se qual o ponto ótimo entre o aumento requerido da largura de contenção e a inclinação da face da bancada, segundo critérios operacionais e econômicos. Importante ressaltar que não se adota valores médios nem de orientação espacial, nem de persistência das descontinuidades, o que permite a aproximação de uma condição de operar a cava com percentual aceitável de rupturas factíveis de serem contidas na própria bancada.

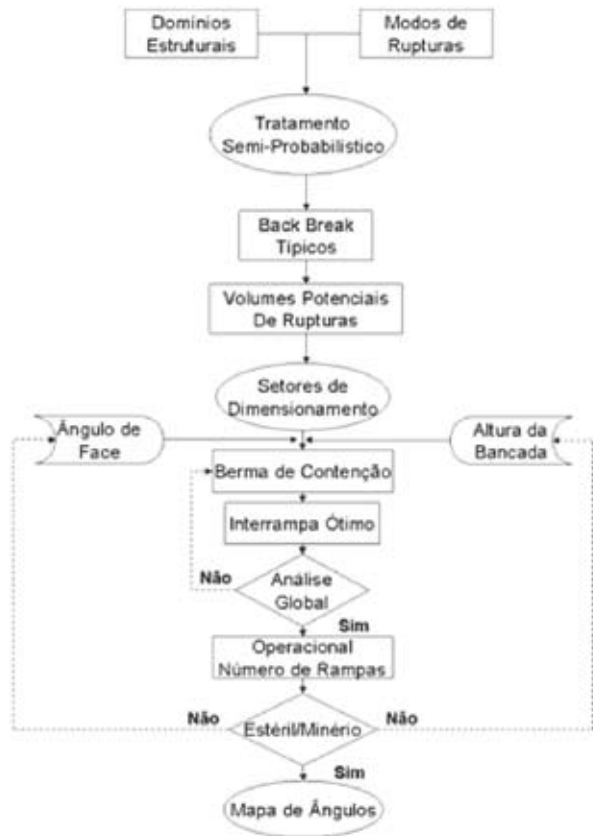


Figura 6 - Fluxograma da metodologia de dimensionamento de cavas rochosas (Cella et al., 2008)

A Figura 7 apresenta exemplo da planilha de cálculo do volume no corte e na bancada, após a ruptura, de uma cunha crítica com tamanho significativo em relação á altura da bancada. As cunhas nessa condição são definidas a partir de um critério de corte na distribuição de freqüências das persistências dos planos que formam a cunha o mesmo valendo para as superfícies planares potenciais.

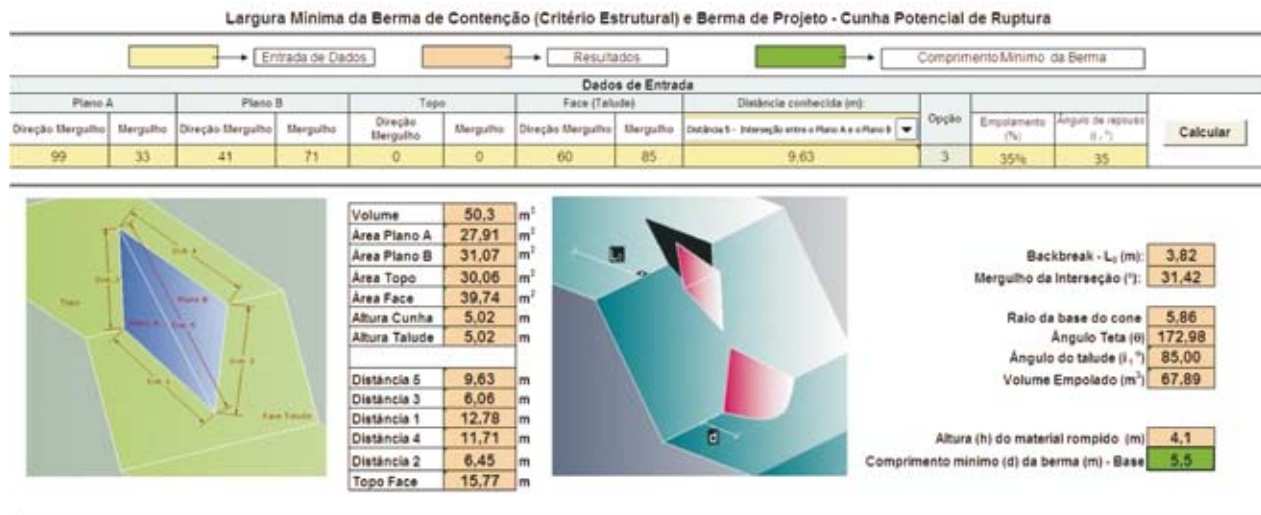


Figura 7 - Exemplo de cálculo para definição da largura mínima da berma necessária para conter na bancada o alcance (d) da cunha instável, de alta freqüência, e o 'backbreak' na berma superior (L).

A Figura 8 ilustra o passo seguinte onde se avalia a correlação entre o ângulo inter-rampa (pé-pé) e a inclinação do talude de face da bancada. Nesse caso, indica que 65° corresponde ao ponto ótimo.



Figura 8 - Ponto ótimo na correlação dos ângulos de face de bancada (°) versus inter-rampa (°).

A adoção de um ângulo de face mais íngreme que 65° na bancada conduziria à necessidade de aumentar a largura da berma de contenção, que eventualmente pode superar a largura operacional, e levar ao abatimento desnecessário do talude interrampa. Se adotada uma inclinação da face inferior a 65°, o talude interrampa acaba suavizado sem qualquer benefício pois a berma de contenção tem largura menor que a requerida operacionalmente.

O produto final é o mapa de setorização da cava com a definição dos níveis de risco associados à freqüência dos blocos críticos.

A Figura 9 mostra um mapa de risco gerado nos diversos setores de uma cava rochosa.

O risco indicado em três categorias cromáticas corresponde às faixas de probabilidade estimadas de que rupturas potenciais possam gerar escombros que excedem a largura da berma praticada na cava. Esse nível de risco é mais importante porque os escombros cuja distância de lançamento ultrapassa a largura da berma de contenção podem atingir níveis inferiores da cava com grande impacto destrutivo, mesmo de blocos de dimensões reduzidas.

Em um segundo nível, considerando o universo complementar de rupturas que seriam contidas nas bermas existirá blocos potencialmente instáveis no talude cuja ruptura mesmo que contida inteiramente na largura da berma representa risco operacional para o tráfego local de pessoas e equipamentos.

