



# Geologia de engenharia

3ª edição

*Nivaldo Chiossi*

oficina **de** textos

*Nivaldo Chiossi*

# Genlologia de engenharia

3ª edição

oficina de textos

Copyright © 2013 Oficina de Textos

1ª reimpressão 2016

Grafia atualizada conforme o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, em vigor no Brasil desde 2009.

**Conselho editorial**

Arthur Pinto Chaves; Cylon Gonçalves da Silva; Doris C. C. K. Kowaltowski;  
José Galizia Tundisi; Luis Enrique Sánchez; Paulo Helene;  
Rozely Ferreira dos Santos; Teresa Gallotti Florenzano

**Capa e projeto gráfico** Malu Vallim

**Diagramação** Resolvo Ponto Com.

**Preparação de textos** Cássio Pelin e Gerson Silva

**Revisão de textos** Hélio Hideki Iraha

**Impressão e acabamento** Rettec artes gráficas

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

---

Chiossi, Nivaldo José  
Geologia de engenharia / Nivaldo Chiossi . --  
3. ed. -- São Paulo : Oficina de Textos, 2013.

Bibliografia  
ISBN 978-85-7975-083-0

1. Geologia 2. Geologia ambiental 3. Geologia  
de engenharia I. Título.

13-07665

CDD-624.151

---

Índices para catálogo sistemático:

1. Geologia de engenharia 624.151

Todos os direitos reservados à **Editora Oficina de Textos**

Rua Cubatão, 798

CEP 04013-003 São Paulo SP

tel. (11) 3085 7933 fax (11) 3083 0849

www.ofitexto.com.br atend@ofitexto.com.br

# Apresentação

Conheci o Nivaldo Chiossi na década de 1950, quando Nivaldo, eu e o Ayrton Badelucci tomávamos o trem noturno de São Paulo a Bauru na quinta-feira e o ônibus de Bauru para Lins (onde dávamos 8 horas de aulas) na sexta-feira pela manhã. Retornávamos a Bauru no começo da noite e, finalmente, tomávamos o trem noturno para amanhecer sábado em São Paulo.

Foram anos pioneiros no Brasil na área de Geologia de Engenharia. A disciplina Geologia aplicada à Engenharia ministrada pelo Nivaldo foi o primeiro curso do gênero no Brasil.

Nos 50 anos que nos separam desses tempos de Escola de Engenharia de Lins, Nivaldo e eu seguimos ensinando e, em 1975, Nivaldo publica o Livro *Geologia aplicada à Engenharia*, enquanto eu, em 1996, o livro *100 Barragens Brasileiras*.

Nunca mais nos encontramos, mas agora, 50 anos depois, caiu-me nas mãos a revisão atualizada do livro do Nivaldo, enriquecida e ilustrada com as novas obras de Engenharia espalhadas pelo Brasil afora, cobrindo uma enorme diversidade de assuntos, entre os quais águas subterrâneas, rios e bacias hidrográficas, barragens, túneis, cavernas, mineração, rodovias, ferrovias, canais, dutos, linhas de transmissão, gás e petróleo, além de uma incursão num dos temas da atualidade – o Meio Ambiente.

Em cada tema, Nivaldo inclui ilustrações e mostra de forma didática a importância de conhecer a geologia local, que inclui as rochas e os solos formadores do substrato onde a Engenharia implanta suas obras.

Os capítulos iniciais de 1 a 5 são dedicados aos conceitos básicos sobre solos e rochas e se constituem no arcabouço teórico para adentrar-se nas áreas aplicadas. A citação bombástica de Marcelo Gleiser, “vivemos na superfície de uma bolha de metal incandescente, à mercê de seus ajustes”, abre o livro, como uma introdução à teoria das placas tectônicas. Depois de quatro páginas, a obra nos remete de volta à nossa modesta terra, com seus minerais que formam as rochas e que, por sua vez, alteram-se para formar os solos.

O Cap. 6 envereda pela complexa Geologia Estrutural, um desafio permanente para qualquer obra de engenharia. Os Caps. 7, 8 e 9 tratam dos métodos de investigação do subsolo, da elaboração de mapas geológicos e geotécnicos e dos recursos dos fotos aéreas e do sensoriamento remoto para a identificação dos aspectos estruturais da geologia da área de interesse a uma obra de engenharia. Encerram a obra os capítulos de aplicação já mencionados.

Parabéns ao Nivaldo Chiossi pela revisão do livro *Geologia de Engenharia*.

*Paulo Teixeira da Cruz*

Professor do Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

# Prefácio

“Aqueles que se expõem poderão ser perseguidos.”

(de um sermão do Pe. Juarez Pedro de Castro, 2012)

A Geologia é definida como a ciência que trata da origem, evolução e estrutura da Terra, por meio do estudo das rochas. Compreende um vasto campo, que pode ser dividido em dois grupos gerais: Geologia Teórica ou Natural e Geologia Aplicada, e um grande número de subdivisões, como exposto no esquema a seguir:

Geologia	Teórica ou natural	Geologia física	Mineralogia Petrografia Sedimentologia Estrutural Geomorfologia
		Geologia histórica	Paleontologia Estratigrafia
	Aplicada	Econômica	Mineração Petróleo
		Engenharia	Projetos e construção em Engenharia Civil: túneis, barragens, estradas, canais, metrô, água subterrânea, fundações etc. Meio Ambiente: resíduos sólidos, deslizamentos, saneamento básico etc.

Os cursos de Geologia no Brasil são relativamente novos, o primeiro foi há quase 60 anos.

Com o objetivo de inserir a presente obra na perspectiva histórica que a originou, destaco os seguintes eventos:

Década de 1950

A criação dos cursos de Geologia no Brasil teve início na década de 1950, quando os alunos do curso de História Natural da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (USP) foram autorizados a fazer o Curso de Especialização de Geologia, com duração de dois anos.

1955

Ano em que temos, na prática, como referência histórica, a criação, no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), da seção de Geologia Aplicada, sob a orientação do renomado engenheiro Ernesto Pichler.

1957

O próximo passo foi a criação, em 1957, de um curso específico de Geologia dentro da própria Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, por meio da Lei Estadual de 5/2/1957. Seus objetivos visavam a atender o setor mineral e

novas áreas com crescimento impressionante, como a Engenharia Civil, Geofísica Aplicada, Hidrogeologia e Planejamento Urbano, entre outras.

No Brasil, até então, a Geologia Aplicada à Engenharia era exercida por engenheiros civis e de minas que tinham feito alguma especialização em Geologia.

Ainda em 1957, foi criada, pelo Ministério da Educação e Cultura, a Campanha para Formação de Geólogos (CAGE), por meio de Decreto do Exmo. Sr. Presidente da República Juscelino Kubitschek, em 18/1/1957. Essa campanha propôs, ainda, a criação de mais três cursos de Geologia no país: em Porto Alegre, Ouro Preto e Recife.

Posteriormente, as escolas de Engenharia passaram a criar, em seus cursos de Engenharia Civil, a disciplina de Geologia Aplicada à Engenharia, nome depois alterado para Geologia de Engenharia.

1967

Ano em que a disciplina Geologia Aplicada à Engenharia foi colocada no currículo das faculdades particulares de Engenharia, por minha iniciativa, à época professor da Escola de Engenharia de Lins. Foi o curso pioneiro no país.

1975

Ano em que lancei no Brasil o primeiro livro sobre Geologia Aplicada à Engenharia, destinado a mostrar a importância do conhecimento geológico e geotécnico para obras civis, mineração e meio ambiente.

Ao mesmo tempo, crescia aceleradamente em nosso país, em razão do seu desenvolvimento, a necessidade de geólogos de engenharia. Essa necessidade proporcionou a criação da Associação Paulista de Geologia Aplicada (APGA), passou a ser Associação Brasileira de Engenharia (ABGE), que atualmente abrange também a área ambiental, e agora é Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, com centenas de associados em todo o país.

Porém, devemos registrar que um dos grandes problemas no ensino da Geologia de Engenharia para estudantes de Engenharia, engenheiros e não geólogos sempre foi, desde a década de 1970, desenvolver e encontrar uma linguagem fácil, acessível e compreensível para esse público.

1980/2011

Lentamente, no período entre 1980 e 2010, essa linguagem teve certa evolução. Porém, como detectado no 13º Congresso da ABGE, realizado em novembro de 2011, em São Paulo, ainda existe por parte de estudantes e engenheiros interessados em aprender a aplicação da Geologia de Engenharia certo lamento ao confessar que os professores de Geologia de Engenharia praticam doses consideráveis de “geologuês”, tanto no ensino (nas escolas) como em reuniões técnicas conjuntas.

2012

Tudo aconteceu de forma muito, muito rápida, em 2011, no referido Congresso da ABGE, em São Paulo, ao aceitar ministrar um minicurso para não geólogos com o colega Luiz Ferreira Vaz.

Revi muitos colegas, revivi a nossa Geologia de Engenharia e recebi o honroso convite: “Você não quer fazer a revisão do seu livro?”.

Estamos falando de um livro escrito há mais de 29 anos, quando a Geologia de Engenharia engatinhava e iriam surgir os primeiros geólogos de engenharia

no nosso país. Ponderei acerca da dificuldade da tarefa, de estar meio afastado da profissão, mas, no fim, aquela vontade incontida que sempre tive desde o primeiro dia de trabalho voltou e cantou alto: “Use sua facilidade de escrever, comunicar e faça!”.

Ademais, percebi que, nesses longos 29 anos, apenas um livro – além do meu – tinha sido escrito a respeito do tema, pelo Professor Carlos Leite Maciel Filho, da Universidade Federal de Santa Maria (RS).

Trabalhando direto desde o início de 2012, revendo, acrescentando elementos fundamentais como sensoriamento remoto, ações da água superficial e subterrânea na paisagem e áreas construídas, desenvolvendo um capítulo sobre obras subterrâneas e outro sobre mineração, introduzindo considerações acerca de obras lineares (rodovias, ferrovias, canais, dutos, linhas de transmissão) e incorporando a variável ambiental, julgo ter terminado a minha missão. Missão, aliás, que alcancei chegando aos 80 anos, que completei em abril de 2013.

Vale lembrar que esta obra teve origem no Departamento de Livros e Publicações da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, onde, pela insistência de Norma Romano, virou livro com repetidas edições (a última de 1987), tendo alcançado países como Portugal e Peru. Agora, ofereço-a aos estudantes de Engenharia e engenheiros com revisão, objeto de dedicação e muita coragem.

Portanto, o objetivo desta nova edição da obra *Geologia aplicada à Engenharia*, agora com o título *Geologia de Engenharia*, foi atualizar e complementar as edições anteriores, em decorrência da aplicação dos processos e tecnologias atuais, sempre buscando a linguagem fácil e objetiva das antigas edições que tanto auxiliou os estudantes de Geologia/Engenharia durante o curso e na vida prática. Sem pretender, jamais, transformar o estudante/engenheiro em geólogo.

O presente texto foi desenvolvido dentro de um esquema no qual a Geologia de Engenharia está curricularmente ligada à Mecânica dos Solos. Alguns aspectos que podem aparecer com tendências essencialmente descritivas deverão ser mais profundamente analisados durante o próprio curso de Engenharia Civil.

Sou grato por todos esses anos em que convivi feliz com a Geologia de Engenharia e com os maravilhosos colegas que marcharam comigo na direção da ABGE por dois mandatos, tanto na Diretoria como no Conselho e nas Representações Regionais. Meu muito obrigado a todos.

Por fim, gostaria de registrar que, ao longo dos 20 anos em que exerci o ensino da Geologia de Engenharia como Professor Titular/Regente da Escola de Engenharia de Lins, percebi que não basta ter um bom livro-texto para garantir o ensino e o aprendizado. É necessária uma complementação constante e contínua, por meio de aulas práticas semanais, para a identificação de rochas e solos, bem como exercícios simuladores com mapas, perfis geológicos e de sondagens e observação do nível d’água, para entender o modo de ocorrência e o comportamento das rochas, dos solos e da natureza.

# Sumário

## 13 1 O planeta Terra

- 1.1 Origem – 13
- 1.2 Estrutura – 14
- 1.3 A crosta da Terra – 14
- 1.4 Teoria das placas tectônicas – 15

## 17 2 Minerais

- 2.1 Conceito de mineral – 17
- 2.2 Propriedades dos minerais – 17
- 2.3 Descrição dos minerais mais comuns de rochas – 21
  - Teste rápido (1 minuto para cada questão) – 28

## 31 3 Rochas

- 3.1 Definição – 31
- 3.2 Classificação – 32
- 3.3 Rochas magmáticas – 32
- 3.4 Rochas sedimentares – 39
- 3.5 Rochas metamórficas – 51
- 3.6 Minerais metamórficos – 54
- 3.7 Propriedades das rochas – 55
- 3.8 Quadros resumidos para a identificação macroscópica dos principais tipos de rochas – 64
  - Teste rápido (1 minuto para cada questão) – 68

## 71 4 Uso das rochas e dos solos como material de construção e material industrial

- 4.1 Obtenção dos materiais industriais e de construção – 72
- 4.2 Métodos de investigação – 73
- 4.3 Rochas e solos mais comuns e sua aplicação – 74
- 4.4 Métodos de exploração de jazidas – 76
- 4.5 Aplicação de cascalho de aluvião e pedra britada como agregados para concreto – 77
- 4.6 Aplicação das argilas e areias – 79

## 81 5 Solos

- 5.1 Tipos de solos – 82
- 5.2 Propriedades gerais dos solos – 87
- 5.3 Classificação granulométrica de solos – 89
- 5.4 Representação granulométrica dos solos – 90
- 5.5 Ensaio de simples caracterização – 91
- 5.6 Quadro resumido para identificação de solos no campo – 92
  - Teste rápido (1 minuto para cada questão) – 92

## 95 6 Elementos estruturais das rochas

- 6.1 Deformações das rochas – 97
- 6.2 Dobras – 98
- 6.3 Falhas – 103

- 6.4 Fraturas – 105
- 6.5 Orogênese – 108
  - Teste rápido (1 minuto para cada questão) – 111

## **113** 7 Investigação do subsolo

- 7.1 Descrição dos métodos geofísicos (ou indiretos) – 113
- 7.2 Descrição resumida dos métodos geofísicos – 114
- 7.3 Descrição dos métodos diretos – 125
- 7.4 Métodos diretos para investigação de rochas – 130
- 7.5 Registro dos dados de sondagem e apresentação – 135
- 7.6 Número e profundidade das sondagens – 137
- 7.7 Aplicação das sondagens para interpretação estrutural – 141
- 7.8 Aplicação das sondagens para determinação do nível freático – 141

## **143** 8 Mapas geológicos e geotécnicos

- 8.1 Definição – 143
- 8.2 Construção/elaboração – 143
- 8.3 Representação – 144
- 8.4 Legendas geológicas – 145
- 8.5 Tipos de mapas geológicos – 147
- 8.6 Cartografia geotécnica – 156

## **161** 9 Fotografias aéreas e sensoriamento remoto

- 9.1 Fotografias aéreas – 161
- 9.2 Sensoriamento remoto – 183

## **191** 10 Águas subterrâneas

- 10.1 Ciclo hidrológico – 191
- 10.2 Definições e conceitos fundamentais – 193
- 10.3 Origem e comportamento da água subterrânea – 197
- 10.4 Obtenção da água subterrânea – 198
- 10.5 Qualidade da água subterrânea – 202
- 10.6 Reservas subterrâneas no Brasil – 203
- 10.7 Fontes – 204
- 10.8 Drenagem e rebaixamento do nível freático em obras de engenharia – 205
- 10.9 Rebaixamento do nível freático – 206

## **219** 11 Águas superficiais: rios e bacias hidrográficas

- 11.1 Tipos de cursos d'água – 220
- 11.2 Função dos cursos d'água – 221
- 11.3 Fases de um rio – 221
- 11.4 Controle estrutural dos rios – 222
- 11.5 Cachoeiras – 222
- 11.6 Erosão fluvial – 225
- 11.7 Redes de drenagem – 226

**12 Ação das águas subterrâneas e superficiais na paisagem e nas áreas construídas**

- 12.1 Escorregamentos – 227
- 12.2 Boçorocas – 234
- 12.3 Agressividade ao concreto das fundações – 235
- 12.4 Dolinas – 237
- 12.5 Cavernas, subsidências e colapsos em áreas calcárias – 237
- 12.6 Erosão marinha – 238

**13 A Geologia de Engenharia em barragens**

- 13.1 Definição e objetivos – 245
- 13.2 A importância da Geologia de Engenharia – 246
- 13.3 Elementos de uma barragem – 247
- 13.4 Forças que atuam em uma barragem – 249
- 13.5 Tipos de barragens – 250
- 13.6 Seleção do tipo de barragem – 253
- 13.7 Fases nos estudos de barragens – 254
- 13.8 Estudo geológico básico – 255
- 13.9 Problemas correlatos ao estudo geológico – 264
- 13.10 Condições geológicas de algumas barragens no Brasil – 266
- 13.11 Dados básicos de algumas barragens brasileiras – 268
- 13.12 As maiores barragens do Brasil – 270
- 13.13 Erros e “acidentes” – 271
- 13.14 Evolução da Geologia de Engenharia no projeto e construção de barragens – 273
- 13.15 Hidrovias – 276
  - Exercício sobre barragens – 281

