

... Coleção UAB–UFSCar

..... Engenharia Ambiental

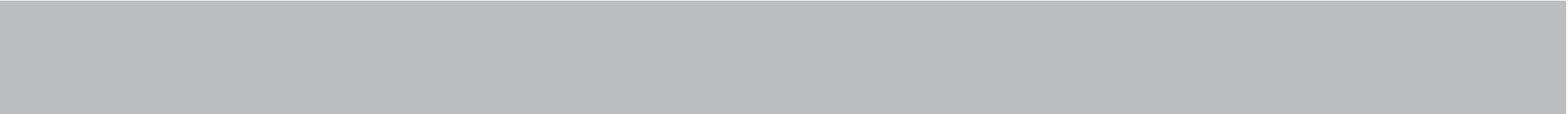
..... Geologia e Controle de Processos Erosivos

: Adail Ricardo Leister Gonçalves

: Guia de Estudo de Geociências

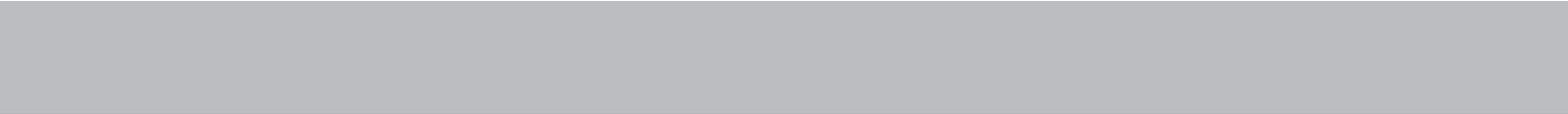
: Geologia Geral e de Aplicação





Guia de Estudo de Geociências

Geologia Geral e de Aplicação





Reitor

Targino de Araújo Filho

Vice-Reitor

Pedro Manoel Galetti Junior

Pró-Reitora de Graduação

Emília Freitas de Lima



Secretária de Educação a Distância - SEaD

Aline Maria de Medeiros Rodrigues Reali

Coordenação UAB-UFSCar

Claudia Raimundo Reyes

Daniel Mill

Denise Abreu-e-Lima

Joice Otsuka

Marcia Rozenfeld G. de Oliveira

Sandra Abib

Coordenador do Curso de Engenharia Ambiental

Luiz Márcio Poiani

UAB-UFSCar

Universidade Federal de São Carlos

Rodovia Washington Luís, km 235

13565-905 - São Carlos, SP, Brasil

Telefax (16) 3351-8420

www.uab.ufscar.br

uab@ufscar.br

Adail Ricardo Leister Gonçalves

Guia de Estudo de Geociências

Geologia Geral e de Aplicação

São Carlos

2010

© 2010, Adail Ricardo Leister Gonçalves

Concepção Pedagógica

Daniel Mill

Supervisão

Douglas Henrique Perez Pino

Equipe de Revisão Linguística

Ana Luiza Menezes Baldin
Daniela Silva Guanais Costa
Francimeire Leme Coelho
Jorge Ialanji Filholini
Letícia Moreira Clares
Lorena Gobbi Ismael
Luciana Rugoni Sousa
Marcela Luisa Moreti
Paula Sayuri Yanagiwara
Sara Naime Vidal Vital

Equipe de Editoração Eletrônica

Christiano Henrique Menezes de Ávila Peres
Izís Cavalcanti

Equipe de Ilustração

Eid Buzalaf
Jorge Luís Alves de Oliveira
Priscila Martins de Alexandre

Capa e Projeto Gráfico

Luís Gustavo Sousa Sguissardi

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
---------------------------	---

UNIDADE 1: A Terra

1.1 Primeiras palavras	13
1.2 Problematizando o tema	13
1.3 A Terra como um todo	15
1.3.1 Forma	15
1.3.2 Tamanho	15
1.3.3 Peso	15
1.3.4 Densidade	16
1.3.5 Estrutura e composição	16
1.3.6 Magnetismo	18
1.3.7 Relevo	18
1.3.8 Idade	19
1.4 Considerações finais	21