No primeiro caso, o risco pode ser reduzido com o aumento da largura da berma de contenção

ou também com uso de técnica de desmonte ajustada ao padrão de compartimentação estrutural do setor específico.

No segundo caso, o risco deverá ser identificado no mapeamento depois do desmonte e da remoção dos blocos soltos. A solução ideal deverá ser definida caso a caso.

É importante discutir qual faixa de probabilidade pode ser considerada satisfatória para a condição de operação. Em tese, qualquer ruptura cujo lançamento excede a largura da berma é indesejável e deveria ser evitada. Porém, como se sabe, se o talude for dimensionado para 'risco zero', adotando-se largura de berma capaz de conter o espalhamento de qualquer ruptura potencial, a lavra certamente se tornaria inviável economicamente.

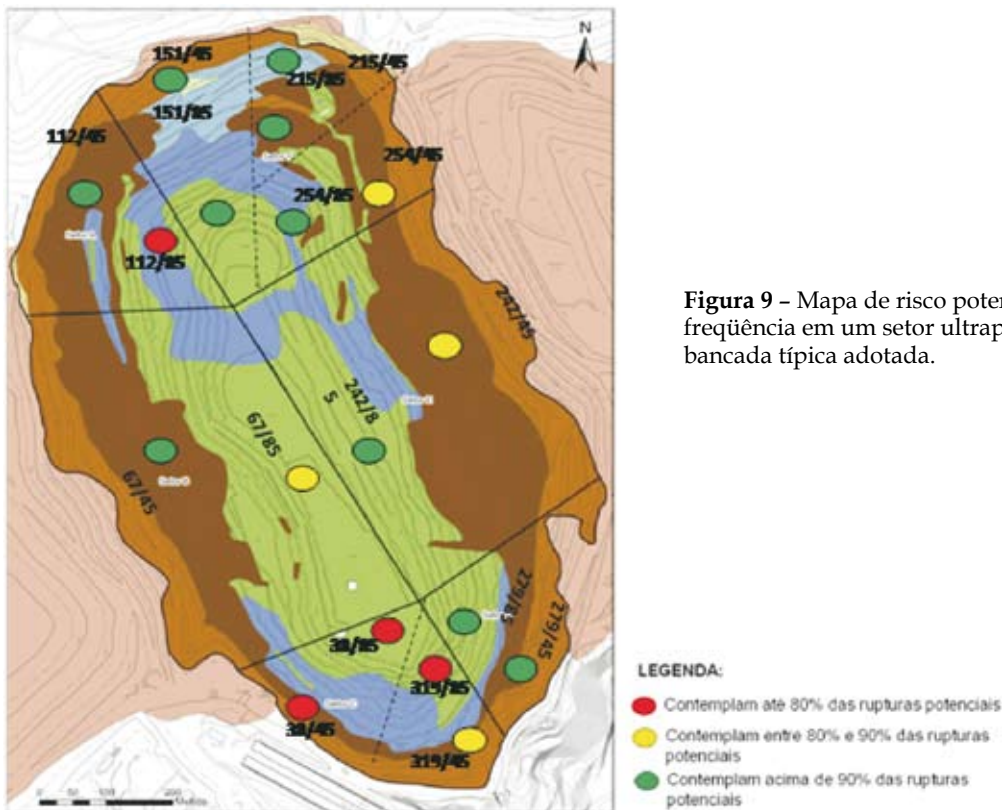


Figura 9 – Mapa de risco potencial de uma ruptura de alta frequência em um setor ultrapassar o limite da berma da bancada típica adotada.

O que resta então é reconhecer nos setores de maior risco quais são os tipos de ruptura potencial que estão associados com os maiores volumes de instabilidade e adotar condições operacionais mais adequadas à situação local. As medidas possíveis são:

- Ajustar a geometria do plano de fogo de modo a reduzir o dano para uma compartimentação específica do maciço;

- Minimizar a penetração da onda de choque no maciço da bancada, já que as instabilidades de grande volume são mais profundas e, por isso, mais confinadas, com maior chance de preservarem o encaixe original das paredes das discontinuidades e o coeficiente de atrito natural. Com isso apenas os blocos mais superficiais, de menor volume, sofrem maior abalo;

- Reduzir a dimensão de um bloco de grande dimensão em situação comprovadamente de risco definida no mapeamento e por análise de estabilidade da geometria específica do bloco;
- Isolamento temporário de áreas abaixo do local em situação crítica;
- Operar com maior nível de risco em áreas selecionadas;

A aplicação de reforço do maciço é rara em taludes de mineração e só se mostra aceitável em casos específicos para estabilizações localizadas.

Este caso demonstra como taludes rochosos de mais de 500 m de altura podem operar com segurança e razão estéril-minério aceitáveis maximizando as probabilidades de retenção de blocos instáveis na bancada. A metodologia foi desenvolvida para projeto em conjunto com a dissertação de mestrado (UFOP, em fase final) de Felipe N. dos Santos e inclui um programa de automatização das planilhas.

1.3 CASO 3 - mina de ferro a céu aberto no quadrilátero ferrífero, MG

A apresentação deste caso privilegia o registro histórico de mais de 10 anos de acompanhamento do talude. Expõe toda a evolução do conhecimento geológico à medida que o comportamento observado do talude impunha a reinterpretação do modelo inicial, baseado em sondagens geológicas com penetração de apenas poucos metros no filito do talude da lapa e no mapeamento das bancadas iniciais da cava, portanto, em informações muito superficiais.

Em julho de 2001 identificou-se uma trinca com mais de 400m de extensão e uma dezena de centímetros de abertura no alto do talude oeste, quase todo escavado em filito alterado (A4), à época com cerca de 160 m de altura e inclinação média de 35°. Iniciou-se o monitoramento através de réguas em superfície e de marcos superficiais. Duas hipóteses foram levantadas para a origem da trinca. A primeira, na época considerada a mais provável, seria um processo de alívio de tensões no filito cuja foliação mergulha em direção da cava, levando à formação da trinca de tração na crista do talude. A outra hipótese seria um processo de ruptura bi-planar ao longo de uma zona de fraqueza paralela à xistosidade, na porção superior

do talude, e cortando a foliação na base da cava. Foram construídas 5 trincheiras profundas no alto do talude para verificar a continuidade da trinca, indicada com profundidade de 25 m no modelo de elementos finitos elaborado para avaliação da hipótese de desconfinamento lateral do talude. Entretanto, observou-se que a fenda de tração morria a pequena profundidade numa zona de fraqueza paralela à foliação, com mergulho de 40-50°, que mostrava que o movimento no topo do talude era condicionado pela foliação. Pares de pinos de leitura foram instalados no interior da trincheira para se acompanhar os deslocamentos tangenciais num plano em que o deslocamento era evidente.