**14 A Geologia de Engenharia no projeto e construção de obras subterrâneas**

- 14.1 O uso do espaço subterrâneo – 283
- 14.2 Túneis – 285
- 14.3 Métodos de escavação de túneis – 294
- 14.4 O acidente na estação Pinheiros da Linha Amarela do metrô de São Paulo – 309
- 14.5 Túneis metroviários: o caso da Linha Azul (N-S) do metrô de São Paulo – 311
- 14.6 O metrô de Fortaleza – 322
- 14.7 O uso de minitúneis em obras de saneamento básico – 325

**15 A Geologia de Engenharia no projeto e construção de obras lineares**

- 15.1 Rodovias/estradas – 329
- 15.2 Ferrovias – 338
- 15.3 Canais – 345
- 15.4 Dutos – 354
- 15.5 Linhas de transmissão – 362

**16 A Geologia de Engenharia na mineração e exploração de petróleo e gás**

- 16.1 Mineração – 371
- 16.2 Exploração de petróleo no Brasil – 379

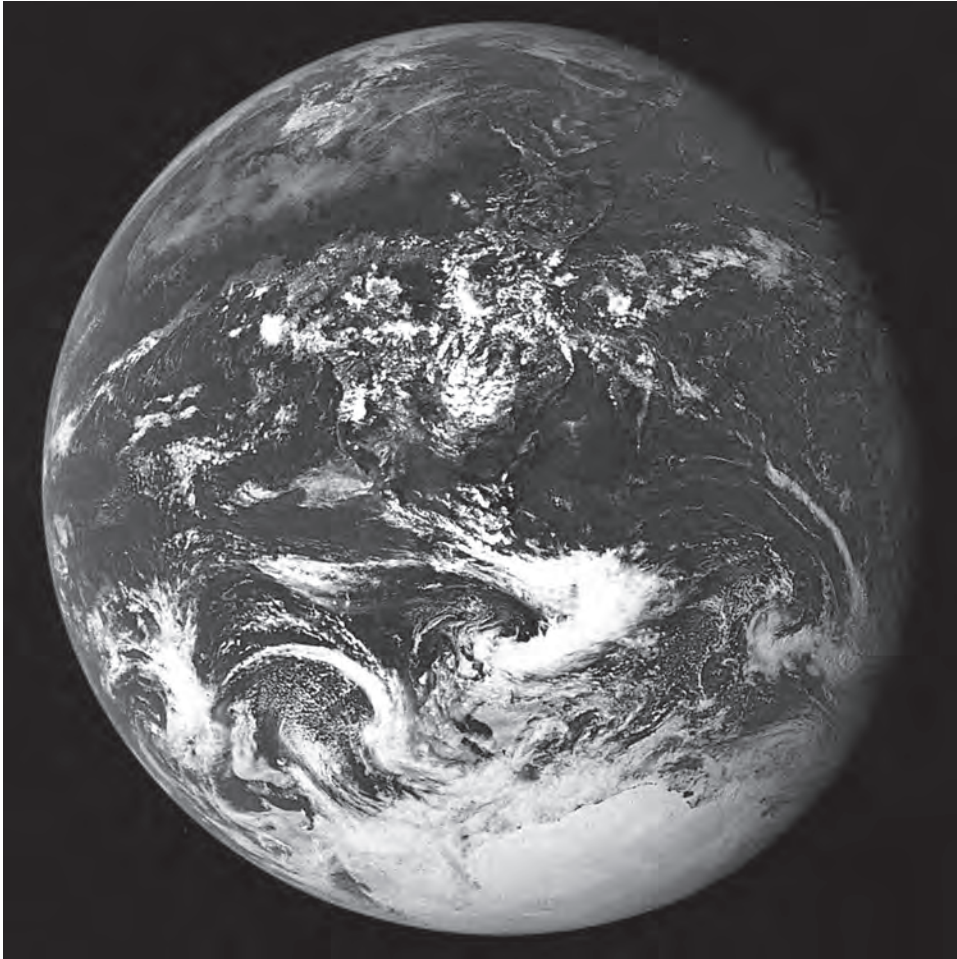
**17 A Geologia de Engenharia para o meio ambiente**

- 17.1 Formas de uso e ocupação do solo e os impactos resultantes – 391
- 17.2 Licenciamento ambiental – 396
- 17.3 Passivo ambiental – 396
- 17.4 Desastres naturais e a Geologia de Engenharia – 398
- 17.5 As ações do homem no meio ambiente: impactos resultantes – 412
- 17.6 Resíduos sólidos – 418

**Referências bibliográficas**

# O planeta Terra

1



**“Vivemos na superfície de uma bolha de metal incandescente, à mercê de seus ajustes.”**

(Marcelo Gleiser, Professor de Física Teórica no Dartmouth College, em Hanover - EUA)

## **Origem 1.1**

Assim como os demais planetas do Sistema Solar, o planeta Terra foi, provavelmente, originado por uma força gravitacional que condensou diversos materiais preexistentes no espaço, constituídos de partículas como poeira cósmica e gás.

Muitos elementos químicos formados entraram nessa composição: os mais densos permaneceram no centro desse redemoinho gravitacional e os menos densos, os gases, permaneceram na superfície. As temperaturas do núcleo ou centro do redemoinho permaneceram bastante elevadas, enquanto diminuía gradualmente nas regiões mais próximas da superfície.

Na parte mais externa da Terra, houve a solidificação de materiais em fusão pelo resfriamento natural, constituindo a crosta terrestre, que se acredita ter-se formado após 700 milhões de anos da origem da Terra.

# Minerais 2



Os minerais são os elementos constituintes das rochas; logo, o conhecimento dos minerais implica o conhecimento das rochas.

## Conceito de mineral 2.1

Entende-se por *matéria mineral* aquela formada por processos inorgânicos da natureza e que possui composição química definida. A denominação tem caráter mais amplo, havendo autores que consideram o petróleo e o âmbar como minerais, apesar de ambos serem substâncias orgânicas e o petróleo não ser uma substância de composição química definida.

Mineral não significa somente matéria cristalina (sólida), pois água e mercúrio, em temperatura ambiente, são minerais.

*Mineralogia* é a ciência que estuda as propriedades, a composição, a maneira de ocorrência e a gênese dos minerais.

## Propriedades dos minerais 2.2

As propriedades que mais interessam no estudo de um mineral são:

- ◆ *propriedades físicas*: dureza, traço, clivagem, fratura, tenacidade, flexibilidade e peso específico;
- ◆ *propriedades ópticas*: brilho, cor e microscopia;
- ◆ *propriedades morfológicas*: hábito (serão dadas noções resumidas). Simetria, associação de minerais e goniometria não serão estudadas;
- ◆ *propriedades químicas* (não serão estudadas): ensaios por via seca e ensaios por via úmida.

## 2] Feldspatos

O grupo dos feldspatos é formado por: ortoclásio ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ ), albita ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) e anortita ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ).

Entre ortoclásio e albita, há termos intermediários em composição que podem ser abrangidos pela expressão  $(\text{K}, \text{Na} \text{ e } \text{Ca}) \text{AlSi}_3\text{O}_8$  e são denominados feldspatos alcalinos ou *ortoclásios*. Entre albita e anortita ocorre o mesmo fenômeno, e são denominados feldspatos alcalicálcicos, ou simplesmente *plagioclásios*.

- ◆ *Forma*: nas rochas, os feldspatos não são uniformes, mas podem apresentar contornos retangulares ou hexagonais.
- ◆ *Clivagem*: os feldspatos aparecem nas rochas quase sempre apresentando reflexões dos planos de clivagem, quando expostos à luz, pois eles têm boa clivagem em duas direções. O grão de feldspato pode aparecer dividido por uma linha distinta.
- ◆ *Fratura*: irregular em fragmentos quebradiços.
- ◆ *Cor*: os *ortoclásios* geralmente são creme, tijolo, róseos ou vermelhos, em razão das impurezas de hematita. Os *plagioclásios* geralmente são cinza, brancos, pardos, esverdeados ou até pretos. Observações: 1) rochas com muito ortoclásio tendem a apresentar cores avermelhadas; rochas nas quais predominam plagioclásios tendem a ser cinza; 2) se uma mesma rocha contém dois feldspatos e apenas um deles é avermelhado, é quase certo que este seja ortoclásio e o outro, plagioclásio.
- ◆ *Brilho*: vítreo em fratura recente.
- ◆ *Traço*: branco não característico.
- ◆ *Peso específico*: ortoclásio, 2,54; albita, 2,62; anortita, 2,76.
- ◆ *Ocorrência*: os feldspatos ocorrem em quase todos os tipos de rochas ígneas intrusivas ou extrusivas e nas metamórficas. Eles são mais raros nas sedimentares, porque estas se decompõem em argila e caulim.
- ◆ *Emprego*: moídos, em granulação finíssima, são fundidos e misturados com caulim, quartzo e argila, na produção de porcelana.

## 3] Micas (Fig. 2.2)

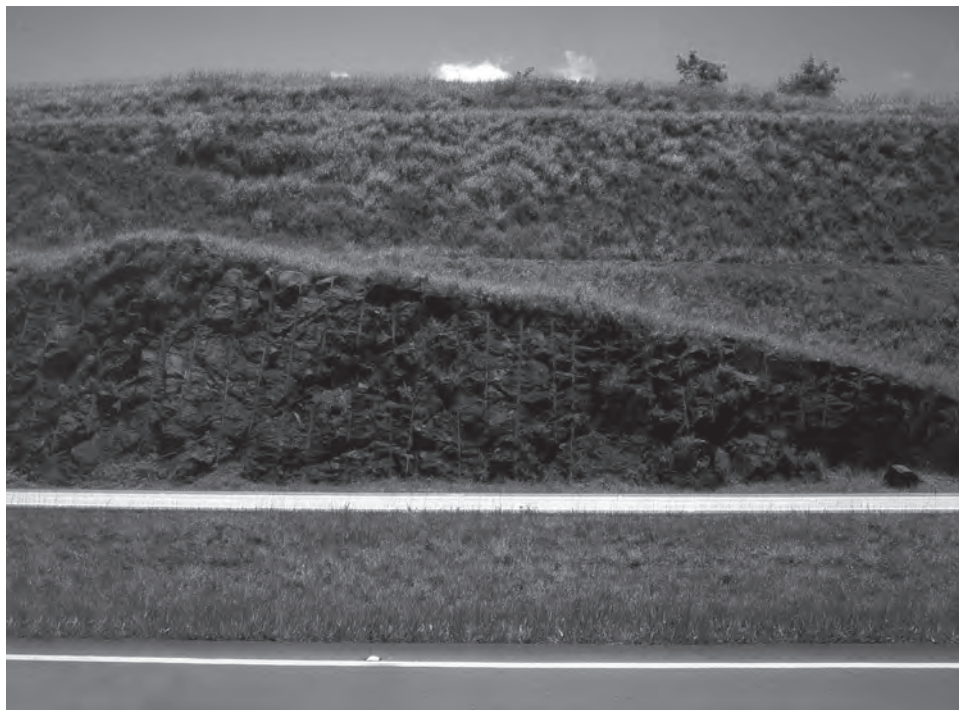
Entre os principais minerais do grupo das micas, encontram-se:

- ◆ mica branca:  $\text{H}_2\text{KAl}_3(\text{SiO}_4)_3$  - moscovita;
- ◆ mica preta:  $(\text{H}, \text{K})_2(\text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Al}, \text{Fe})_2(\text{SiO}_4)_3$  - biotita;
- ◆ mica verde: sericita;
- ◆ mica roxa: lepidolita.
- ◆ *Forma*: quando bem cristalizadas, mostram-se em placas hexagonais.
- ◆ *Clivagem*: perfeita em uma direção.
- ◆ *Cor*: a moscovita é incolor, branca, cinza, parda ou esverdeada. Em lâminas finas, é sempre incolor. A biotita é preta ou pardacenta. Em lâminas finas, é translúcida, parda ou verde-escura.



FIG. 2.2 Placa de mica branca (moscovita)

# Rochas



Sill de rocha magmática constituído de diabásio intrusivo em rochas sedimentares (folhelhos)  
Rodovia dos Bandeirantes, km 158, São Paulo (Foto: Ruth Dolce Chiossi)

## Definição 3.1

Rochas são agregados de uma ou mais espécies de minerais e constituem unidades mais ou menos definidas da crosta terrestre. Contudo, há rochas que fogem um pouco a essa definição. Trata-se das lavas vulcânicas, que nem sempre se mostram formadas por grânulos de minerais iguais ou diferentes, mas sim constituídas de material vítreo, amorfo e de cores diversas.

*Mineral* é toda substância inorgânica natural, de composição química e estrutura definidas. Quando um mineral adquire formas geométricas próprias, que correspondam à sua estrutura atômica, passa a ser chamado *crystal*.

Rocha não deve ser necessariamente todo material resistente e duro da crosta, como parece ser à primeira vista. Em Geologia, fala-se em rocha sem levar em conta a dureza ou o estado de coesão. Assim, são rochas tanto materiais resistentes como granitos, calcários, sienitos e gabros, como materiais mais moles e friáveis, como argilas, folhelhos, arenitos etc.

Como vimos, as rochas são agregados de minerais. Quando esses agregados são formados por um só tipo de mineral, diz-se que a rocha é *simples*. Rocha *composta* é aquela constituída por mais de uma espécie mineral. Assim, são rochas simples os *quartzitos*, que são constituídos somente de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), e os *mármore*s, que são rochas usualmente formadas só de cristais de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ).

São exemplos de rochas compostas os *granitos*, constituídos de quartzo, feldspato (ortoclásio ou albita) e micas; e os *diabásios*, formados por feldspato

$$R_a = \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100 \quad (3.5)$$

### Resistência ao corte

É a resistência apresentada por uma rocha para se deixar cortar em superfícies lisas. Dependendo da disposição dos minerais em uma determinada rocha, ela pode apresentar planos de corte fácil e planos de corte mais difícil.

De uma maneira geral, podemos dizer que a resistência ao corte cresce com a dureza da rocha.

### Resistência à britagem

É a propriedade da rocha em apresentar maior ou menor dificuldade de fragmentar-se quando submetida a britagem, dada pela porcentagem de material fragmentado abaixo de certa dimensão quando a rocha é submetida a compressão em máquinas padronizadas.

São muitos os fatores que influem na resistência à britagem, como fissuramentos, leitos de estratificação, planos de xistosidade, estados de alteração etc. A rocha empregada como pedra britada para pavimentação deve possuir um mínimo de fragmentos lamelares e alongados. Certas rochas têm a tendência de formar esses fragmentos quando submetidas a britagem (p. ex., xistos). A tolerância permissível desses fragmentos será determinada por projeto de cálculo de concreto. Caberá ao técnico controlar os fatores que reduzem a presença desses fragmentos, tais como tipo de britador a ser usado; fator de redução e número de estágios de redução; e tipo de alimentação.

A Tab. 3.4 mostra alguns dados sobre as rochas do Estado de São Paulo, obtidos no Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

**Tab. 3.4** Dados sobre as rochas do Estado de São Paulo, segundo o IPT

Tipo de ensaio	Diabásio (Campinas)	Calcário (Sorocaba)	Quartzito (Jaraguá)
resistência ao desgaste	1,9%	4,4	2,7
resistência ao impacto	12,3%	17,5	11,6
resistência à abrasão	12,7%	27,2	21,2
resistência à compressão	1.614,5 kg/cm <sup>2</sup>	750	2.620
módulo de elasticidade	929.450 kg/cm <sup>2</sup>	758.300	558.660
coeficiente de Poisson	0,24	0,28	0,08

### 3.7.4 Propriedades geotécnicas

O conteúdo exposto nesta seção foi preparado e publicado pela Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE). Os parâmetros para a caracterização geotécnica das rochas são: 1) grau de alteração; 2) grau de resistência à compressão simples; 3) grau de consistência; 4) grau de fraturamento.

Os três primeiros parâmetros aplicam-se tanto à amostra de rochas como a maciços rochosos, ao passo que o grau de fraturamento só se aplica a maciços

# Uso das rochas e dos solos como material de construção e material industrial



Britagem em pedreira de basalto

A importância e a utilização das rochas e dos depósitos naturais de sedimentos como materiais de construção em obras de engenharia e na indústria são intensas. Eles servem, por exemplo, para: agregado para a confecção de concreto; blocos para revestimento de fachadas de edifícios; proteção de taludes de barragens; pedra britada para leitos de ferrovias; aeroportos e rodovias; blocos para calçamento de ruas e avenidas; em indústria cerâmica, de vidro etc.

A exploração de uma pedreira ou de um depósito de argila, areia ou cascalho depende de três fatores básicos:

- a] qualidade do material;
- b] volume de material útil;
- c] localização geográfica da jazida.