UNIDADE 2: Geologia

2.1 Primeiras palavras	25
2.2 Problematizando o tema	25
2.3 Geologia de engenharia	25
2.4 Outros campos de estudo da Geologia	26
2.5 Mineralogia e petrologia	26

2.5.1	Mineralogia	.26
2.5.1.1	Propriedades físicas dos minerais	.27
2.5.1.2	Propriedades ópticas dos minerais	.32
2.5.2	Rochas	.38
2.5.3	Intemperismo e solos	.40

UNIDADE 3: Investigação geológico-geotécnica

3.1	Primeiras palavras	.47
3.2	Problematizando o tema	.47
3.2.1	Investigações geológicas de superfície	.47
3.3	Métodos diretos	.48
3.3.1	Amostragem	.48
3.3.2	Sondagens	.48
3.4	Métodos indiretos	.48
3.5	Considerações finais	.49

UNIDADE 4: A água em superfície e subsuperfície

4.1	Primeiras palavras	.53
4.2	Problematizando o tema	.53
4.3	Origem e estado da água nos solos e rochas	.53
4.4	Zonas de ocorrência da água em aquíferos freáticos	.55
4.4.1	Zonas da água em subsuperfície	.55
4.5	Tipos de aquíferos	.56

4.6 Aproveitamento da água subterrânea	58
4.7 Permeabilidade	59
4.7.1 Permeabilidade absoluta, permeabilidade efetiva e permeabilidade relativa	61
4.8 Rebaixamento do aquífero subterrâneo	61
4.9 Considerações finais	64

UNIDADE 5: Erosão

5.1 Primeiras palavras	67
5.2 Problematizando o tema	67
5.3 A erosão na superfície	67
5.3.1 Fatores que contribuem para a aceleração da erosão	68
5.3.2 Consequências da erosão	70
5.4 Considerações finais	70

UNIDADE 6: Condicionantes geológicos à infiltração de poluentes

6.1 Primeiras palavras	73
6.2 Problematizando o tema	73
6.3 Substâncias poluidoras	74
6.4 Materiais geológicos e seu comportamento	74
6.5 Considerações finais	74

UNIDADE 7: Mapas geológicos e geoambientais

7.1 Primeiras palavras.....	77
7.2 Problematizando o tema.....	77
7.3 Mapeamento geológico	77
7.4 Mapeamento geotécnico	78
7.4.1 Técnicas de mapeamento geotécnico	78
7.5 Considerações finais.....	80
REFERÊNCIAS	81

APRESENTAÇÃO

Este livro é resultado da experiência adquirida durante os últimos trinta e dois anos em que ministrei aulas, presenciais e a distância, junto ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, aos cursos de Engenharia Civil, Engenharia de Materiais, Engenharia de Produção, Engenharia Química, Física, Química, Matemática e Ciências Biológicas, todas no nível da Graduação. Além disso, é importante citar os diversos cursos de Pós-Graduação, nos quais ministrei disciplinas, tais como a Geologia Ambiental, Geologia Ambiental aplicada a Terrenos Sedimentares, entre outras, ministradas em cursos de especialização realizados em várias cidades do território brasileiro. Durante esse trajeto profissional posso citar como marcos importantes da minha qualificação profissional a obtenção do título de Mestre em Energia Nuclear Aplicada a Agricultura na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queirós junto ao Centro de Energia Nuclear Aplicada a Agricultura – CENA – ESALQ – USP – Piracicaba – SP. Tão, ou mais, importante foi a obtenção do título de Doutor em Geologia Geral e de Aplicação, junto ao Instituto de Geociências da USP – São Paulo. Além dessa qualificação, dita formal, ainda participei como aluno de diversos cursos de especialização, fiz apresentações de trabalhos em congressos, publicações científicas e diversos projetos junto a instituições financiadoras de pesquisa, tais como FAPESP e CNPq das quais acabei por me tornar assessor.

UNIDADE 1

A Terra

1.1 Primeiras palavras

A Terra, terceiro planeta do sistema solar, é um dos menores planetas a se mover ao redor de uma estrela, o Sol. Cabe aqui lembrar que o sistema solar é apenas uma pequena porção da grande galáxia que é a Via Láctea, e que esta, unida a um sem número de outras galáxias é que vem a formar o *Universo*.