Análises de verificação de uma possível ruptura bi-planar reforçaram inicialmente essa hipótese e executaram-se 5 sondagens na porção mais alta do talude oeste na tentativa de interceptar a zona de fraqueza em maior profundidade, entretanto de difícil identificação nos testemunhos de filito muito intemperizado.

Durante todo o restante do ano de 2001 a trinca continuou se abrindo na superfície do terreno e a zona de fraqueza coincidente com a foliação acumulava deslocamentos tangenciais de alguns milímetros.

Em janeiro de 2002, aconteceram instabilidades de pequena monta, uma delas causada por flambagem (“*buckling*”) da foliação que localmente tinha a direção e o mergulho da face da bancada, onde a coluna de rocha, numa altura de 15m, rompeu-se sob peso próprio no pé da bancada. Apesar do pequeno alcance, essa ruptura levou à desconfiança de um fenômeno similar na grande escala na base do talude. Em abril de 2002, suspeitou-se que o modelo poderia envolver então movimentos de cisalhamento ao longo de planos da foliação no topo do talude transferindo carga para as regiões inferiores do filito, que se deformava mais acentuadamente levando a rupturas localizadas.

Em junho de 2002, foi observada uma movimentação importante da trinca. Em nova inspeção do talude, verificou-se, dentro de uma das trincheiras, um deslocamento de 20 mm em 13 dias, ao longo da foliação, denotando aceleração do movimento. Percebeu-se também que a trinca agora se estendia para bancadas inferiores na porção mais a sul, o que indicava encurvamento na direção da face do talude. Nessa época, decidiu-se pelo retaludamento parcial

de cerca de 30 m no topo do talude, com volume aproximado de 360.000 m³ a serem removidos no prazo aproximado de 3 meses, com o objetivo de desacelerar o movimento, o que surtiu efeito.

As análises de estabilidade realizadas desde 1996, incluindo as de suporte ao retaludamento, examinaram diversas configurações possíveis do talude bem como vários parâmetros de resistência para o filito decomposto (A4), que incorporavam resultados de ensaios de 1998 e resultados de várias retroanálises de rupturas de bancadas. Ocorreu sistematicamente uma tendência ao abatimento do ângulo médio de inclinação do talude global de 38°, com FS mais baixo, até 31°, desde 1996 até 2002. Durante a fase operacional, FS=1,2 foram aceitos e se mostraram adequados, pois as rupturas puderam ser controladas antes de se tornarem graves.

Essa tendência está associada à evolução do Modelo Geológico, calcado inicialmente em algumas sondagens e depois em observações do comportamento real do talude. As feições que induziram a avaliação inicial da resistência mais alta foram intercalações de filito moderadamente alterado e ferruginizações nos planos de foliação por percolação. As primeiras não se mostraram contínuas exceto por dois corpos e as ferruginizações não penetravam mais que 30-40 m no maciço.

Neste período a trinca aumentou de 400 para 500 m de extensão, mas adquiriu-se um conhecimento bem mais abalizado sobre a origem dos movimenros e o modelo geológico foi substancialmente alterado.

O aparecimento de deslizamentos afetando duas bancadas (h=30 m) condicionados por superfícies espelhadas assinala pela primeira vez a possibilidade de resistências bem mais baixas na escala das dezenas de metros, com o ângulo de atrito avaliado

em torno de 25-26° e reforçou a suspeita da existência de uma superfície de fraqueza pré-existente mais profunda, afetando a porção superior do talude e já submetida a movimentações prévias.

A deformação global do talude foi, portanto, explicada por cisalhamento conjugado em planos de foliação com mergulho de 40-50° no topo da cava e transferência de carga para o bloco inferior do filito alterado, que se deformava ou sofria ruptura localizada. Inúmeras retroanálises de rupturas na escala de duas e até três bancadas levaram à adoção de valores de resistência para a superfície global paralela à foliação, com $c=15$ kPa e $\phi=26,5^\circ$.

O talude de filito foi sempre considerado seco devido ao efeito drenante que o rebaixamento da cava exercia sobre ele. A partir de certa profundidade começou a surgir água na face do talude. Furos horizontais profundos foram feitos e pôde-se rever o modelo hidrogeológico com a descoberta de camadas permeáveis de metachert dentro do filito e que podiam reter a água. Este modelo foi então incorporado nas análises.

Nessa etapa da lavra, a parede inferior da cava já avançava praticamente em filito com foliação subvertical. A interpretação do processo global de deformação envolveu cisalhamento na foliação com mergulho médio na zona superior do talude e flexão da foliação na zona inferior de altos ângulos de mergulho. O cisalhamento na foliação parecia empurrar o maciço na zona de inflexão do ângulo médio para o ângulo mais íngreme de mergulho. Por ser esta zona de inflexão conformada em filito brando, ela não se rompeu subitamente e evoluiu por ruptura progressiva da massa na zona inferior do talude.

A Figura 10 mostra as principais características geológicas da cava.

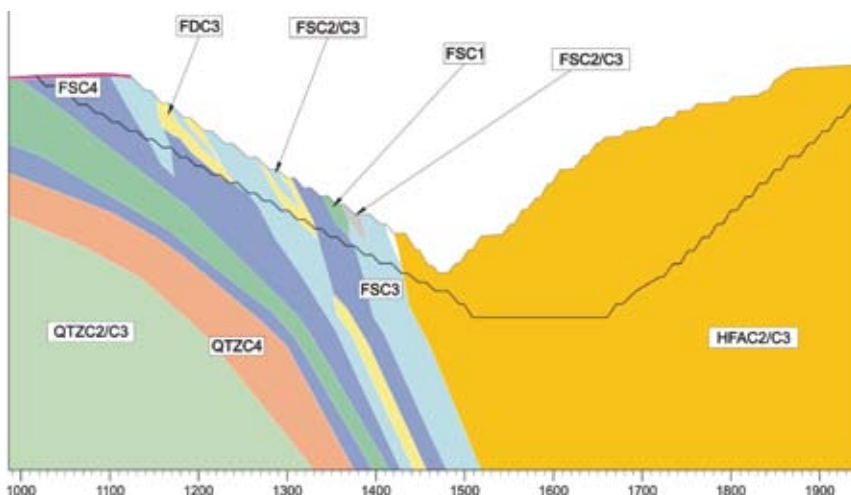


Figura 10 – Síntese da geologia da cava atual e final com a presença no talude oeste de filito dolomítico (FD) e sericítico (FS), consistências dominantes C4 e C3, e formação ferrífera (HFA) no talude leste.