No tocante à *qualidade do material*, inclui-se a sua finalidade. Sabe-se que as pedreiras de basalto e diabásio se prestam para a extração de paralelepípedos para calçamento e pedra britada; as de calcário e arenito cozido são utilizadas

- b] *geologia do depósito*: considerar as características do depósito, observando as rochas que o originaram, a natureza das rochas adjacentes, a ocorrência ou não de capa de solo de recobrimento, a sua composição mineralógica aproximada, as variações locais em granulação, qualidade etc.;
- c] *condições hidrogeológicas*: observação da cota do nível d'água nas diferentes estações do ano, bem como da sua qualidade. É necessário conhecer a *posição do nível d'água* para determinar o tipo de equipamento que vai ser utilizado na extração do material. A presença de água poderá exigir o uso de bombas para a sua retirada durante a exploração do depósito;
- d] *cubagem e propriedades físicas do depósito*: dá-se particular atenção à granulometria. Na cubagem, estimam-se separadamente as partes situadas abaixo e acima do nível d'água (Fig. 4.2).

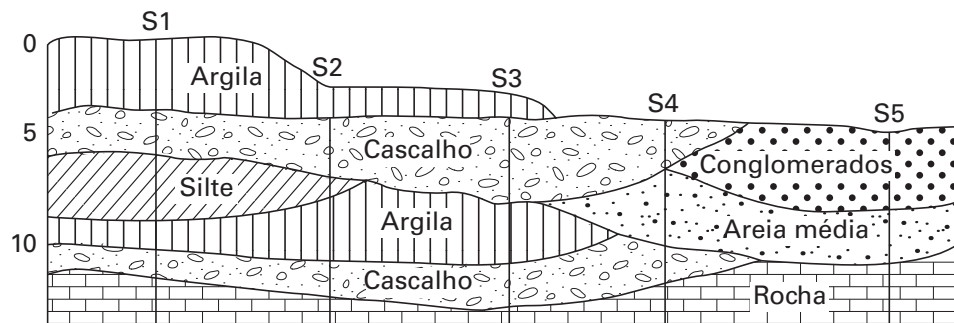


FIG. 4.2 Exemplo esquemático de um depósito de aluvião com materiais diversos

## 4.3 Rochas e solos mais comuns e sua aplicação

### Pedra britada/brita

Em construção civil, as rochas mais utilizadas são: granito, gabro e diabásio, ou seja, rochas magmáticas. Eventualmente se usam também algumas rochas meta-

mórficas (p. ex., gnaisses e quartzitos), que são, porém, menos favoráveis, pois tendem a formar fragmentos em placas, em vez de equidimensionais. Usam-se também depósitos naturais de cascalho em aluviões, após a lavagem e a seleção por tamanho (Fig. 4.3).

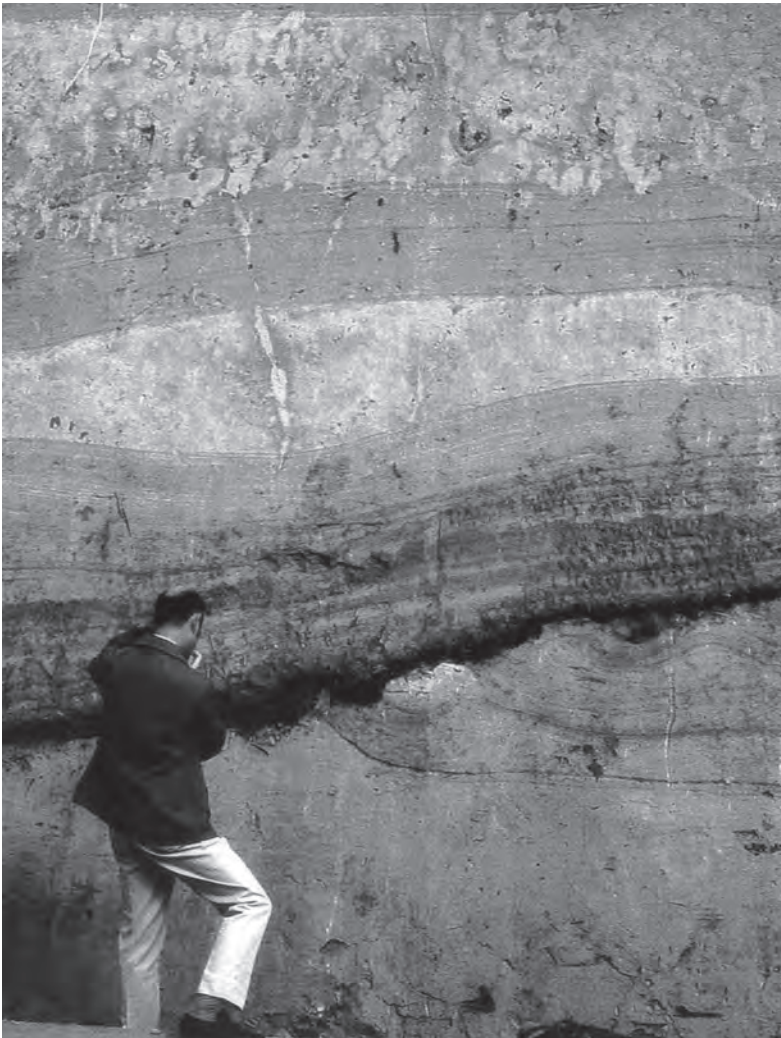


FIG. 4.3 Um avançado sistema de britadores primários, secundários e terciários constituiu as instalações de britagem do canteiro  
Fonte: Revista Engenharia (1973).

### Revestimento de fachadas e pisos

Para tal finalidade, as rochas mais comuns são as magmáticas e as metamórficas, usadas com e sem polimento, como, por exemplo, granito, gabro, diabásio, quartzito, itacolomito (pedra-mineira), mármore, ardósia e gnaisses (Figs. 4.4 a 4.6). Utilizam-se até rochas sedimentares, como o calcário e o siltito.

# Solos 5



Sedimentos argiloarenosos de cores variadas da bacia sedimentar de São Paulo (SP)

As obras de engenharia que tendem a atingir maiores profundidades são os túneis. Enquanto na Europa, em regiões muito acidentadas, como os Alpes, certos túneis chegam a estar 1.500 m abaixo da superfície do terreno, no Brasil raramente um engenheiro de obras públicas ou construções trabalha ou trabalhou na execução de túneis a profundidades maiores que 150 m. A prática habitual geralmente se limita a profundidades em torno de 20 a 30 m. Dessa maneira, uma grande parte das construções de engenharia está localizada sobre solos, incluídas as barragens, as pistas de aeroportos, de rodovias, as escavações para canais etc. Muitas vezes, foge ao caso a construção de túneis, barragens ou grandes pontes que exijam fundações em rocha firme.

O conceito de solo para os engenheiros difere um pouco do conceito geológico, uma vez que, para eles, o termo inclui todo tipo de material orgânico ou inorgânico inconsolidado ou parcialmente cimentado encontrado na superfície da Terra, materiais estes classificados em Geologia como rochas sedimentares ou sedimentos.

Escala do Massachusetts Institute of Technology (MIT) (EUA)

pedregulho	areia	silte	argila
2,0 mm	0,06 mm	0,002 mm	

5.3.2 Análise granulométrica

O objetivo da análise granulométrica é determinar a dimensão dos grãos que constituem um solo e a porcentagem do peso total representada pelos grãos em vários intervalos de tamanho. O método mais direto para separar um solo em frações é o uso de peneiras, mas como a abertura da malha mais fina de peneira disponível, na prática, é 0,07 mm (abertura da peneira 200), seu uso restringe-se à análise de areia (finas, grossas e médias).

Tab. 5.1 Peneiras frequentemente empregadas nos ensaios de peneiramento

Número da peneira	Abertura (mm)
4	4,76
10	2,00
16	1,19
30	0,590
50	0,297
100	0,149
200	0,074

O ensaio de peneiramento é feito tomando-se um peso P (cerca de 200 g) do solo e fazendo-o passar, com o auxílio de vibrações, através de uma série de peneiras, das quais se conhecem as aberturas das malhas. As peneiras frequentemente utilizadas estão indicadas na Tab. 5.1.

Após o peneiramento, pesam-se as quantidades retiradas em cada peneira, peso P<sub>1</sub>, e calcula-se a porcentagem retida em uma peneira pela relação:

$$\frac{P_i}{P} \times 100 \tag{5.9}$$

5.4 Representação granulométrica dos solos

A representação gráfica dos dados obtidos nas medidas das partículas é um dos primeiros passos em uma análise dos resultados de um estudo granulométrico. Um gráfico não serve apenas para representar os resultados de um modo visível, mas também tem grande utilidade na comparação de dados de um sedimento ou solo. Na Fig. 5.12 estão representadas algumas curvas granulométricas de solos de São Paulo e do Rio de Janeiro.

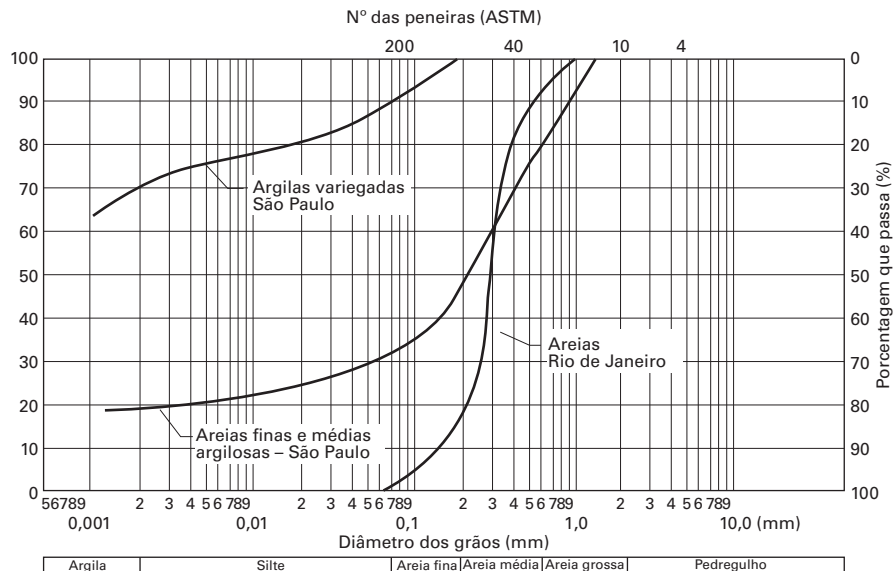


FIG. 5.12 Curvas granulométricas de solos de São Paulo e do Rio de Janeiro

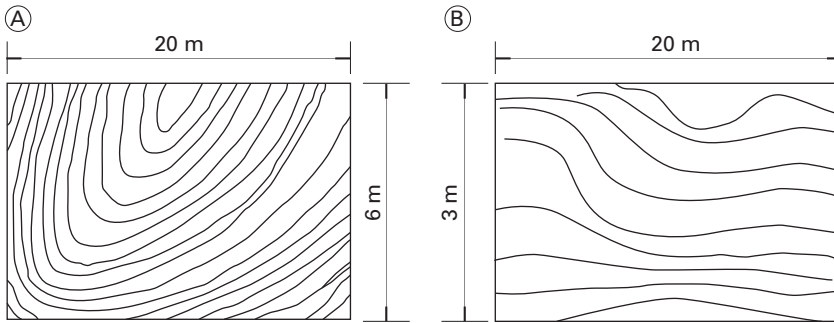
# Elementos estruturais das rochas



Impressionante visão da famosa falha de San Andreas, na Califórnia (EUA). Com 1.300 km de extensão, está situada no contato entre as placas tectônicas Norte-Americana e do Pacífico (Foto: Nasa)

O presente capítulo fornece noções sobre os elementos estruturais existentes nas rochas, representados pelas dobras, falhas e fraturas. Outros elementos, como acamamento das rochas sedimentares ou xistosidade das rochas metamórficas, já foram considerados em capítulo anterior. Nunca é demais insistir na importância dos elementos estruturais numa obra de engenharia, pois túneis, barragens ou cortes rodoviários podem encontrar zonas de fraqueza ou ruptura causadas por falhas, dobras ou fraturas, dificultando e encarecendo as obras.

Os esquemas a seguir (Figs. 6.1 a 6.3) ilustram alguns efeitos dessas estruturas geológicas em obras de engenharia.

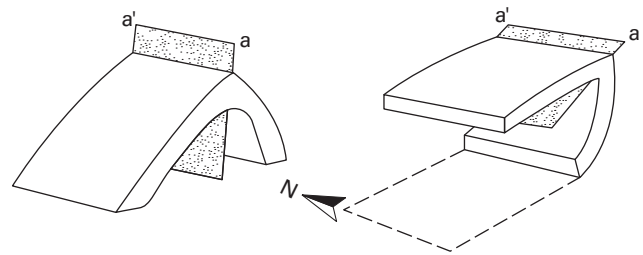


**FIG. 6.5** (A) Sinclinal: dobra tectônica - xistos - km 86 da Rodovia Raposo Tavares (Sorocaba, SP); (B) dobra atectônica - siltitos - entre Itu e Tietê (SP)

**Partes de uma dobra 6.2.2**

Plano axial ou superfície axial de uma dobra é o plano ou superfície que divide a dobra tão simetricamente quanto possível. O plano axial pode ser vertical, inclinado ou horizontal. Embora seja uma superfície plana, pode apresentar-se curvo. A atitude do plano axial é definida por uma direção e um ângulo de mergulho, tal como a atitude de uma camada.

Eixo é a intersecção da superfície axial com qualquer camada. Tal intersecção é uma linha, tal qual na Fig. 6.6 (linha aa'). Há um eixo para cada camada, e toda dobra apresenta incontáveis eixos. Um só eixo, porém, é suficiente para definir a atitude da dobra. Como notamos na Fig. 6.6, os eixos podem ser classificados, quanto à sua posição relativa, do mesmo modo que os planos axiais.

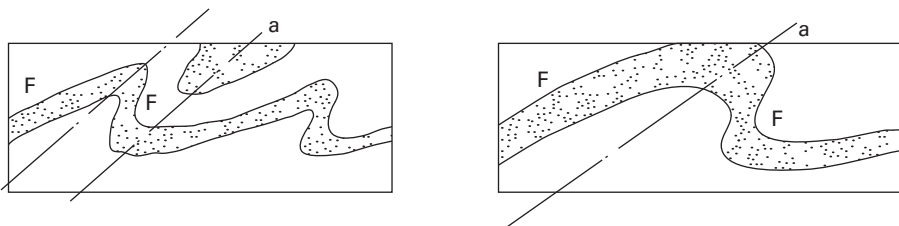


**FIG. 6.6** Eixos de uma dobra

Flancos ou limbos são os lados ou as porções da dobra que se unem no seu eixo (Fig. 6.7). Um flanco estende-se do plano axial em uma dobra ao plano axial da dobra seguinte.

Crista é uma linha ao longo da parte mais alta da dobra, ou, mais precisamente, a linha que liga os pontos altos de uma mesma camada em um número infinito de seções transversais. Há uma crista separada para cada camada, e o plano ou superfície formada por todas as cristas é o plano de crista.

Os elementos de uma dobra estão indicados na Fig. 6.8.



**FIG. 6.7** Flancos de uma dobra

**Nomenclatura das dobras 6.2.3**

A terminologia para descrever o aspecto geométrico de dobras é a seguinte:

- i) **Anticlinal:** é uma dobra convexa para cima. Significa, em grego, “inclinado opostamente”. Refere-se ao fato de, em anticlinais simples, os dois flancos

# Investigação do subsolo



Trabalho de investigação do subsolo  
Fonte: fôlder da IBVP Engenharia (2010).

Os trabalhos de investigação subterrânea são destinados a esclarecer as condições geológicas de subsuperfície, ou seja, quais os tipos de rochas existentes e quais os seus elementos estruturais (linhas de contato, fraturas, falhas, dobras etc.). A investigação subterrânea também é importante na definição de jazidas minerais.

A investigação das condições geológicas da subsuperfície pode ser realizada por meio de dois métodos principais:

- a) *indiretos* ou *geofísicos*: baseados na interpretação de certas medidas físicas;
- b) *diretos* ou *mecânicos*: execução de perfurações ou sondagens do subsolo.

## Descrição dos métodos geofísicos (ou indiretos) 7.1

Os métodos *geofísicos* constituem a *Geofísica Aplicada*, ciência que tem por objetivo procurar as estruturas geológicas que são ou podem ser favoráveis para a acumulação de petróleo, água subterrânea e depósitos de minérios, bem como definir os tipos de rochas e as estruturas geológicas presentes no subsolo, para fins de projetos de engenharia civil.

**Quadro 7.4** Graus de alteração

Grau de alteração	Estado da rocha
são	não são percebidos sequer sinais de alteração
ligeiramente alterado	o material mostra “manchas” de alteração (p. ex., os feldspatos dos granitos)
medianamente alterado	as “faixas” de alteração igualam-se às de material são
muito alterado	o material toma aspecto pulverulento ou friável, fragmentando-se entre os dedos, podendo ser confundido com o “solo de alteração de rocha”

A Fig. 7.17 apresenta um exemplo de sondagem rotativa em balsa, realizada no rio Paraíba (SP), e as Figs. 7.18 e 7.19 mostram testemunhos/amostras de sondagens rotativas para o projeto e construção do Metrô de São Paulo.

A Fig. 7.18 mostra um exemplo de rocha maciça, sem fraturas, e a Fig. 7.19 exemplifica uma perfuração rotativa em rocha intensamente fraturada, que quase não permitiu a recuperação de amostras.