O modelo final idealizado da deformação do talude no filito alterado é sintetizado na Figura 11.

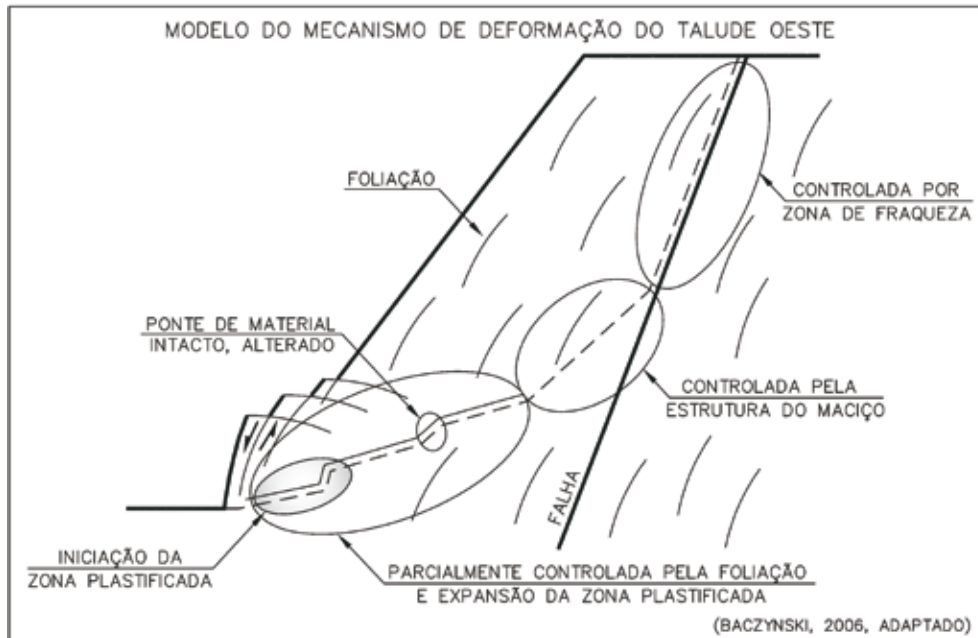


Figura 11 - Modelo idealizado da deformação do talude em filito da cava.

Este modelo foi adaptado de Baczyński (2000), que considera apenas o caso de corpo rígido, não sujeito as grandes deformações. No caso do filito, alterado, o comportamento é mais plástico e a zona de plastificação penetra paulatinamente até níveis mais internos na base do talude.

A Figura 12 ilustra o cisalhamento reverso dos planos externos da foliação em relação aos planos internos causado pela expansão na zona de inflexão da foliação, na porção basal do talude.

A evolução do mecanismo decorre inicialmente da transferência de carga para o pé do talude em virtude do cisalhamento pela foliação na zona superior. Com aprofundamento da cava, a concentração de tensões no pé do talude leva a rupturas localizadas, o que causa a transferência gradual do excesso de tensão para zonas mais e mais internas, caracterizando uma região de fraqueza na base do talude. Pelo fato do filito se apresentar com consistência branda C4 e C3, a ruptura ocorre de modo progressivo. O alívio no plano de cisalhamento na foliação em razão da remoção de uma massa no topo com altura de apenas 20% da altura total na época do aparecimento da trinca explica porque ocorreu forte redução na aceleração do movimento, uma vez que a transferência de carga excessiva cessou.

O talude foi então objeto de um novo dimensionamento, usando o modelo que se estabeleceu e vem sendo retaludado para as suas dimensões finais. Como esta escavação é feita de cima para baixo, a parte inferior do talude não pôde ser conformada ainda segundo a inclinação global prevista de 28°. Mas como a escavação tem que prosseguir, para liberação do minério, taludes provisórios localmente instáveis são adotados. Novas rupturas localizadas são observadas que têm permitido a confirmação do modelo.

Este caso coloca em relevo um aspecto muito peculiar da mineração: de como a evolução gradual do conhecimento do modelo geológico e do mecanismo de deformação mediante o acompanhamento sistemático da lavra ao longo de anos foi decisivo na busca de condições de segurança no momento mais crítico, quando a cava se aproxima de sua altura máxima. A razão estéril-minério pôde ser bastante otimizada até praticamente mais da metade do tempo de lavra com a prática de talude mais íngreme, com grande deformação, mas mantendo a funcionalidade do talude, apenas requerendo a antecipação de uma parcela menor do 'push back' que fatalmente ocorreria mais adiante.



Figura 12 – Cisalhamento reverso na zona inferior do talude com foliação com alto ângulo devido a mecanismo de cisalhamento superior e deformação horizontal na base.

1.4 CASO 4 – mina subterrânea no Peru

A mina R, poli-metálica, foi lavrada inicialmente a céu aberto, até os anos sessenta, nos Andes peruanos. O fundo da cava final variava entre as El. 4200 e 4250 m. A encosta original acima da cava prossegue até a El. 5000 m, com uma inclinação média de 32° , localmente variando de 34° a 37° . Um grande escorregamento se formou na encosta durante a lavra a céu aberto atingindo a El. 4400 m aproximadamente (Figura 13 em 2007, já afetada pela mina subterrânea).

A mina foi retomada em 2002 como uma lavra subterrânea, usando o método de abatimento por sub-nível. O material abatido imediatamente atingiu o fundo da cava formando buracos arredondados e quando a lavra atingiu a El. 4190 m alguma instabilização foi notada no talude. Quando a lavra alcançou a El. 4150 m, uma grande cicatriz foi observada contornando o antigo escorregamento e se estendendo até a El. 4600 m.



Figura 13 – Vista frontal do talude da cava.

O minério está desenvolvido em uma grande zona de cisalhamento sub-vertical. A qualidade geomecânica do minério e da rocha encaixante é muito ruim. O programa ROCLAB (www.rocs-science.com) foi usado para avaliar os parâmetros geomecânicos do maciço. Três materiais foram identificados:

- Tufos – Dominam ao longo do talude e são constituídos principalmente de rocha dura acamadada com mergulho em geral em torno de 20° para dentro da encosta.
- Zona fraturada no entorno do minério – É uma rocha muito fraturada e cisalhada e localmente intemperizada com cerca de 20m de espessura de cada lado do minério.
- Minério – Altamente fraturado e cisalhado e muito intemperizado.

O mecanismo ligando o método de lavra por abatimento à reativação da instabilidade do talude é muito claro e não despertava dúvidas. A grande dúvida que surgiu era se seria possível que o escorregamento viesse a se estender em profundidade e fechar a mina subterrânea.

A primeira análise realizada envolveu o padrão da subsidência que seria causada pela lavra. Para isso usou-se os estudos desenvolvidos por Evert Hoek e que constam de Brady e Brown (2004). Pôde-se perceber que as trincas formadas na encosta não se encaixavam no padrão que seria de se esperar para uma subsidência típica. Elas não se desenvolviam paralelas ao corpo mineral. A superfície de ruptura se desenvolvia quase que paralelamente à superfície do talude e era muito suave quando comparada com a que seria previsível para este tipo de abatimento.

A primeira conclusão foi que o mecanismo de subsidência não era convencional neste caso e que atuava da seguinte maneira:

- Devido à má qualidade do maciço na lavra subterrânea, o abatimento ocorria muito rapidamente, “sugando” o material do fundo da cava.
- A retirada de material do fundo da cava descalçava o antigo escorregamento reativando seu movimento.
- Por outro lado, o material escorregado da encosta voltava a encher o fundo da cava e alimentava automaticamente o enchimento impedindo que um mecanismo clássico de abatimento com ruptura do “hanging wall” se estabelecesse.

Tabela 5 - Parâmetros geomecânicos dos maciços da mina.

MATERIAL	LITOLOGIA	RMR	Q	GSI	Rc (MPa)	mi	c (MPa)	ϕ	E (MPa)
HW afastado	Tufo	30-40	0,21-0,64	55	60	16	0,6	49°	3.540
HW imediato	Andesito	20-30	0,07-0,21	30	30	25	0,32	39,6°	528
Minério	Andesito Sulfetado	<20	<0,07	15	30	25	0,19	31°	315

Análises numéricas usando o programa de elementos finitos elasto-plástico PHASE 2 (www.rocsience.com) modelaram toda a encosta até sua

altura máxima e a lavra subterrânea em 8 estágios (subníveis), o que permitiu comprovar o mecanismo interpretado (Figura 14).

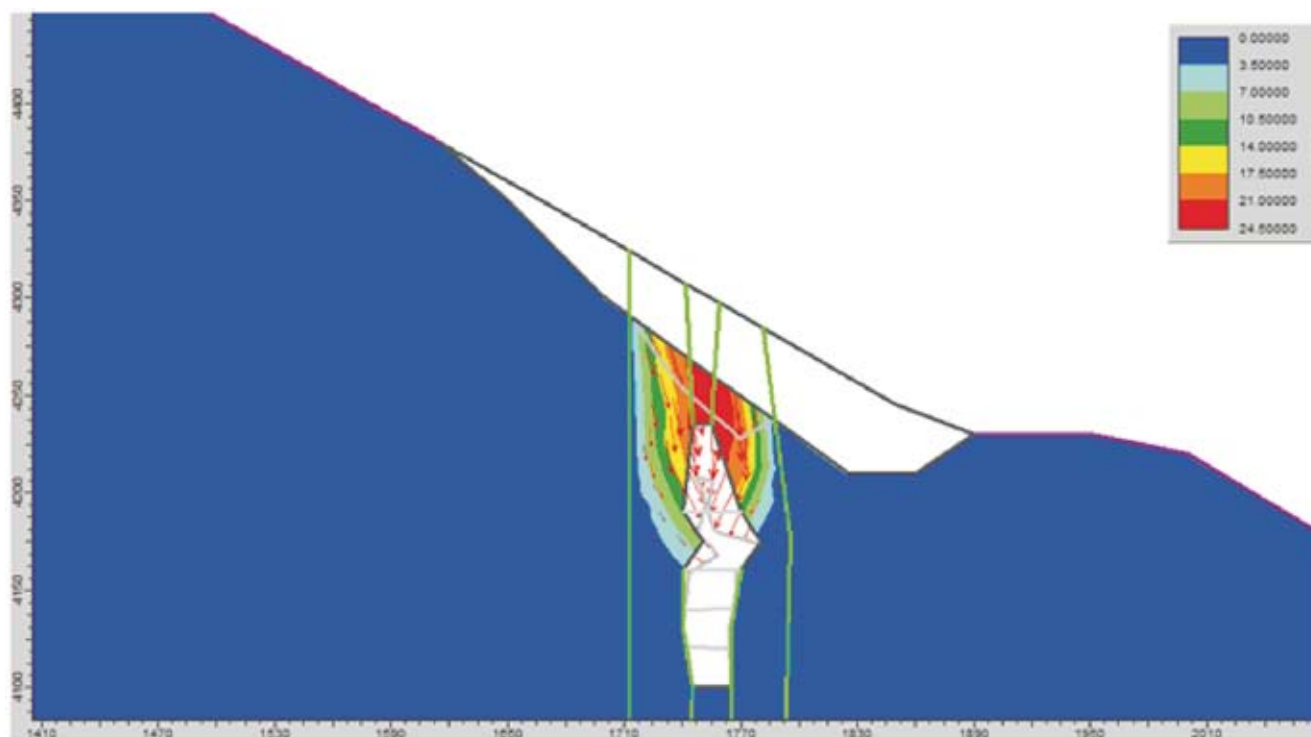


Figura 14 - Cone de deslocamentos (m) no entorno da cavidade.

- Os deslocamentos ocorrem muito perto da zona de minério e estão claramente relacionados ao abatimento.
- Instabilizações localizadas são observadas ao longo do talude devido ao abatimento, mas não causam grandes deslocamentos.

O maciço no entorno da lavra apresenta um comportamento pastoso (“squeezing”) que é responsável pelas grandes deformações no entorno das escavações. Se isto apresenta vantagens por minimizar o efeito do abatimento clássico, criou deformações excessivas no suporte selecionado, que era constituído de cambotas rígidas soldadas com perfil “I” de 4” e 6” (Figura 15).



Figura 15 - Cambotas rígidas deformadas.

Isto levou à utilização de suportes cedentes (“yielding”). Foram selecionadas as cambotas com perfil TH com três elementos e duas juntas de deslizamento, que permitem absorver deformações tanto verticais como horizontais, com um fechamento de até 0,5m, aliviando desta maneira as cargas atuantes (Figura 16).