FIG. 7.17 Sondagem rotativa em balsa no rio Paraíba (SP)



FIG. 7.18 Caixa de testemunhos/amostras de sondagem rotativa. Notar a recuperação total indicando rocha maciça, sem fraturas

### Equipamentos mais comuns para sondagem rotativa

#### Tipos de coroas

O “corpo” das coroas é sempre de aço, porém a parte cortante pode ser de diamante, aços especiais, carbeto de tungstênio, mista etc.

Quanto à forma, as coroas podem ser:

- ocais, em forma de anel para permitir a entrada do testemunho no barrilete (Fig. 7.20A);
- compactas, somente com a função de triturar, sem produzir o testemunho (Fig. 7.20B).



FIG. 7.19 Caixa de testemunhos/amostras de sondagem rotativa. Notar o alto estado de fragmentação



# Mapas geológicos e geotécnicos



Mapa geológico reduzido do Município de São Paulo  
Fonte: Diagnóstico Ambiental do Município de São Paulo (Secretaria do Verde e do Meio Ambiente).

## Definição 8.1

*Mapa geológico* é aquele que mostra a distribuição dos tipos de rochas e de estruturas geológicas como fraturas, falhas, dobras, posição das camadas etc. Cada tipo de rocha ou grupo de tipos de rocha existente numa determinada área é separado de outro por linhas cheias, as quais são chamadas de linhas de contato.

## Construção/elaboração 8.2

Um mapa geológico pode ser construído ou a partir de um mapa topográfico, no qual são colocados os dados geológicos, ou a partir de fotografias aéreas. No Brasil, até o momento, existe uma grande deficiência de mapas geológicos, o que obriga certos projetos prioritários a elaborarem, a curto prazo, um mapa geológico precário que permita a sua execução, a exemplo das barragens construídas no país, do projeto do Metrô de São Paulo (Fig. 8.1) etc., para os quais não havia mapas geológicos adequados.

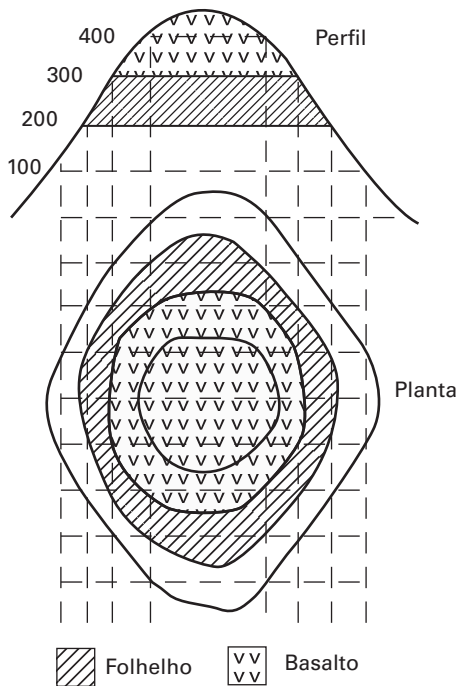


FIG. 8.7 Mapa geológico com camadas horizontais

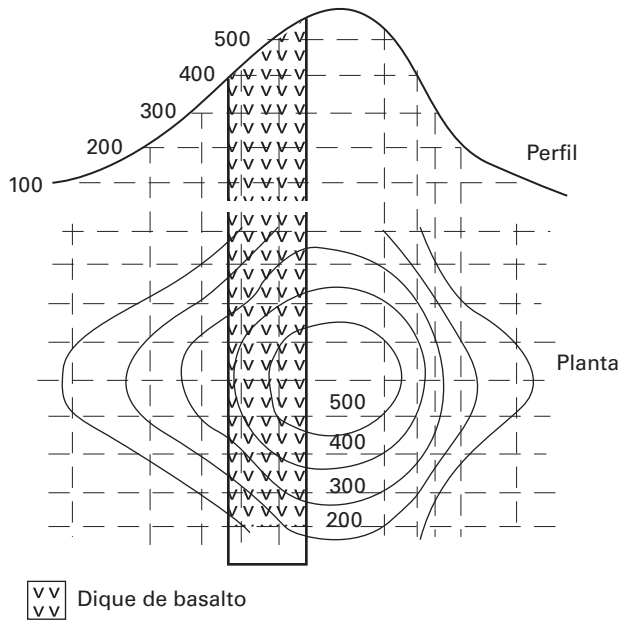


FIG. 8.8 Mapa geológico com camadas verticais

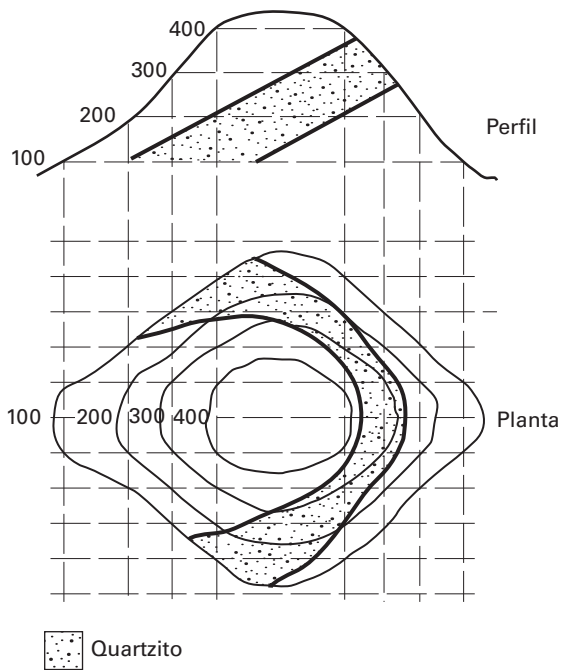


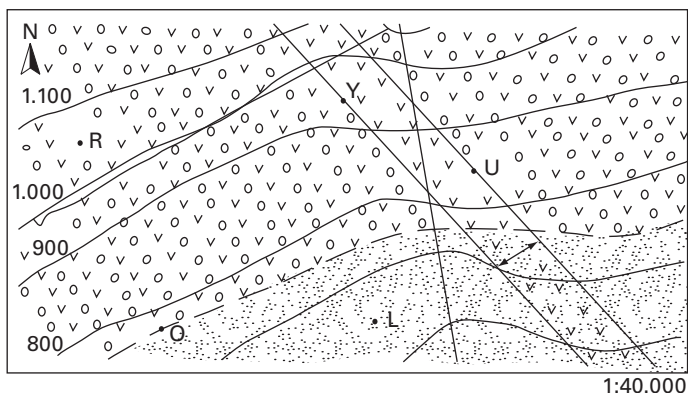
FIG. 8.9 Mapa geológico com camadas inclinadas

### Exercício resolvido

#### Mapas geológicos com camadas horizontais e verticais, com confecção de perfis geológicos

O mapa topográfico mostrado na Fig. 8.10 representa um vale onde afloram cinco tipos de rochas, quatro em posição horizontal e uma em posição vertical (EH = 1:40.000):

- 1] os pontos A, B, C, cota 400 m = contato entre aluvião e calcário;
- 2] D, E, F = pontos de afloramento de calcário;
- 3] G, H, I, J, cota 580 m = contato entre calcário e arenito;
- 4] K, L, M = pontos de afloramento de arenito;
- 5] O, P, Q, cota 770 m = contato entre arenito e basalto vesicular;
- 6] R, S = pontos de afloramento de basalto vesicular;
- 7] U, X = contato entre basalto maciço e basalto vesicular, com direção N 40° W e mergulho vertical;
- 8] Y, Z = contato entre basalto maciço e basalto vesicular, com direção N 40° W e mergulho vertical.


**FIG. 8.14** Medida da espessura do dique

**Tab. 8.2** Dados para a construção de um perfil topográfico-geológico

Ponto	Distância	Cota	Ponto	Distância	Cota
A	-	760	IJ	300	735
AB	200	730	JK	500	740
BC	400	725	KL	200	745
CD	400	720	LM	500	710
DE	500	725	MN	200	750
EF	100	715	NO	400	755
FG	100	715	OP	300	760
GH	200	725	PQ	600	790
HI	400	730	-	-	-

**Quadro 8.1** Tipos de sondagens

A	50 m de rocha	I	1 m de argila orgânica 19 m de argila rija 1 m de areia grossa
B	1 m de argila rija 30 m de rocha	J	15 m de argila rija 10 m de areia grossa
C	1 m de argila orgânica 10 m de argila rija 15 m de rocha	K	1 m de argila rija 20 m de areia grossa
D	5 m de argila orgânica 15 m de argila rija 5 m de rocha	M	20 m de areia grossa
E	15 m de argila orgânica 30 m de argila rija	N	10 m de argila siltosa 15 m de areia grossa
F e G	10 m de argila orgânica 30 m de argila rija	P	1 m de argila porosa 15 m de argila siltosa
H	10 m de argila orgânica 20 m de argila rija	Q	22 m de argila porosa 16 m de argila siltosa

No trecho citado, foram executadas as sondagens relacionadas no Quadro 8.1, nos pontos assinalados, com os respectivos dados.

Pede-se para construir o perfil geológico do referido trecho usando escala vertical 1:1.000 e sobrelevação igual a 20 (na Fig. 8.15, usou-se EV = 1:2.000 e EH = 1:40.000).

### Construção de perfis geológicos para interpretação de elementos estruturais

Esse tipo de interpretação baseia-se na utilização de dados de perfis individuais de sondagens. Os perfis individuais são reunidos em várias seções geológicas, de acordo com o seu número. Nessas seções geológicas, procura-se interpretar a geologia estrutural, visando principalmente observar as linhas de contato entre as diferentes camadas. Esse raciocínio permite determinar a posição dessas camadas, ou seja, horizontal, vertical ou inclinada, e se ocorrem estruturas maiores como falhas, dobras etc.

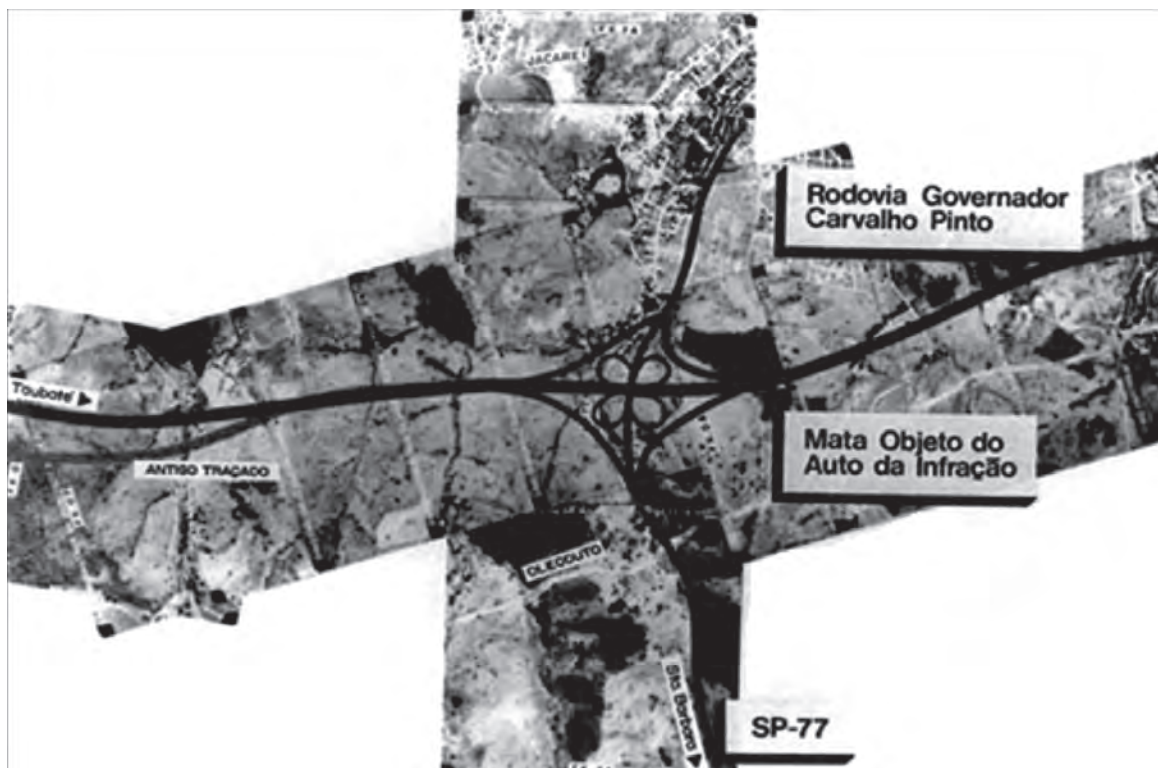
### Quatro problemas de Geologia Estrutural

Nos três primeiros exemplos a seguir, utilizaram-se apenas duas sondagens, ao passo que, no quarto, foi utilizado um número maior.

1] Duas sondagens distantes 100 m mostram os seguintes dados: a primeira, feita na cota 790 m, encontrou uma certa faixa de rocha a 30 m de profundidade; a segunda, feita na cota 820 m, encontrou a mesma faixa de rocha a 60 m de profundidade. Qual a posição estrutural dessa rocha? Represente na escala 1:2.000.

2] Duas sondagens distantes 150 m em terreno plano e na direção E-W mostraram os seguintes dados a 40 m de profundidade: S<sub>1</sub> (localizada a leste), camadas inclinadas 45° para W, e S<sub>2</sub> (localizada a oeste), camadas mergulhando 45° para E. Qual a estrutura geológica local? Represente na escala 1:2.000.

# Fotografias aéreas e sensoriamento remoto



Mosaico fotográfico montado por ocasião do projeto e construção da Rodovia Carvalho Pinto - SP, 1992  
Fonte: DERSA.

## Fotografias aéreas 9.1

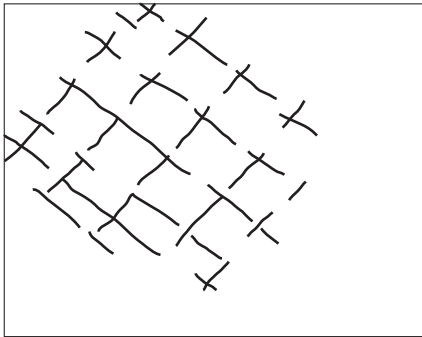
As aplicações da fotografia aérea são inúmeras. Tanto as próprias fotografias como os mapas obtidos a partir delas têm valiosas aplicações, seja na Engenharia Civil, nos setores de urbanismo, construção de rodovias e ferrovias, implantação de barragens, trabalhos portuários, cadastros fiscais etc., seja na agricultura, na extração de minérios, na geologia etc.

A primeira sugestão de utilizar fotografias aéreas ocorreu na França. Em 1858, a partir de um balão nas proximidades de Paris, foram tiradas as primeiras fotografias aéreas, nas quais podiam ser reconhecidas as casas. De modo correlato, desenvolveram-se pesquisas na Rússia, Inglaterra e Estados Unidos. O maior desenvolvimento, porém, aconteceu durante a Primeira Guerra Mundial, quando a Royal Air Force (RAF), da Inglaterra, obteve fotografias aéreas do território alemão.

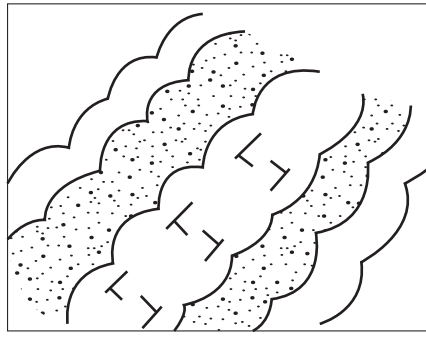
A introdução da fotografia aérea mudou completamente as táticas de guerra. Hoje em dia, o desenvolvimento é tão grande que aviões supersônicos tiram fotos a mais de 20.000 m de altitude, e os satélites e naves espaciais têm se utilizado

### Estruturas geológicas

Em geral, afloramentos de rochas como quartzito, basalto e mesmo arenito oferecem sistemas de fraturas facilmente distinguíveis. Falhas constituem elementos maiores e de mais difícil interpretação, e as dobras são iguais e facilmente determinadas quando o mergulho das camadas é assinalado (Fig. 9.16).



Quartzito  
Fraturas ortogonais



Rochas metamórficas  
Dobras

FIG. 9.16 Estruturas em fotos aéreas

Em resumo, se associarmos a observação de todos os fatores citados a uma certa experiência do interpretador, podemos concluir que algumas litologias apresentam as seguintes características:

- i] *Sedimentos*: os sedimentos recentes possuem características marcantes em relação à sua ocorrência. Assim, são encontrados em planícies de inundação ou várzeas dos rios, em depósitos de praia ou como depósitos de encostas (Fig. 9.17). A tonalidade da foto será clara quando o sedimento não estiver saturado de água; caso contrário, será escura.