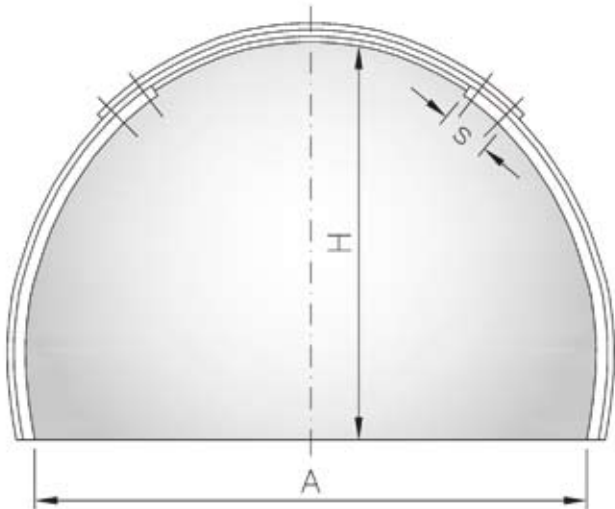


Figura 16 - Seção típica com cambota cedente.

A seção de escavação foi aumentada de modo a permitir manter o vão necessário, após as deformações de cedência. As análises consideraram a seção sem “invert” e com ele, rígido ou cedente.

As análises que permitiram dimensionar este suporte foram também feitas usando o PHASE 2 (www.rocscience.com).

O modelo computacional foi desenvolvido em 4 estágios: (1) aplicação da carga devida ao estado de tensão natural (gravitacional e hidrostático); (2) simulação de uma condição equivalente à escavação da frente; (3) simulação da condição do momento de instalação das cambotas cedentes, 1m atrás da frente; (4) situação final depois de uma convergência total da seção escavada e mobilização da reação completa do suporte.

Para representar os estágios (3) e (4), pressões internas foram aplicadas à superfície de escavação, com valores equivalentes a uma restrição existente à convergência do túnel, imposta pela proximidade da frente de escavação. Os valores aproximados dessas pressões foram obtidas pelo método de convergência-rocha-suporte implementado no programa RocSupport (versão 3.0 (www.rocscience.com)).

A Figura 17 mostra os resultados da análise, de uma galeria de 3,3m, que com um deslocamento radial de ~15cm levou a uma seção final de ~3m, como desejado, sem ruptura das cambotas (cor azul).

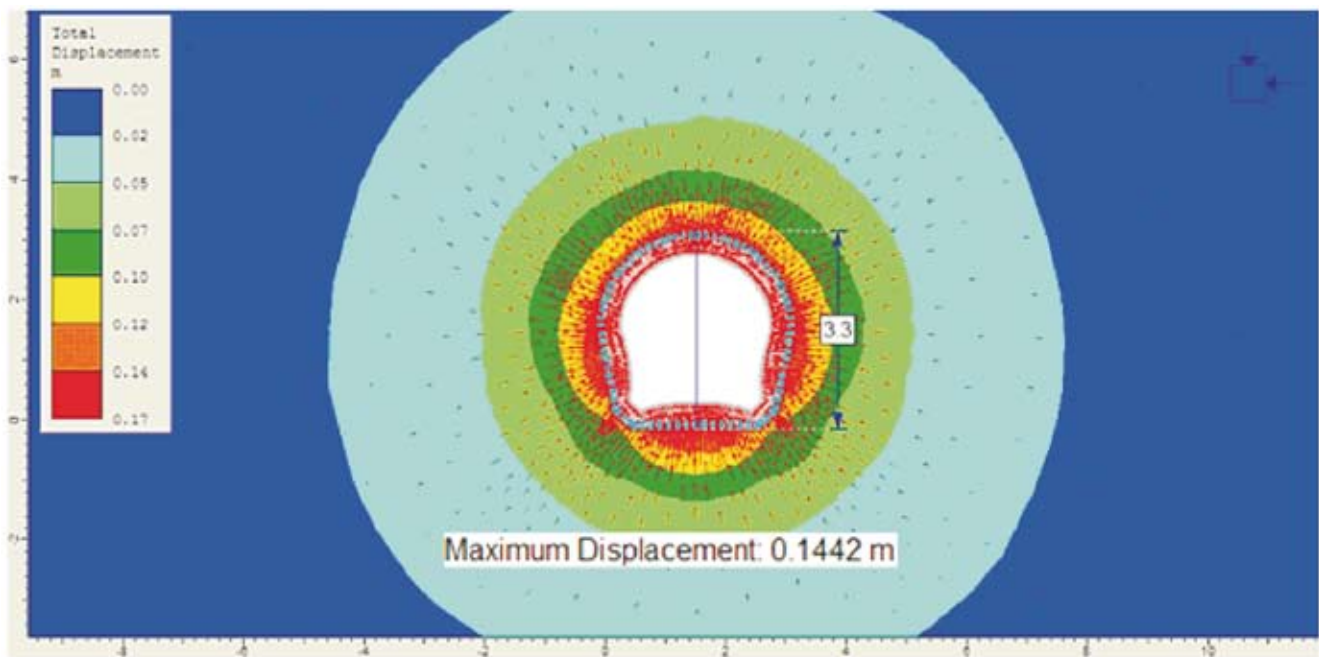


Figura 17 - Convergência de 9% no entorno da escavação com cambotas cedentes.

O caso da mina no Peru, com a intensa deformação induzida pela lavra subterrânea no maciço de baixa qualidade sobreposto aos realces, ilustra o desencadeamento do fenômeno de “squeezing” em nível pouco profundo, uma situação oposta ao maciço competente e elástico em ambiente de relaxação de tensões apresentado no Caso 1.

2 COMENTÁRIO FINAL

Os casos apresentados realçam uma característica peculiar dos projetos de mineração: a de possibilitar o envolvimento contínuo do projetista com a gama de fenômenos que rege o comportamento dos maciços durante a lavra. O acompanhamento sistemático e criterioso das escavações propicia ganho gradual de informações que vão sendo incorporadas no Modelo Geológico e Geotécnico durante a operação das minas. Isso permite que se façam adaptações do projeto e, quando necessário, correções de rota. Essas particularidades da mineração a diferem substancialmente dos projetos de obras civis, que devem ser completamente definidos na fase de engenharia detalhada, e explicam a maior flexibilidade em trabalhar com margens de segurança aparentemente mais estreitas nas lavras.

Nas obras auxiliares como barragens de rejeitos ou de água e diques de contenção de finos a semelhança com obras civis é maior, embora a

seção de alteamento de uma barragem de rejeitos possa ser modificada ou não, a depender do comportamento observado da estrutura inicial.