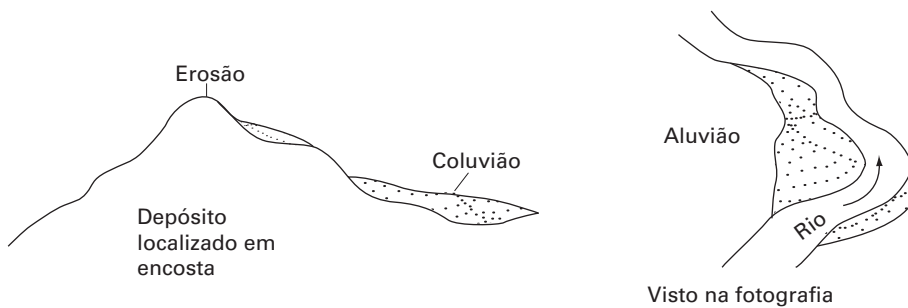
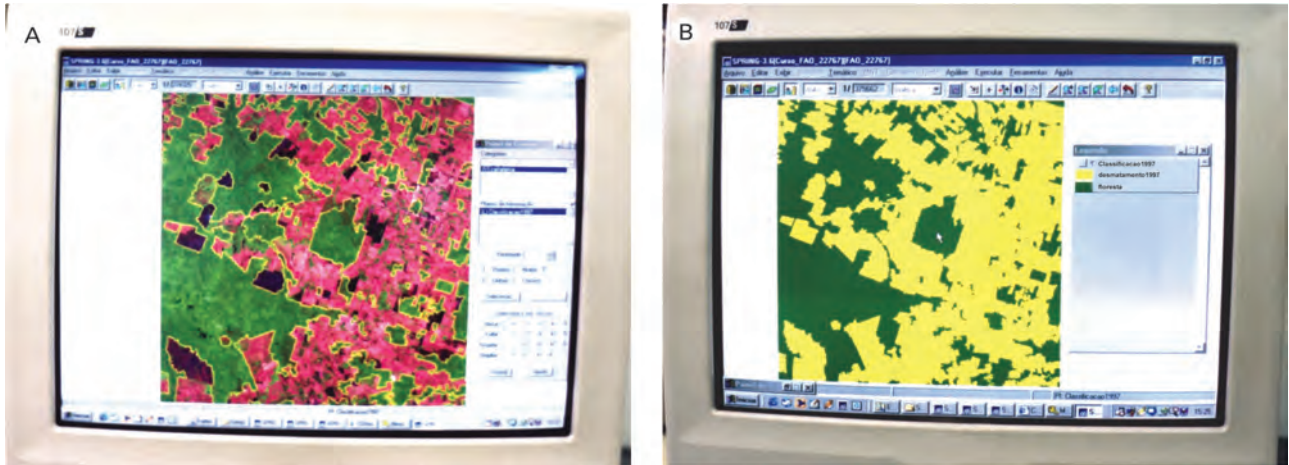


FIG. 9.17 Características marcantes dos sedimentos em fotos

- ii] *Arenitos*: por serem rochas constituídas praticamente apenas de quartzito, aparecem nas fotos em tonalidades mais claras. A drenagem é típica e bem distribuída, e são frequentes nos sistemas de fraturas quando a rocha for cimentada. Naturalmente, a vegetação não é densa.
- iii] *Folhelhos*: aparecem em tonalidades fotográficas relativamente mais escuras. A drenagem é dendrítica e, nas encostas, a erosão forma essas figuras típicas. É comum a presença de fraturas.
- iv] *Calcários*: estão entre as rochas mais facilmente identificáveis, uma vez que neles aparecem depressões, cavernas, colinas, rios que desaparecem



**FIG. 9.20** (A) Exemplo de interpretação de uma imagem digital TM-Landsat-5 na tela do computador e (B) o resultado dessa interpretação. Em (A), com a ajuda de um cursor, podemos observar as classes delimitadas em polígonos amarelos. Em (B), o resultado da interpretação, com as classes de vegetação em verde e o desmatamento em amarelo, como indica a legenda

Fonte: Florenzano (2011).

- iii] *Tamanho*: o tamanho dos objetos de uma imagem depende da escala dessa imagem, que irá permitir a identificação de objetos de diferentes tamanhos.
- iv] *Forma*: a forma dos objetos é facilmente identificável nas imagens. As formas regulares normalmente dizem respeito a obras/áreas construídas e as irregulares, a feições naturais.
- v] *Sombra*: pode ajudar na interpretação, mas também dificultar, por encobrir certas áreas e torná-las mais escuras.
- vi] *Padrão*: é o elemento que caracteriza uma área ou objetos que serão padronizados, facilitando a interpretação de áreas maiores.
- vii] *Localização*: diz respeito à situação geográfica, e mesmo antes do início da interpretação das imagens já é conhecido se a região é urbana, agrícola, de reflorestamento ou pecuária etc. A Fig. 9.22 apresenta exemplos distintos de interpretação, exemplificados pelas fotos mostradas na Fig. 9.23.



**FIG. 9.21** Linha que separa a floresta do cerrado; mosaico em Mato Grosso (1980)  
Fonte: INPE.

### Principais diferenças entre aerofotogrametria e imagens de satélite

### 9.2.6

A finalidade da aerofotogrametria e das imagens de satélite é a mesma, ou seja, gerar cartografia, gerar mapas. A diferença está no nível de precisão ou acurácia que o mapa cartográfico terá. As imagens de satélite QuickBird, por exemplo, têm 0,6 m x 0,6 m, ou seja, 0,36 m<sup>2</sup>, ao passo que as fotografias aéreas podem gerar produtos com resoluções muito superiores, de até 0,1 m, bastando para isso reduzir a altura de voo. Em palavras mais simples, a aerofotogrametria é indicada

# Águas subterrâneas



Poço artesiano

## Ciclo hidrológico 10.1

A água constitui um dos mais valiosos recursos minerais, sem o qual inexistiria qualquer forma de vida. É utilizada como meio de transporte e comunicação por meio da navegação de rios, lagos e mares. É também fonte de energia, que é obtida por meio de barragens e usinas hidrelétricas, e tem inúmeras outras aplicações úteis. Em certas ocasiões, porém, pode-se transformar, temporariamente, na causa das maiores destruições, por meio de tempestades e inundações.

No estudo da água continental, tanto na forma superficial como na subterrânea, deve-se destacar, em primeiro lugar, o ciclo realizado pelas moléculas de água, conhecido como *ciclo hidrológico*. Esse ciclo relaciona-se com o destino da água resultante da chuva e da neve precipitadas sobre os continentes. Ao atingir a superfície do terreno, essa água fica sujeita a três possibilidades diferentes, que normalmente ocorrem em conjunto: o *escoamento*, a *infiltração* e a *evaporação*.

Dá-se o nome de ciclo hidrológico ao processo através do qual as moléculas de água evaporadas das superfícies líquidas, como rios, lagos e mares, e das

possui um reduzido suprimento específico; não é capaz, portanto, de ceder muita água para poços ou drenos. A areia grossa, por sua vez, também possui uma elevada porosidade e, ao mesmo tempo, um elevado suprimento específico, sendo, portanto, capaz de fornecer bastante água.

### Origem e comportamento da água subterrânea 10.3

Embora a água subterrânea seja decorrente, principalmente, da infiltração da água precipitada pelas chuvas e do degelo da neve – caso em que sua origem é chamada de *meteórica* –, deve-se lembrar que ela pode, ainda, originar-se de outras duas maneiras: (i) ser proveniente da parte aquosa dos magmas, caso em que é chamada de *juvenil* ou *magmática*; (ii) tratar-se de água que se depositou conjuntamente com os sedimentos de uma bacia, permanecendo aprisionada à rocha, sendo, pois, uma água fóssil; nesse caso, é chamada de *congênita*.

Em consequência da infiltração, a água precipitada sobre a superfície da Terra penetra no subsolo e, pela ação da gravidade, sofre um movimento descendente até atingir uma zona onde os vazios, poros e fraturas se encontram totalmente preenchidos de água. Essa zona é chamada de *zona saturada*. A zona mais superficial, onde a maioria dos poros se encontra vazia ou preenchida de ar, é chamada de *insaturada*. Essas zonas são separadas por uma linha conhecida como *nível freático*.

A posição do nível freático no subsolo não é, porém, estável, mas bastante variável. Isso significa dizer que, em determinada região, a profundidade do nível freático varia segundo as estações do ano. Essa variação depende do clima da região e, dessa maneira, nos períodos de estiagem a posição do nível freático normalmente sofre um abaixamento, ao contrário do período das cheias, quando essa posição se eleva.

É frequente também a ocorrência de nível freático ou nível d'água suspenso (Fig. 10.5), que não corresponde ao nível d'água principal. A ocorrência de leitos impermeáveis (p. ex., argila) ocasiona aprisionamento localizado de certas porções de água, formando um lençol suspenso (p. ex., na Rua Boa Vista, na cidade de São Paulo, conforme dados da linha NS do Metrô).

A profundidade do nível freático varia também de região para região. De modo geral, é de aproximadamente 15 m no Estado de São Paulo, e em torno de até 80 m para os Estados do Nordeste.

Deve-se ressaltar, porém, que a zona insaturada mais superficial é capaz de reter certa quantidade de água dentro dos vazios, em razão da existência de forças que contrariam o efeito da força da gravidade, conhecidas como forças capilares. Essa água retida no solo, acima do nível freático, constitui a umidade natural do solo. O movimento capilar ascendente da água começa a partir da superfície do nível freático.

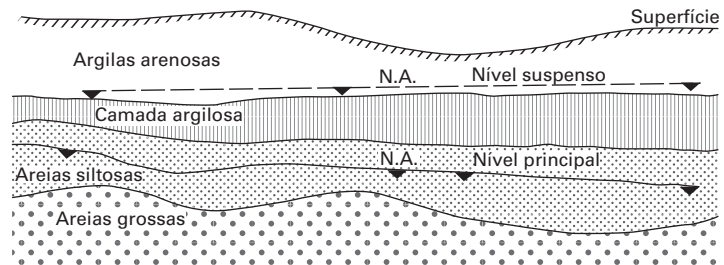


FIG. 10.5 Nível d'água suspenso

## Uso de fontes 10.7.2

Ao utilizarmos a água de uma fonte, devemos examinar se existe alguma contaminação. Quando a vazão de uma fonte aumenta consideravelmente após os períodos de chuva, esse fato é consequência de uma péssima filtragem da água no subsolo. Se, ao compararmos, por meio de um gráfico, os valores de precipitação de chuva de uma área e a vazão de uma fonte nessa área, os maiores valores de vazão coincidirem com as épocas mais chuvosas, existe a possibilidade de má filtragem nessa área, tornando a fonte imprópria para uso.

## Drenagem e rebaixamento do nível freático em obras de engenharia 10.8

Um grande número das obras de engenharia encontra problemas relativos às águas subterrâneas. A ação e a influência dessas águas têm causado numerosos imprevistos e acidentes. Os casos mais comuns desse tipo de problema são verificados em cortes de estradas, escavações de valas e canais, fundações para barragens, pontes, edifícios etc. De acordo com o tipo de obra, executa-se um tipo de drenagem ou rebaixamento do nível freático. Os principais tipos de drenagem são:

## Drenagem superficial e subsuperficial para estradas 10.8.1

As drenagens superficial e subsuperficial são comuns em construção de estradas. Muitos cortes interceptam o nível freático, e, nos casos em que a presença de água é excessiva, os taludes desses cortes estão sujeitos a escorregamentos. Frequentemente é necessária a redução do teor de água nesses locais, por meio de processos de drenagem, que podem ser superficiais ou subsuperficiais.

Drenagens superficiais tendem a evitar a penetração das águas superficiais no solo (p. ex., trechos da estrada onde os taludes são revestidos por camada de betume). Drenagens subsuperficiais são destinadas a eliminar a água já existente no subsolo ou impedir que águas subterrâneas vizinhas o atinjam (Fig. 10.17).

Para evitar escorregamentos, procura-se reduzir o teor de água do trecho por meio de uma valeta, que receberá no seu fundo um tubo perfurado e será envolvida por agregado (pedregulho, brita). Sua função é interceptar a água que provém das partes mais altas. Conjuntamente, nos taludes poderão ser executadas perfurações com 4" de diâmetro, nas quais serão colocados tubos de aço

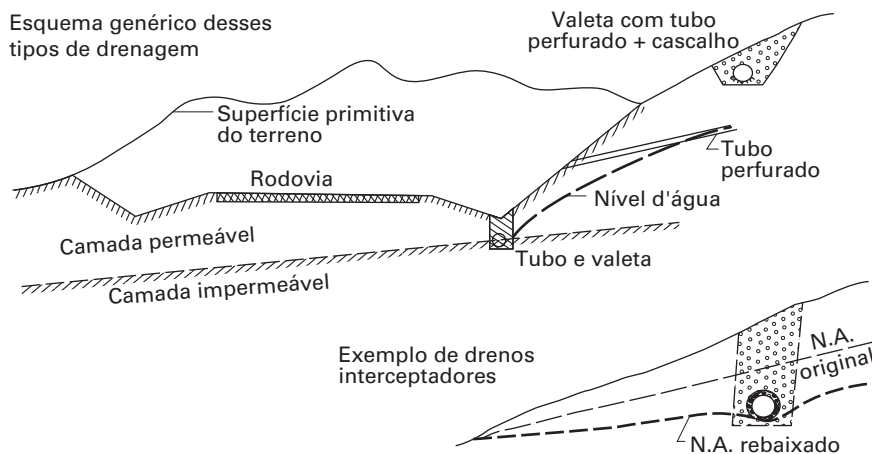
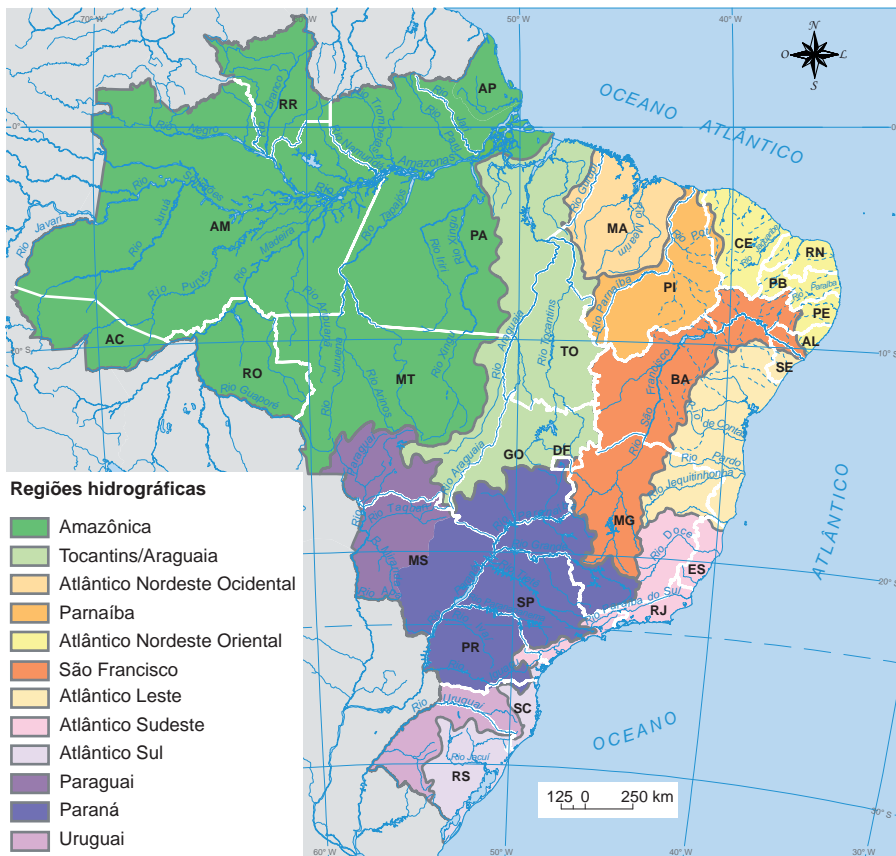


FIG. 10.17 Esquema de drenagem superficial e subsuperficial

# Águas superficiais: rios e bacias hidrográficas

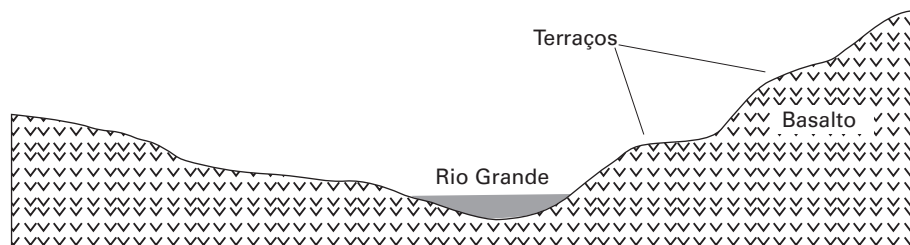


Bacias hidrográficas no Brasil

No estudo das águas superficiais, é importante compreender o problema da precipitação pluviométrica.

A quantidade de água precipitada sobre a superfície da Terra é influenciada, essencialmente, por condições climatológicas, uma vez que os ventos podem carregar o vapor d'água dos locais de evaporação para regiões onde a temperatura favoreça sua condensação e precipitação. Dessa maneira, a quantidade de chuvas é distribuída desigualmente pela superfície da Terra. No deserto do Saara, por exemplo, a precipitação é menor que 240 mm/ano, enquanto em certas partes da Índia é de cerca de 12 m/ano. No Brasil, os índices máximos estão localizados na Serra do Mar, com 4 m/ano, ao passo que, no Nordeste, os índices são inferiores a 500 mm/ano.

Vale lembrar que a quantidade de chuva necessária para a existência de uma rede hidrográfica com escoamento contínuo varia com o clima. Assim, na Rússia, com o clima frio, são necessárias precipitações anuais de apenas 300 mm, enquanto em climas tropicais, com valores menores que 600 a 700 mm/ano, não é possível a existência de rede fluvial perene.

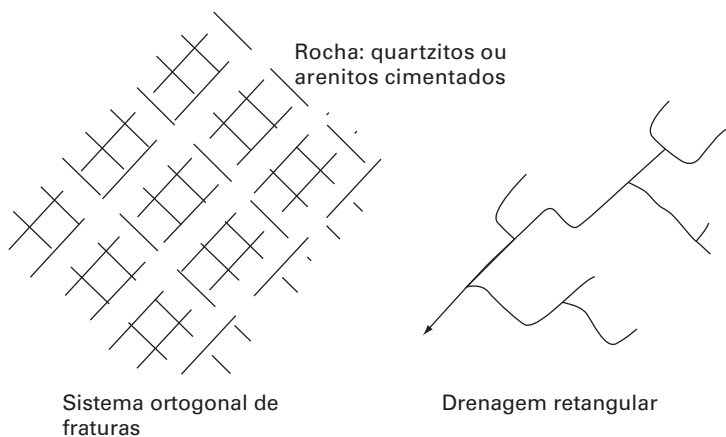
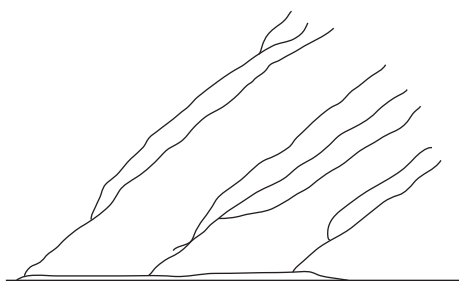
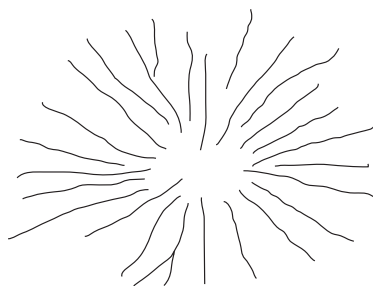
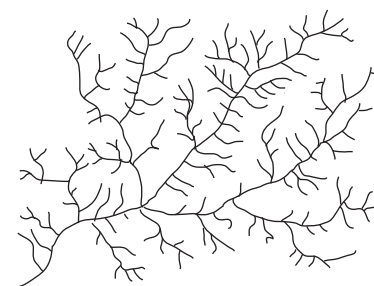

**FIG. 11.15** Terraços escavados em aluvião

## 11.7 Redes de drenagem

O estudo de determinada rede de drenagem pode referir-se a uma ou mais bacias fluviais. O tipo de rede de drenagem depende sempre do tipo ou tipos de rochas atravessadas pelos cursos d'água e de certos elementos estruturais, como linhas de fraturas, falhas, juntas, dobras, inclinação das camadas rochosas etc. Dessa maneira, resumidamente, os tipos de drenagem mais comuns são:

- i] *retangular e ortogonal*: quando os rios e riachos de determinada área exibem um certo paralelismo como resultado da existência de fraturas, juntas ou falhas na rocha (Fig. 11.16);
- ii] *paralela*: quando os rios e riachos quase que se alinham (Fig. 11.17);
- iii] *radial*: quando, a partir de uma determinada região, normalmente elevada, os cursos d'água irradiam-se em todas as direções (Fig. 11.18);

iv] *dendrítica*: esse tipo de drenagem é resultante de regiões onde não existe um predomínio estrutural acentuado. Dessa maneira, os rios e seus afluentes traçam mais ou menos livremente a direção de seu curso, em virtude da ausência de estruturas de controle na rocha atravessada. A drenagem apresenta uma disposição semelhante à estrutura encontrada numa folha de vegetal (Fig. 11.19). É comum em região de xistos e folhelhos.


**FIG. 11.16** Sistema ortogonal de fraturas ocasiona drenagem retangular

**FIG. 11.17** Drenagem paralela

**FIG. 11.18** Drenagem radial

**FIG. 11.19** Drenagem dendrítica

# Ação das águas subterrâneas e superficiais na paisagem e nas áreas construídas



Caverna da Casa da Pedra, que possui a maior entrada entre as cavernas do mundo, com 175 m de altura. Localizada no Parque Estadual do Alto do Ribeira (Petar), que possui mais de 170 cavernas. Na figura, o salão chamado Galeria do Nirvana

Fonte: Consema - Conselho Estadual do Meio Ambiente (1985).

O movimento da água no subsolo pode ocasionar a formação de determinados fenômenos e estruturas de interesse à Engenharia. Os mais comuns são: escorregamentos; boçorocas; agressividade ao concreto de fundações; dolinas; cavernas; subsidência e colapsos em áreas calcárias; erosão marinha.

## Escorregamentos 12.1

Esses fenômenos, que incluem tanto solos como rochas, estão ligados à intensa infiltração de água no subsolo, em regiões onde a precipitação de chuva é elevada. Exemplos típicos são as regiões de serra do mar nos Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Paraná e Santa Catarina.

Há, contudo, casos de deslizamentos lentos, e um exemplo é o trecho de serra do km 51 da Via Anchieta (SP): velocidade de 1 cm/30 anos. Porém, nessa mesma zona, em 1956, houve vários deslizamentos catastróficos, tanto na própria Via Anchieta como nos morros de Santos. A altura dos morros na região da Baixada Santista é de 200 m, em média, e a inclinação nos taludes das encostas é elevada, em torno de 40°. Os deslizamentos provocaram a morte de inúmeras pessoas, feriram centenas e destruíram residências. A causa dos deslizamentos, além do fator geológico, inclui também a ação do homem, que provoca cortes sem controle nas encostas, ausência de drenagem, de impermeabilização etc.



FIG. 12.12 Boçoroca na região noroeste do Estado de São Paulo

Fonte: Revista Construção SP.



FIG. 12.13 Erosão urbana em região de arenitos (noroeste do Estado de São Paulo)

Foto: Fernando Luís Prandini (IPT-SP).

## Agressividade ao concreto das fundações 12.3

Uma das razões para determinar a composição química da água subterrânea é a possibilidade de essa água conter elementos “agressivos” ao concreto e, em razão disso, atacar o concreto das fundações quando estas estiverem situadas abaixo do nível d’água.

Os elementos químicos normalmente agressivos ao concreto são o  $\text{CO}_2$  agressivo, os cloretos, o magnésio, os sulfatos e a amônia. Deve-se considerar o valor do pH, que pode provocar corrosão ou destruição do concreto. Outros fatores a considerar, além da composição da água subterrânea, são:

- i] tipo de cimento usado;
- ii] tipo de agregado usado no concreto;
- iii] proporção água/cimento no concreto;
- iv] condições da superfície exposta do concreto.

O grau de ação dos sulfatos ao concreto é descrito na Tab. 12.1.

A ação do  $\text{CO}_2$  agressivo pode ser estimada pela Tab. 12.2, de I. Bonzel (complemento da Din 4030 - Alemanha), que relaciona o valor do  $\text{CO}_2$  e a agressividade em termos de  $\text{CO}_2$ .

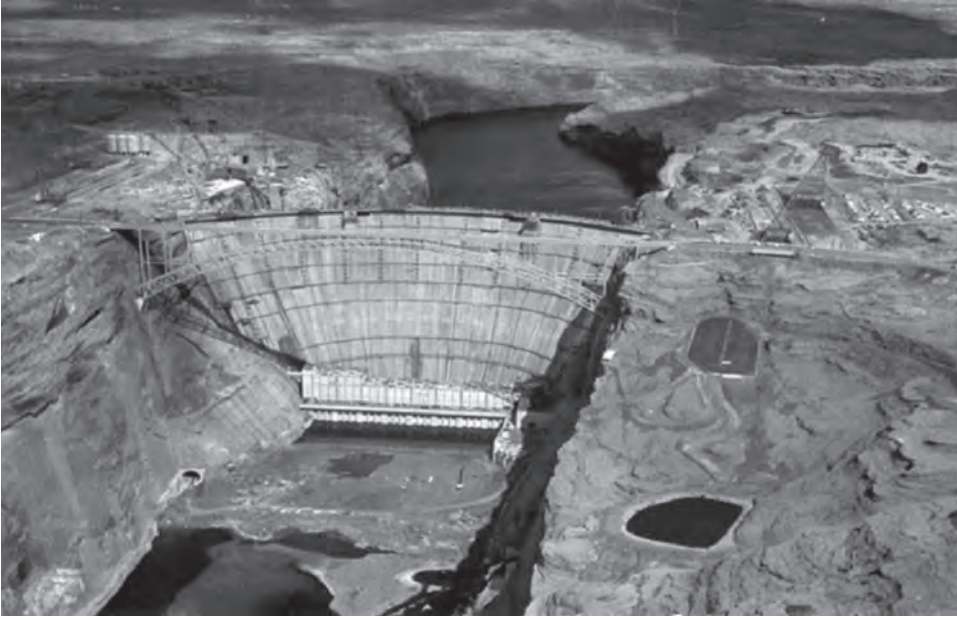
No caso da existência de água agressiva ao concreto, podem-se usar certos aditivos químicos para melhorá-la, ou promover a impermeabilização da estrutura, por exemplo, com papelão asfáltico. Caso

Tab. 12.1 Grau de ataque de sulfatos ao concreto

Grau de ataque	Sulfato de amostra de água (mg/L)
negligível	0 - 150
positivo	150 - 1.000
considerável	1.000 - 2.000
severo	> 2.000

Fonte: U.S. Department of the Interior (1963).

# A Geologia de Engenharia em barragens



Barragem de Glen Canyon, rio Colorado (EUA).  
Construída em cânion, em arenitos. Altura: 191,4 m; largura da base: 112,2 m; largura da crista: 8,25 m

“Those who refuse to learn from the mistakes of the past are forever condemned to repeat them.”  
(George Santayana)

## Definição e objetivos 13.1

*Barragem* pode ser definida como sendo um elemento estrutural construído transversalmente à direção de escoamento de um curso d'água, destinado à criação de um reservatório artificial de acumulação de água.

Os objetivos que regem a construção de uma barragem são vários, e os principais se resumem em:

- i] aproveitamento hidrelétrico;
- ii] regularização das vazões do curso d'água para fins de navegação;
- iii] abastecimento doméstico e industrial de água;
- iv] controle de inundações;
- v] irrigação.

Esses objetivos poderão ser explorados individualmente ou em conjunto. Se, por exemplo, uma barragem é implantada com a finalidade imediata de obtenção de energia elétrica, outras atividades ditas secundárias poderão ser também desenvolvidas correlatamente. Assim é que aspectos como recreação, piscicultura, saneamento etc. são comumente desenvolvidos.

vatório em duas ou três décadas de vida. Muitas outras estão apenas parcialmente cheias de água.

O reservatório de Austin, no Texas (EUA), teve um assoreamento superior a 95% em pouco mais de dez anos após a sua construção. Calcula-se também que o rio Colorado assoreará a Boulder Dam dentro de 190 anos.

O assoreamento causa grandes problemas também na Índia e em Java. Contudo, em países como o Canadá ou em partes dos Estados Unidos, onde predominam as formações glaciais, os rios carregam pouco ou nenhum sedimento.

### 13.9.2 Condições do subsolo com relação à fuga d'água dos reservatórios

Qualquer estudo geológico relativo a um reservatório deve sempre se dividir entre o estudo do local da barragem e o da área do próprio reservatório. O primeiro se restringe a uma área limitada, que é destinada a receber as fundações e o engastamento da barragem; o segundo deve estender-se sobre uma área muito maior, isto é, toda aquela que for banhada pelas águas da represa.

O estudo geológico do local da barragem visa principalmente a conhecer a resistência e a estabilidade da rocha, a sua permeabilidade e o seu comportamento sob a ação da água sob pressão, ao passo que o estudo geológico da área do reservatório visa tão somente às suas condições de estanqueidade e relaciona-se essencialmente com a água do subsolo, além de envolver a aplicação de princípios e métodos de investigações empregados na pesquisa dos recursos de águas subterrâneas. Um fator primordial a ser considerado é a permeabilidade das rochas.

#### i] Rochas mais permeáveis

As rochas mais susceptíveis de permitir fugas sérias são o calcário e outras rochas solúveis; o basalto e outras rochas vulcânicas; depósitos de pedregulhos e depósitos aluvionares.

#### a] Calcário, gesso e outras rochas solúveis

A presença de calcário, dolomito ou mármore deve sempre ser encarada como fator de suspeita quando ocorre na área do reservatório. A sua aparência superficial e sua pode ser extremamente enganosa. Geralmente apresenta sistemas de juntas, pelas quais a água escoar com facilidade.

Sabe-se que essa água dissolve e remove gradualmente o calcário, chegando a produzir grandes e extensos canais subterrâneos. Assim, pode-se desenvolver um verdadeiro sistema de águas subterrâneas, comparável com os sistemas de drenagem da superfície.

Em uma região de caráter cárstico pronunciado, a natureza cavernosa do calcário pode ser aparente na superfície, mas, em muitas regiões calcárias, as



FIG. 13.28 Exemplo de correia transportadora de materiais de construção

O engenheiro Manoel Coelho Soares Filho, chefe do departamento de Recursos Hídricos da Universidade Federal do Piauí, declarou que “essa barragem ‘avisou’ que ia romper”. Ainda segundo ele, “não havia uma manutenção adequada da barragem”.

Por outro lado, técnicos afirmaram que as chuvas na região alcançaram índices elevadíssimos, provocando a ruptura.

Nessa polêmica fica o resultado do fracasso da obra de engenharia e de impactos ambientais e sociais elevadíssimos. Poderíamos perguntar: os moradores serão indenizados pelas moradias, culturas e animais perdidos? E quanto aos mortos?

Obras de engenharia exigem sempre sérios e acurados estudos geológico-geotécnicos e hidráulicos e projetos precisos de Engenharia, pois existe quase uma convivência com riscos, os quais exigem gerenciamento e monitoramento constantes e definição de níveis de alerta e de responsabilidades. Com isso, seria eliminado o bordão repetitivo de autoridades, e até de técnicos, de que a culpa de eventual desastre foi pelo excesso de chuva, solo mole, solo próximo a rios etc.



FIG. 13.34 Rompimento da barragem de Algodões (PI)

## Evolução da Geologia de Engenharia no projeto e construção de barragens 13.14

De acordo com o geólogo e professor Luiz Ferreira Vaz, no fim dos anos 1960, a evolução das investigações geológicas estava cada vez mais adaptada às condições brasileiras. Um fato marcante nessa evolução foram os estudos pioneiros sobre o grau de alteração dos basaltos elaborados na construção da usina hidrelétrica de Ilha Solteira, no rio Paraná, em São Paulo.

Naquele momento, foi aprofundada a necessidade de a Geologia de Engenharia estar presente com mais constância também na fase de construção da barragem.

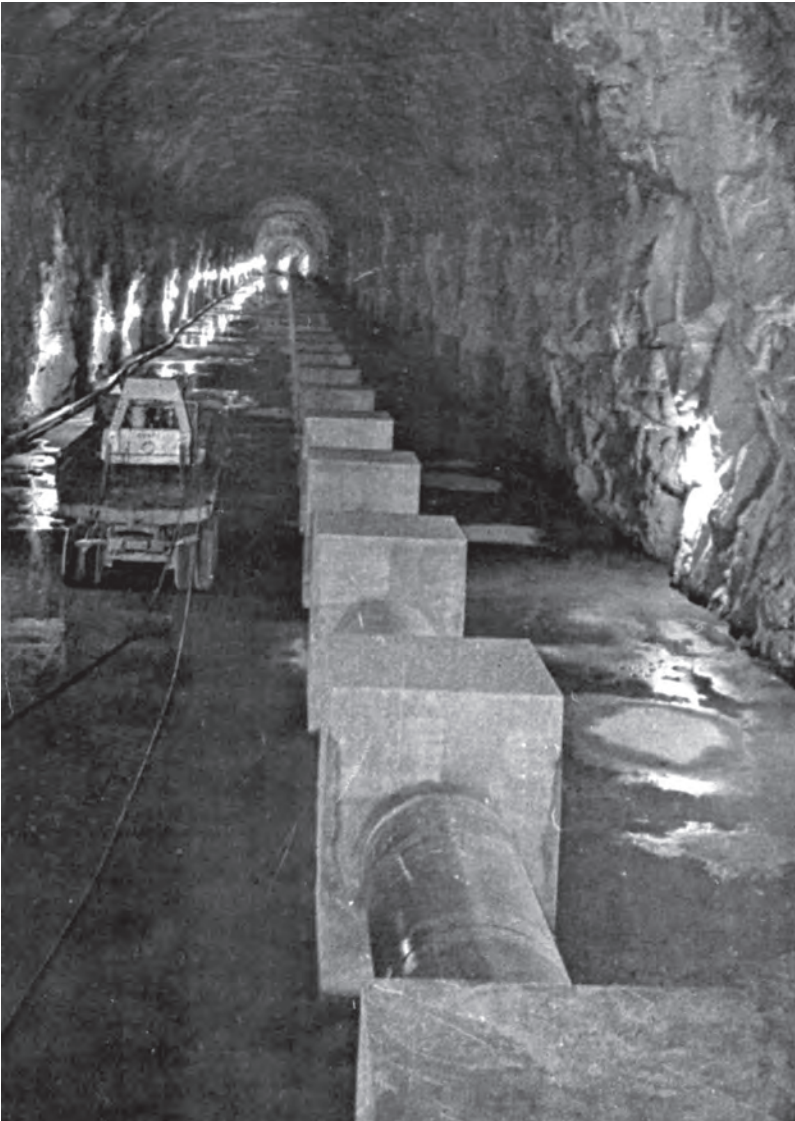
A construção de grandes barragens – como Itaipu, Tucuruí e Paulo Afonso IV – na década de 1970 permitiu, ainda mais, o aperfeiçoamento da tecnologia até então não usada. E, recentemente, o projeto e a construção de usinas de grande porte na Amazônia (Belo Monte, Santo Antônio e Jirau), nos rios Madeira e Xingu, retomou o uso intensivo da Geologia de Engenharia.