Agradecimentos

Aos colaboradores da BVP Engenharia, geól. Maria Teresa Pazzini, eng. Laura Ferrari e aos ex-colaboradores eng. Felipe N. dos Santos, geól. Fábio Magalhães, geól. João E. Tosetti e geól. Dominique Daman, que tiveram importante participação no desenvolvimento desses projetos.

BIBLIOGRAFIA

Baczynski, N.R.P., 2000. *STEPSIM4 Step-path method for slope risks*, Geo Eng, Proc. Intern. Conference on Geotech. & Geol. Engin., Melbourne, 6.

Brady, B.H.G. & E.T. Brown, 1985 e 2004. *Rock mechanics for underground mining*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 628 p.

Cella, P.R.C. et al., 2008. *Dimensionamento de bancadas em rocha na mina de cobre do Sossego, Vale, no Estado do Pará*, 12 Congr. Bras. Geol. Eng., ABGE, Porto de Galinhas, 13p..

Santos, F. Neiva dos - *Dissertação de Mestrado, em preparação, UFOP, 2011*

DIRETRIZES PARA AUTORES

PREPARAÇÃO PARA SUBMISSÃO

Tipo e Tamanho de Arquivo: O texto do manuscrito deverá ser enviado em **arquivo Word (.doc)**, **em separado**, com os locais de inserção das figuras assinalados, seguido das respectivas legendas. As **ilustrações** deverão ser enviadas em **arquivo .tif**, também **em separado** (uma ilustração por arquivo). O mesmo procedimento deverá ser adotado para as **tabelas**, em arquivo. doc.

O artigo não poderá ultrapassar a **10.000** palavras ou **20 páginas**, incluindo título, autores, instituições e e-mail, resumo e palavras-chave, abstract e keywords, texto, figuras, tabelas, mapas, referências e legendas.

Nenhum **arquivo** poderá ultrapassar a **10Mb** de tamanho.

Forma de envio: O texto deverá ser enviado junto com as **ilustrações** (inclusive tabelas) no Sistema Eletrônico de submissão (ver passos práticos para envio de manuscritos na página da RBGEA, no ítem “Instruções para envio de artigos”).

ARTIGOS

Organização de artigos: deverá constar em sequência, o título, nome completo do(s) autor(es), instituição e e-mail (nome da instituição, cidade, estado, país e e-mail. Para alunos de mestrado ou doutorado, indicar “Programa de Pós-graduação”, instituição, e demais informações acima), resumo e palavras-chave, abstract e keywords, texto completo, referências, ilustrações e tabelas. O texto deve conter, preferencialmente: introdução, materiais e métodos, resultados, discussão, conclusões e agradecimentos.

Hierarquização dos títulos e subtítulos: Deve seguir o padrão:

Nível 1 - EM **NEGRITO**, TODAS AS LETRAS MAIÚSCULAS.

Nível 2 - Em **negrito**; a primeira letra da primeira palavra em maiúscula e as demais minúsculas.

Nível 3 - **ITÁLICO**, NÃO NEGRITO, TODAS AS LETRAS MAIÚSCULAS.

Nível 4 - **Itálico**, não negrito; a primeira letra da primeira palavra em maiúscula e as demais minúsculas.

Agradecimentos - **Negrito e itálico** (apenas o subtítulo). **Referências - Negritas e minúsculas** (apenas o subtítulo).

Manter um espaço simples entre itens e subitens do texto. Utilizar fonte Times New Roman, tamanho 11.

A indicação da inserção das ilustrações (figuras, tabelas, etc) no texto deverá ser em posição o mais próximo possível de sua primeira citação.

Formato do Resumo, Resúmen e o Abstract: Não poderão exceder 300 palavras cada, em parágrafo único, fonte Times New Roman, corpo 10, espaço simples (1,0) e serem seguidos de palavras-chaves, palabras claves e keywords (no mínimo 3 e máximo 5), respectivamente. Artigos em português, espanhol ou francês deverão ter o título vertido para o idioma inglês, em **MAIÚSCULO E ITÁLICO**, colocado após a palavra Abstract.

Formato do texto: Editar o texto em Word, fonte Times New Roman, corpo 11, espaço simples, papel A4, orientação em retrato e editado em apenas uma coluna. As margens deverão ter as seguintes medidas: superior: 2,0; inferior 2,0; esquerda 3,0 e direita 2,0. Digitar as tabelas em documentos word.

Abreviações: Devem ser evitadas ou mantidas ao mínimo. Se usadas, devem ser definidas na primeira vez que forem mencionadas e não devem ser utilizadas no título, resumo e abstract.

Ilustrações: A versão impressa da RBG publica ilustrações em preto e branco e tons de cinza. A versão “on line” publicações coloridas. As fontes usadas para textos sobre fotografias deve ser uma da família da Helvética.

As ilustrações gráficas, fotográficas e fotomicrográficas serão numeradas seqüencialmente, na ordem de sua citação no texto e consideradas, mesmo pranchas, indiscriminadamente como Figuras. Deverão ser separadas do texto por uma linha. Não serão aceitos encartes. Fotografias de afloramentos deverão apresentar barra de escala e indicação do norte.

Letreiros e símbolos das ilustrações devem ter dimensões adequadas para permitir legibilidade. **As ilustrações** deverão ter **larguras** mínimas de **9** ou **18** centímetros (permitir diagramação em uma ou duas colunas). Explicar todos os símbolos. Escalas gráficas, se necessárias, devem ser colocadas dentro da área das ilustrações.

As **Tabelas** devem ser auto-explicativas, com as laterais abertas, concisas e numeradas sequencialmente. Devem ser elaboradas em Times New Roman, corpo 9. As legendas das ilustrações deverão ser redigidas com a mesma fonte do texto e corpo.

Formato das Figuras: Só serão aceitas figuras .tif, devendo ter **resolução mínima de 300dpi**, com tamanhos largura de 8,7 cm ou de 17,7, com comprimento máximo de 21 cm.

Fórmulas e Equações: Numerar as fórmulas e equações sequencialmente à direita, com números arábicos entre parênteses e, no texto, referir como "equação (1)", etc.

Citações no corpo do texto: Deve-se seguir os formatos do seguinte exemplo: ..."Cunha (1985) interpreta a feição como uma estrutura de resfriamento magmático precoce, mas outros (Lima 1986, Fonseca **et al.** 1989, Ferreira & Araújo 1994) como uma feição tardia".

Referências: Relatórios internos são serão aceitos nas referências, com exceção daqueles que são amplamente difundidos na comunidade científica e autorizados pelos consultores **ad hoc**. As referências deverão ser feitas em Times New Roman, corpo 10. Ao final do texto, ordenar as referências em ordem alfabética do sobrenome do primeiro autor, empregando os seguintes formatos:

Livros:

Arndt N.T. & Nisbet E.G. (Eds.) 1982. **Komatiites**. George Allen & Unwin, London, 526 pp.

Capítulos de Livros:

Pollack H.N. 1997. Thermal characteristics of the Archean. **In:** M. de Wit & L.D. Ashwal (eds.) **Greenstone belts**. Oxford Monographs on Geology and Geophysics, 25, Oxford University Press, p.: 223-232.

Artigos de Periódicos:

Resende M.G. & Jost H. 1995. Petrogênese de formações ferríferas e metahidrotermalitos da Formação Aimbé, Grupo Guarinos (Arqueano), Goiás. **Rev. Bras. Geoc.**, 25:41-50.

Resende M.G., Jost H., Osborne G.A., Mol A. 1998. The stratigraphy of the Goiás and Faina greenstone belts, Central Brazil: a new proposal. **Rev. Bras. Geoc.**, 28:1-15.

Sabóia L. A. 1979. Os **greenstone belts** de Crixás e Goiás, Go. **In:** SBG, Núcleo Centro-Oeste, **Boletim Informativo**, 9:44-72.

Artigos em Publicações Seriadas:

Barbosa O., Braun O.P.G., Dyer R.C., Cunha C.A.B.R. 1970. **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM, Boletim 136, 140 p.

Teses e Dissertações:

Resende L. 1995. Estratigrafia, petrografia e geoquímica da seqüência sedimentar do greenstone Belt de Pilar de Goiás, GO. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, 124 p.

Artigos publicados em eventos:

Tassinari C.C.G., Siga Jr. O, Teixeira W. 1981. Panorama geocronológico do centro-oeste brasileiro: solução, problemática e sugestões. **In:** SBG, Simp. Geol. Centro-Oeste, 1, **Atas**, p. 175.

Artigos em jornal:

Coutinho W.O. 1985. O Paço da cidade retorna ao seu brilho barroco. *Jornal do Brasil*, Rio de Janeiro, 6 mar. Caderno B, p.6.

Artigos ainda não publicados:

Silva R.C. (em preparação). Tectônica na região do Alto Iguaçu-PR. Pereira E.W. (submetido). Evolução geológica da faixa de dobramentos Açungui. *Revista Brasileira de Geociências*. Silva R.C. (no prelo). Tectônica na região do Alto Iguaçu-PR. *Revista Brasileira de Geociências* (Aceito ainda sem data de publicação).

Fotografias aéreas:

IGC - INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO 1986. (São Paulo). Projeto Lins Tupã. Foto aérea. Escala 1:25.000, São Paulo, Fx28, n. 15.

Folhas e mapas impressos:

INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS 1987. São José dos Campos (SP): atualização do uso da terra. SF-23-Y-D-II-1 MI-2769/1. São José dos Campos, Mapa Topográfico, escala 1:100.000. Silva A.J. 1999. Mapa geológico da Bacia de Campos. Rio de Janeiro, Petrobrás, 1 mapa geológico, escala 1:50.000.

Programas e conjuntos de softwares:

MICROSOFT 1995. Project for Windows 95, version 4.1: project planning software. Redmond, Wa, Microsoft Corporation. Conjunto de programas 1 CD-ROM.

Páginas e documentos consultados via internet:

Moura G.A.C. de M. 1996. Citação de referências e documentos eletrônicos. Disponível em:

<http://www.elogica.com.br/users/gmoura/refere.html>. Acessado em 9 out 1996.

INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS 2000. El Ninho. Disponível em <http://www.inpe.dpi/elninho.html>. Acessado em 14 jun 2000.

Agradecimentos. Devem constar de um parágrafo à parte, colocado antes das referências.

COPYRIGHT

A apresentação de um manuscrito requer que o trabalho apresentado não tenha sido publicado antes (exceto na forma de um resumo ou como parte de uma palestra publicada, revisão ou tese); que não esteja sob consideração para publicação em outro periódico, que sua publicação tenha sido aprovada por todos os co-autores, bem como pelas autoridades competentes no âmbito da instituição onde o trabalho foi realizado. O autor garante que sua contribuição é original e que ele / ela tem plenos poderes para fazer esta concessão. O autor aceita a responsabilidade de liberar os direitos deste material em nome de todos co-autores.

A Transferência dos direitos autorais para ABGE torna-se efetiva se e quando o artigo for aceito para publicação. Após a apresentação da Declaração de Transferência de Direitos Autorais assinada pelo autor correspondente, mudanças de autoria ou na ordem dos autores listados não serão aceitas pela ABGE. Os direitos autorais implicam no direito exclusivo e na licença para reproduzir, publicar, distribuir e arquivar o artigo em todas as formas e meios de comunicação conhecidos ou que possam ser desenvolvidos no futuro, incluindo reimpressões, traduções, reproduções fotográficas, forma eletrônica (offline, online) ou quaisquer outras reproduções de natureza similar.

Todos os artigos publicados nesta revista são protegidos por direitos autorais, que abrangem o direito exclusivo de reproduzir e distribuir o artigo, bem como todos os direitos de tradução. Nenhum material publicado nesta revista poderá ser reproduzido fotograficamente ou armazenados em micro-filme, em bases de dados eletrônicos, etc, sem que primeiro tenha sido dada a permissão por escrito do editor. O uso de nomes descritivos gerais, nomes comerciais, marcas, etc, nesta publicação, mesmo que não especificamente identificados, não implica que estes nomes não sejam protegidos pelas leis e regulamentos pertinentes.

Um autor pode arquivar uma versão de seu artigo em seu próprio site. Ele também pode arquivar esta versão em sua instituição incluindo a versão final, desde que o material não seja disponibilizado ao público até após 12 meses de publicação oficial.

Quanto ao aconselhamento e informação dados a esta revista, acredita-se que sejam verdadeiros e precisos na data de sua publicação; nem os autores, os editores, ou o editor podem aceitar qualquer responsabilidade legal por quaisquer erros ou omissões que possam ser feitas. O editor não oferece nenhuma garantia, expressa ou implícita, em relação ao material aqui contido.

SÓCIOS PATROCINADORES DA ABGE



bolsacreto



Fileie sua
empresa à ABGE
www.abge.com.br