### Seleção de eixos de barragens 13.14.1

As alternativas de eixos de barragens são indicadas, inicialmente, em plantas topográficas e mapas geológicos, que serão detalhados por meio da análise de imagens, fotos aéreas, reconhecimento de campo e um programa preliminar de sondagens, resultando na elaboração de um relatório preliminar contendo perfis geológicos básicos.

A escolha final do eixo será feita posteriormente, com a avaliação detalhada dos dados hidrométricos, geológicos, hidrológicos e geotécnicos.

# A Geologia de Engenharia no projeto e construção de obras subterrâneas



Vista interior do túnel do reservatório de Santos-São Vicente (SP)

## O uso do espaço subterrâneo 14.1

No Brasil, as obras subterrâneas estão presentes nas construções de rodovias, ferrovias, metrô, hidrelétricas, garagens e sistemas de infraestrutura (telefonia, gás, esgoto), entre outros. Exemplos dessas obras são descritos ao longo deste capítulo e no Cap. 15.

No caso de hidrelétricas, um exemplo significativo é o da usina Parigot de Souza (antiga Capivari-Cachoeira), que possui 23 km de túneis escavados em granitos e magmáticos.

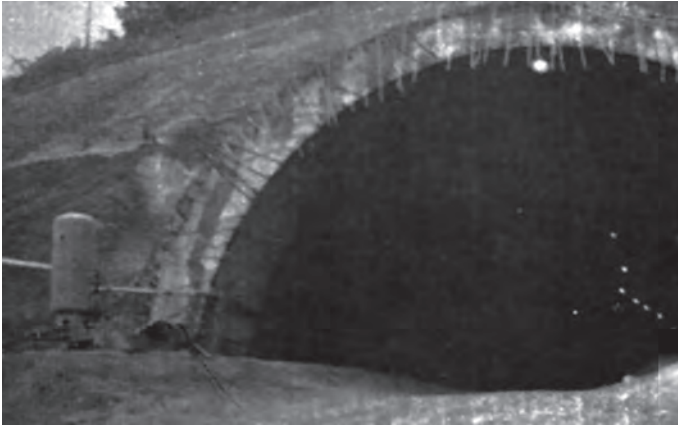


FIG. 14.32 Túnel na rodovia dos Imigrantes (SP). Escavado em solo residual derivado de gnaisses

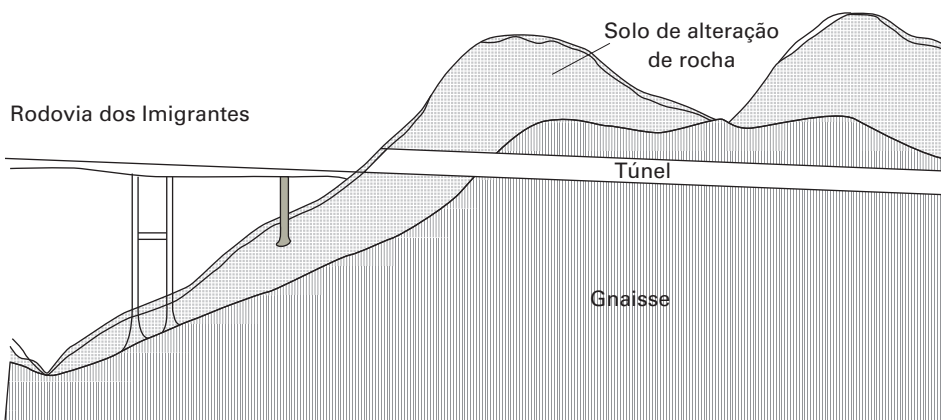


FIG. 14.33 Perfil geológico da rodovia dos Imigrantes (SP)

## O acidente na estação Pinheiros da Linha Amarela do metrô de São Paulo 14.4

Tenho laços de afeto com o metrô de São Paulo por ter trabalhado nos anos 1960 no projeto e na construção das linhas norte-sul e leste-oeste. E, felizmente, sem ter presenciado acidentes, apesar de a linha norte-sul atravessar a rua Boa Vista com dois túneis superpostos, tangenciando as fundações profundas dos prédios, e de os túneis cruzarem o vale do Anhangabaú com sedimentos arenosos, pois lá corria um riacho, hoje canalizado.

Em 2012, o metrô de São Paulo, com mais de 40 anos de operação, possuía uma extensão de 74,3 km, distribuídos em cinco linhas e ligados por 64 estações.

Compõem o sistema as linhas:

- 1] Azul: Jabaquara-Tucuruvi;
- 2] Verde: Vila Prudente-Vila Madalena;
- 3] Vermelha: Corinthians/Itaquera-Palmeiras/Barra Funda;
- 4] Amarela: Luz-Butantã;
- 5] Lilás: Capão Redondo-Largo Treze

Em 12 de janeiro de 2007, a população de São Paulo foi surpreendida por um desabamento repentino e assustador ocorrido no canteiro de obras da estação Pinheiros da Linha 4-Amarela, que abriu uma cratera com cerca de 80 m de diâ-



**FIG. 14.52** Praça da Sé e praça Clóvis Beviláqua. Aspecto inicial e um dos estágios da obra. Notar a Catedral da Sé e o Palácio da Justiça

## 14.6 O metrô de Fortaleza

A Fig. 14.53 apresenta uma visão geral da rede do metrô de Fortaleza.

### 14.6.1 Características geológico-geotécnicas

A geologia da Região Metropolitana de Fortaleza é caracterizada pela presença de rochas cristalinas (metamórficas e ígneas) do Complexo Nordestino, sedimentados terciários da Formação Barreiras e dunas.

As rochas do Complexo Nordestino englobam metassedimentos, gnaisses, xistos, quartzitos e calcários com migmatitos e rochas graníticas associadas, de idade pré-cambriana.

A Formação Barreiras distribui-se como faixa sedimentar de largura variável, com até 30 km, acompanhando a linha da costa, parcialmente recoberta por dunas e areias marinhas junto ao litoral. Esses sedimentos se compõem de areias argilosas, argilas arenosas e arenitos averme-



**FIG. 14.53** Metrô de Fortaleza

# A Geologia de Engenharia no projeto e construção de obras lineares



“Governar é abrir estradas.”

Dr. Washington Luís, presidente do Brasil, 1926

Vista de um dos inúmeros viadutos  
construídos no Sistema Anchieta-  
Imigrantes, que liga São Paulo a Santos  
Fonte: Revista 25 anos da Dersa (1994).

## Rodovias/estradas 15.1

### Rodovias no Brasil 15.1.1

O extenso território nacional tem exigido a construção de extensas rodovias, que atingem comprimentos superiores a 4.000 km. A Tab. 15.1 resume seis dessas rodovias. Todas possuem extensão maior que 2.000 km, chegando até a 4.489 km (BR-116).

O Brasil utiliza a malha rodoviária para a maior parte dos transportes. O sistema conta com uma rede de 1.355.000 km de rodovias, pelas quais transitam 56% de todas as cargas movimentadas no país.

Com tamanha rede, as estradas são as principais vias de transporte de carga e de passageiros. Desde o advento da República, os governos brasileiros sempre priorizaram o transporte rodoviário em detrimento do ferroviário e fluvial.

O Brasil é o 7º país mais importante para a indústria automobilística. Dos mais de 1,3 milhão de quilômetros de rede rodoviária, 30% estão muito danifi-

### Investigação geológica para estradas: o caso da rodovia dos Imigrantes 15.1.8

A Imigrantes faz a ligação entre São Paulo e a Baixada Santista. Ela atravessa três regiões morfológica e geologicamente distintas: trecho de planalto; trecho de serra, de topografia extremamente acidentada, onde ocorrem vários tipos de rocha em diversos graus de alteração; e trecho da Baixada, de topografia plana.

A drenagem é caracterizada por um grande número de profundas ravinas, que se transformam em leitos de enxurradas por ocasião das chuvas e que recortam os taludes da serra.

Durante a época de chuvas (outubro a março), ocorrem escorregamentos de solo e rochas. Estudos geológicos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) constaram essencialmente de:

- a) mapeamento geológico preliminar, indicando especialmente os afloramentos rochosos com atitudes estruturais e delimitando os principais corpos de tálus;
- b) execução de poços de inspeção e sondagens a trado;
- c) sondagens rotativas;
- d) ensaios de caracterização de solos: LL, LP e IP e análises granulométricas;
- e) sondagens elétricas.

Já os estudos geológicos desenvolvidos na fase de elaboração do projeto básico constaram essencialmente de:

- a) mapeamento geológico de superfície executado ao longo de uma faixa de 250 m de largura;
- b) poços de inspeção para fins geotécnicos, com retirada de amostras;
- c) sondagens para determinação do topo rochoso;
- d) sondagens para fins geotécnicos, com ensaios de penetração SPT nos trechos em solos;
- e) prospecção geofísica pelos métodos sísmicos de refração e eletrorresistividade;
- f) ensaios especiais em solos (LL, LP e IP, granulometria, cisalhamento direto, ensaios triaxiais, adensamento rápido e ensaio de compactação Proctor normal).

O método sísmico de refração foi utilizado em todo o trecho de serra ao longo dos espigões, procurando-se as linhas de cristas por serem menos irregulares para a elaboração de seções.

No trecho de topografia menos acidentada, esse método foi utilizado em conjunto com o da *eletrorresistividade*, especialmente no estudo das áreas de tálus próximas ao rio Cubatão.



FIG. 15.15 Ruptura de aterro com o rompimento da estrada BR-356, na altura de Campos, no norte fluminense, provocado pela cheia do rio Muriaé

foi construída uma barragem para a formação de uma represa, que deu origem ao lago Gatun. Fica a 20 m acima do nível do mar.

O sistema de eclusas é duplo e permite a passagem dos navios nos dois sentidos (Fig. 15.24).



**FIG. 15.24** Canais nos dois sentidos: sistema de eclusas (Panamá)

### 15.3.3 Canais no Brasil

#### **Canal de Pereira Barreto (SP)**

No Brasil, como exemplo de canal, temos o de Pereira Barreto, no Estado de São Paulo, com 9,6 km de extensão, 50 m de largura e profundidade variando de 8 a 12 m (Fig. 15.25).

Ele interliga o lago da barragem de Ilha Solteira, no rio Paraná, com a barragem de Três Irmãos, no rio Tietê, por meio da ligação do rio Tietê com o rio São José dos Dourados.

O canal de Pereira Barreto foi estudado por Koshima, Imaizumi e Pacheco (1981), que determinaram as propriedades geotécnicas do arenito Bauru e dos solos subjacentes e suas aplicações ao projeto desse canal de grandes dimensões, em que foram escavados 18,5 milhões de m<sup>3</sup> em solo e em rocha branda (arenito Bauru), com resistência à compressão simples inferior a 120 kg/cm<sup>2</sup>.

Kaji, Vasconcelos e Guedes (1981) investigaram o arenito Bauru para a construção do mesmo canal. Classificaram o arenito principalmente em função da resistência à compressão simples. A prospecção contou com levantamentos sísmicos, ensaios de escarificabilidade e determinação da degradabilidade e erodibilidade, além de outros ensaios.

Canais para o transporte de água para a irrigação devem ter seu trecho previamente estudado com relação à permeabilidade, à erodibilidade ou à colapsividade. Um exemplo é o canal de Jaíba, em Minas Gerais.



**FIG. 15.25** Canal de Pereira Barreto (SP)



FIG. 15.44 Exemplo de tubulação usada em oleodutos

As tubulações já eram conhecidas pelos egípcios, astecas e chineses desde a Antiguidade, que usavam materiais como cerâmica e bambus, e por gregos e romanos, que usavam o chumbo.

Segundo Santana, Azevedo e Pacheco (2008), na Pensilvânia, em 1865, foi construído o primeiro oleoduto para transporte de hidrocarbonetos. Em 1930 iniciou-se o transporte de produtos refinados. No Brasil, a primeira linha foi construída na Bahia, com diâmetro de 2" e 1 km de extensão, e iniciou o transporte em 1942.

#### 15.4.7 Alcooldutos

O crescimento impressionante do uso do etanol no Brasil, com expressiva extensão da área de plantio da cana-de-açúcar e implantação de centenas de usinas, exige a construção de alcooldutos para o transporte da produção de etanol.

São destaques o alcoolduto entre Campo Grande (MS) e o porto de Paranaguá (PR), com 920 km de extensão (Fig. 15.46), e o alcoolduto entre Goiânia (GO) e o porto de São Sebastião (SP) (Fig. 15.47).

#### 15.4.8 Mineroduto

São utilizados principalmente para transporte de minério, cimento, cereais e sal-gema.

A Fig. 15.48 mostra parte do mineroduto da Companhia Vale do Rio Doce, com 250 km de extensão, entre Paragominas e Barcarena, no Pará. O diâmetro da tubulação é de 24".

Os minerodutos no Brasil somam uma extensão de 567 km e estão indicados na Tab. 15.6, com suas extensões, diâmetros e tipo de carga transportada.



FIG. 15.45 Trecho de oleoduto em superfície

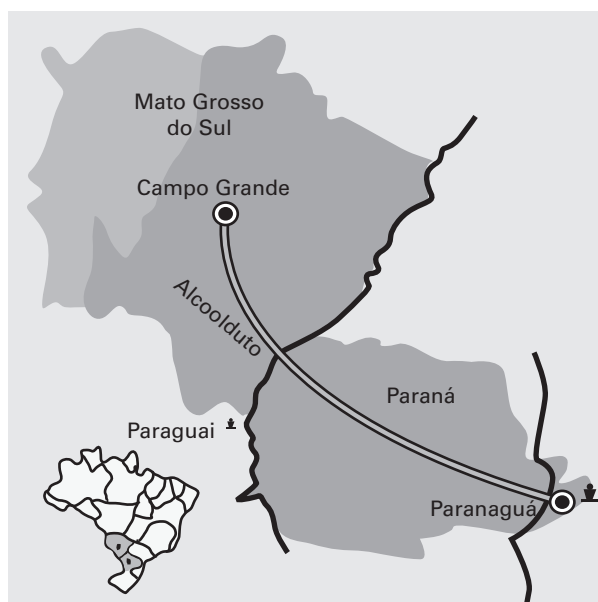


FIG. 15.46 Alcoolduto entre Campo Grande (MS) e o porto de Paranaguá (PR)

Fonte: adaptado de <www.globo.com>.

# A Geologia de Engenharia na mineração e exploração de petróleo e gás



Espectacular vista da escavação em mina de cobre em Utah (EUA).  
Notar a dimensão da escavação e a forma da exploração

## Mineração 16.1

### Noções de Geologia do Brasil 16.1.1

O mapa geológico da Fig. 16.1 mostra as formações geológicas com indicação da idade da sua formação e do tipo de rocha presente na sua origem magmática, sedimentar ou metamórfica.

É claro que, pela imensidão do território nacional, é impossível nominar as rochas presentes.

Somente como exemplo simplista, a cor amarela, na legenda, indica os sedimentos mais recentes, como a área dos rios Solimões, Purus, Juruá e Madeira, na Amazônia.

Na Região Sul, a cor esverdeada representa os extensos derrames de basalto, enquanto a cor rosa-claro representa os chamados escudos de rochas metamórficas, presentes na região das Guianas e do Brasil Central e se estendendo ao longo da costa, constituindo o Escudo Atlântico.

A Fig. 16.2 simplifica a geologia do Brasil em áreas representadas pelas bacias sedimentares maiores – como a Amazônica, a do Parnaíba e a do Paraná –, com indicação das bacias costeiras e das áreas indicadas como escudos cristalinos, que estão representadas por rochas de origem magmática e metamórfica. É possível notar escudos cristalinos na região das Guianas, no Brasil Central e na região do Atlântico.

## Importância da Geologia de Engenharia na mineração 16.1.5

A Geologia de Engenharia está presente nas seguintes fases:

- a) Nos mapeamentos geológicos.
- b) No programa e na interpretação das investigações do subsolo.
- c) Na avaliação das condições hidrogeológicas.

Na verdade, deve-se ter sempre uma ligação direta e profunda entre os geólogos de engenharia e os engenheiros de minas.

Na fase de exploração da jazida, a Geologia de Engenharia tem papel importante tanto nas explorações a céu aberto como nas subterrâneas, em que se destaca o conhecimento de aspectos como:

- ◆ Dimensionamento/inclinação dos cortes.
- ◆ Áreas para disposição de rejeitos.
- ◆ Projetos de barragens.
- ◆ Definição dos túneis etc.

## Exploração de petróleo no Brasil 16.2

### Resumo histórico 16.2.1

De acordo com o Prof. Dr. Celso de Barros Gomes (Gomes, 2007):

- ◆ 1859 – Teve início no mundo com a histórica descoberta em Oil Creek, nos EUA.
- ◆ 1897 – Iniciativa de Eugênio Ferreira de Camargo, fazendeiro paulista, para encontrar petróleo no Brasil. Foi perfurado um poço com 480 m de profundidade, que encheu dois barris de óleo, na região de Bofete, em São Paulo.
- ◆ 1935 – É perfurado em Águas de São Pedro (SP) o décimo poço de exploração no Brasil (Fig. 16.7).
- ◆ 1938 – Criado o Conselho Nacional do Petróleo (CNP), que abriu mais de 100 poços exploratórios, descobrindo reservas no Recôncavo Baiano.
- ◆ 1940 – Cresce no Brasil a onda do “o petróleo é nosso”, com o envolvimento de estudantes.
- ◆ 1953 – É criada a Petrobras. A maioria dos geólogos era estrangeira.
- ◆ 1954 – Início das atividades da Petrobras. O setor de exploração estava a cargo do geólogo americano Walter Link. Da Bahia, a Petrobras passa a investigar as bacias de Sergipe, Alagoas, Maranhão, Piauí, Paraná e Amazonas.
- ◆ 1960 – Forma-se a primeira turma de geólogos nacionais.
- ◆ 1960 – Na Petrobras, passam a predominar os geólogos brasileiros.



FIG. 16.7 Torre do poço Eng. Angelo Balloni, em Águas de São Pedro (SP)

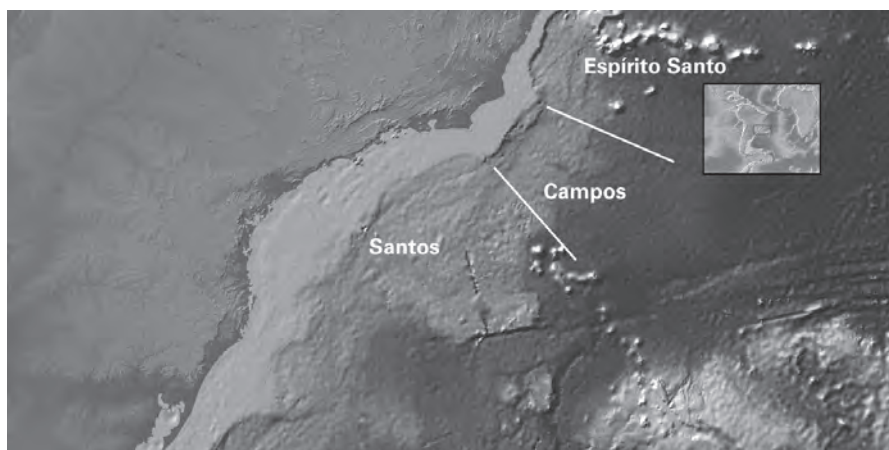


FIG. 16.11 Imagem de satélite abrangendo as bacias de Santos, Campos e Espírito Santo

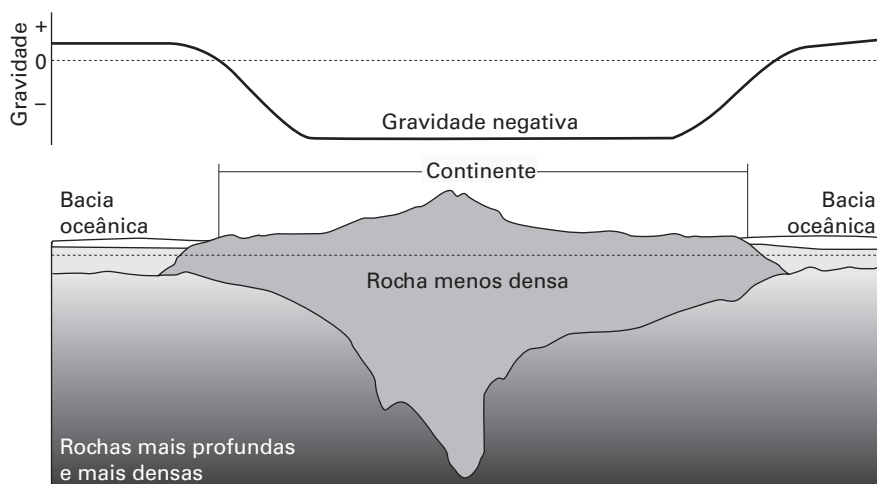


FIG. 16.12 Exemplo da relação rocha/valor da gravidade

### Principais produtos do refino

O Quadro 16.2 relaciona os principais produtos do refino de petróleo. Os processos normalmente aplicados em refinarias são:

- ◆ Dessalgação: processo de remoção de sais do óleo bruto.
- ◆ Destilação atmosférica: processo em que o óleo bruto é separado em diversas frações sob pressão atmosférica.
- ◆ Destilação a vácuo ou destilação a pressão reduzida: processo em que o resíduo da destilação atmosférica é separado em diversas frações sob pressão reduzida.
- ◆ Hidrotratamento.
- ◆ Reforma catalítica.
- ◆ Craqueamento/cracking catalítico: processo em que moléculas grandes (de menor valor comercial) são quebradas em moléculas menores (de maior valor) por meio de um catalisador.
- ◆ Tratamento Merox.
- ◆ Craqueamento/cracking retardado/térmico: processo em que moléculas grandes (de

Quadro 16.2 Principais produtos do refino de petróleo

asfalto	gás liquefeito de petróleo
diesel/óleo diesel	óleos lubrificantes
nafta	ceras e parafinas
óleo combustível	coque
gasolina	petróleo
querosene e querosene de aviação	

# A Geologia de Engenharia para o meio ambiente



Espumas poluídas do rio Tietê em Santana de Parnaíba (SP)

“Como não seremos violentos com a natureza, se o somos uns com os outros?”

(Gandhi, líder pacifista hindu, 1869-1948)

A relação entre a Geologia de Engenharia e o meio ambiente é extremamente importante, profunda, delicada, e parte de um princípio simples: “toda intervenção que se faça no meio ambiente – desde a construção de uma simples casa, pequenos caminhos, canais etc., até obras gigantescas (barragens, túneis, metrô, estradas, indústrias) – exige o conhecimento geológico-geotécnico do local/área/região”.

Quando não considerado, o aspecto geológico-geotécnico pode gerar consequências desagradáveis e profundas, com o aparecimento de impactos ambientais, sociais e econômicos com graves sequelas, até com a custa de vidas.

Um dos exemplos mais significativos dessa afirmação é o caso do canal do Valo Grande, em Iguape (SP), descrito no Cap. 15, item 15.3.3.

## **Formas de uso e ocupação do solo e os impactos resultantes** 17.1

Infelizmente, o uso e a ocupação do solo no Brasil ocorrem sem nenhum planejamento, gerando, como consequência, os mais diversos e graves impactos.

São feitos estudos para buscar uma solução técnica para esse passivo ambiental.

É importante destacar que a Companhia Mercantil e Industrial Ingá, uma fábrica de lingotes de zinco, foi interditada pelo governo federal em 2003.

No Brasil, vários são os casos de passivos ambientais ainda não resolvidos.

## 17.4 Desastres naturais e a Geologia de Engenharia

Os desastres naturais se dividem basicamente em três tipos:

- ◆ são de origem espacial;
- ◆ são de origem climática;
- ◆ são provocados por fatores relacionados à dinâmica interna da Terra.

### 17.4.1 Desastres naturais relacionados à dinâmica interna da Terra

A Fig. 17.5 mostra uma foto aérea de uma área destruída na cidade de Kobe, no Japão, pelo terremoto de 1995.



**FIG. 17.5** Terremoto em Kobe, Japão, em 1995  
Fonte: Kyodo News/Associated Press.

Vale lembrar que, em se tratando de desastres naturais, o Brasil sofre cerca de 1.300 deles por ano. Em 2009, esses desastres atingiram o fantástico número de 3.000 casos, como inundações, ciclones, tornados, incêndios, deslizamentos de solo e rochas, erosões etc. Ocorrem praticamente em todos os Estados do Brasil.

Serão citados apenas os principais desastres naturais relacionados à dinâmica interna da Terra, uma vez que sua ocorrência no Brasil, felizmente, não tem sido significativa.

#### Terremotos

“Como o raio do relâmpago e o trovão, o tremor na Terra causa medo e horror no homem. Mas, enquanto o temporal se anuncia pela formação de nuvens negras e ventos fortes, o tremor na Terra é imprevisto.”

(Eng. Hermann Haberlehner, São Paulo, set. 1979)

No Brasil, apenas sismos de pequena magnitude têm sido registrados, porém com características singulares (Tab. 17.1). O registro histórico de terremotos cita uma ocorrência em Cuiabá, em outubro de 1946, que coincidiu com o terremoto em Lima, no Peru, mas sem causar danos.

Existem relatos na Região Norte do Brasil que, pela proximidade com os Andes, podem ser reflexos dos terremotos que lá ocorrem.

O Prof. Dr. Alberto Veloso, criador do Observatório Sismológico da Universidade de Brasília, afirmou que, em relação a terremotos, “é pequena a probabi-

“Nunca subestime a maldade e o poder de destruição do homem.”  
 (Popular)



FIG. 17.29 Foto do terror atômico de Hiroshima

após sua explosão, matou 130 mil pessoas e feriu 80 mil. A explosão gerou um calor semelhante ao do próprio Sol, fazendo os prédios e a vegetação sumirem, transformando a cidade num grande deserto. As pessoas foram desintegradas e o calor arrancou suas roupas e peles. Quem sobreviveu morreu logo depois pelo câncer causado pelos efeitos da radiação. A nuvem atômica incinerou tudo (Fig. 17.29).

Três dias depois, em 9 de agosto de 1945, foi a vez da cidade de Nagasaki sofrer um ataque de bomba atômica. Aproximadamente 70 mil pessoas foram mortas. O número de vítimas é estimado.

Os mortos eram civis em sua maioria, e a justificativa para o uso da bomba foi para que a Segunda Guerra terminasse. Terminou, mas será que não foi uma forma desumana de encerrá-la? E quanto ao número de mortos? E a reconstrução dessas cidades?

## 17.6 Resíduos sólidos

A quantidade de resíduos sólidos produzidos – de origem doméstica e hospitalar e os que são aproveitados em processos de reciclagem – cresce diariamente. Nos grandes centros urbanos, tornaram-se um grande problema diante da falta de infraestrutura e treinamento necessário para sua coleta, transporte e disposição.

Em 2000, a cidade de São Paulo produzia 12 mil toneladas diárias de resíduos sólidos. O problema existe mesmo em pequenas cidades, pois, apesar de em menor quantidade, o lixo é disposto sem critério nos populares lixões ou aterros sanitários (Fig. 17.30).

### 17.6.1 Formas usuais de disposição de resíduos sólidos

#### Lixão

É a forma mais inadequada de disposição final de resíduos sólidos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo, sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.

Os resíduos despejados favorecem a proliferação de vetores de doenças (moscas, mosquitos, baratas, ratos etc.), a emissão de odores fétidos e, principalmente, a poluição do solo e de águas subterrâneas e superficiais, pela infiltração do chorume (líquido de cor preta, malcheiroso e extremamente poluente) produzido pela decomposição da matéria orgânica contida no lixo (ABNT, 1948).

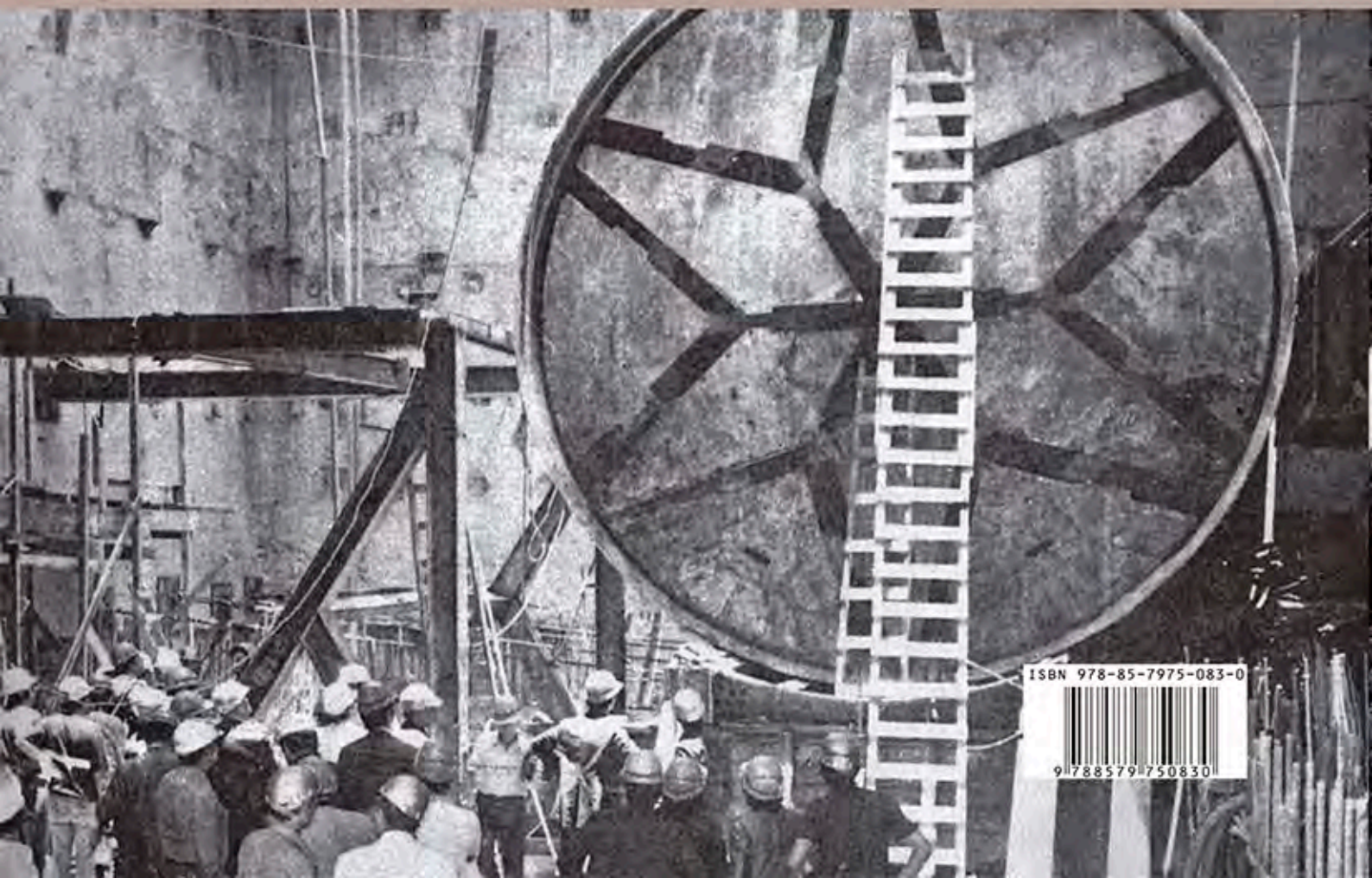
Ocorre também o total descontrole dos tipos de resíduos recebidos, verificando-se até mesmo a disposição de materiais originados de serviços de saúde e de indústrias.

Qualquer empreendimento de Engenharia é construído sobre ou dentro de um terreno natural. As características geológicas do ambiente em que a Obra se insere são essenciais para sua correta concepção, projeto e construção. Cada tipo de construção, rodovias, barragens ou túneis, traz diferentes desafios que exigem conhecimentos geológicos específicos para subsidiar soluções seguras e econômicas.

Além de explicar os conceitos geológicos básicos, *Geologia de Engenharia* apresenta ferramentas para obter o conhecimento, como investigação de subsolo e elaboração de perfis e mapas geológicos. Ilustra a aplicação da Geologia a águas subterrâneas, rios, barragens, túneis, mineração, rodovias, ferrovias, linhas de transmissão, gás e petróleo, sem descuidar da prevenção de desastres naturais e da redução de impactos ambientais das obras. Com linguagem didática, é um texto imprescindível a estudantes de Engenharia Civil.

Nivaldo José Chiossi iniciou sua carreira na Levantamentos Aerofotogramétricos S.A. (LASA) e no Comitê dos Estudos Energéticos da Região Centro-Sul. Ganhou vasta experiência como geólogo no Metrô de São Paulo (estudos e construção da linha Norte-Sul e estudos da linha Leste-Oeste) e a Cia. Internacional de Engenharia (IESA). Implantou a Divisão de Meio Ambiente na Dersa e ocupou cargos de direção na Cetesb e Limpurb. Foi presidente da Assoc. Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental (ABGE), vice-presidente da International Association of Engineering Geology (IAEG) e professor da Escola de Engenharia de Lins, onde implantou, pioneira no Brasil, a disciplina Geologia de Engenharia.

*Chegada do shield na estação São Bento, São Paulo (1972)*



ISBN 978-85-7975-083-0



9 788579 750830