Muitas características e mesmo aspectos físicos da Terra são influenciados e afetados pela ação/proximidade/estado do Sol e da Lua, isso sem contar com a grande instabilidade do próprio planeta em si.

Vamos aqui lembrar que todos os planetas do nosso sistema, juntamente com suas luas (também denominadas satélites) e milhares asteroides, movimentam-se com uma velocidade média de 21 quilômetros por segundo.

A Terra, especificamente, move-se a uma velocidade de 29,8 km/hora completando, assim, a cada ano uma volta completa ao redor do Sol.

Vamos observar algumas distâncias correlatas:

- Terra - Sol = 8 minutos-luz;
- Terra - Plutão = 5,5 horas-luz;
- Sistema solar - estrela mais próxima (alfa centauro) = 4,3 anos-luz;
- de uma ponta a outra da Via Láctea = 100 mil anos-luz;
- da Terra até a galáxia de Andrômeda = 2 milhões de anos-luz.

Apenas para efeito de conhecimento, a nave espacial terrestre mais rápida move-se a 30 mil Km·h⁻¹. A velocidade da luz é 300 mil Km·s⁻¹.

1.2 Problematizando o tema

Da mesma maneira que considerava a si mesmo como a única forma de vida a ser preservada no planeta, o homem, desde os primórdios da civilização considerava a Terra como sendo o centro do Universo. Hoje sabemos o quão errado foi esse pensamento e quais as consequências causadas por essas falsas premissas. O estudo da Terra deve ser permeado por uma visão que contemple a relação da mesma com o restante do Universo.

Tal observação está contida no livro *Geologia Geral* de José Henrique Pop publicado no ano de 1980:

A Terra completa uma volta cada ano (ao redor do sol) a uma velocidade média de 29 km/s. Diversos métodos de medição demonstram que a distância

da terra ao sol é de cerca de 150 milhões de quilômetros. Quaisquer alterações nas velocidades, distâncias entre os corpos celestes ou emissão de energia solar trariam reflexos incalculáveis sobre a superfície do planeta e seus habitantes. Assim uma variação significativa do sol que trouxesse como consequência, por exemplo, um aumento na emissão de calor, faria com que parte da água acumulada nos pólos sob a forma de gelo voltasse ao estado líquido. Isso resultaria num aumento do nível do mar com a destruição de muitas cidades como Rio de Janeiro, Londres e Nova Iorque entre outras. O clima voltaria a ser úmido em muitos locais onde atualmente é árido ou semi-árido, propiciando grandes enchentes devido a alteração dos regimes dos rios. Muitos vales seriam ocupados pelo mar com a destruição de lavouras e as chuvas concentradas que desabariam sobre certas regiões provocariam o deslizamento de encostas e taludes, destruição de estradas e casas. Haveria a migração de muitos grupos de animais e a extinção de outros. Baixaria a produção de alimentos.

Por outro lado, as modificações das condições ecológicas na terra estão começando [lembramos aqui que ele escreve isso na década de 70] a produzir consequências danosas para o futuro da humanidade.

Hoje, mais do que nunca, o homem deve compreender o planeta em que vive. A terra é viva, os rios são vivos, a atmosfera é viva. Dia após dia tomba um rio pela absoluta falta de condições de sobrevivência de seus espécimes. O ar alcança em muitas cidades brasileiras graus de toxidez alarmantes e os mares transformam-se nos depósitos de lixo do mundo. Dos solos do noroeste do Paraná, constituindo em conjunto cerca de 70% das terras cultiváveis do Estado, a erosão laminar retira e transporta anualmente perto de 40 toneladas por hectare.

Onde buscar no futuro [que é o nosso hoje] a água imprescindível à sobrevivência? Onde e como obter ar respirável? Onde plantar alimentos se os solos são rapidamente erodidos, simplesmente porque não existem árvores que possam atenuar o impacto das chuvas, dificultar o arraste dos minerais, com suas raízes, e manter o lençol de água subterrâneo mais próximo do solo?

As esperanças de que nossa alimentação estaria nos mares pouco a pouco são desfeitas. Aos poucos as praias mais importantes estão se tornando impróprias para o banho, como revelam análises feitas pelos órgãos públicos. O lixo atômico, os acidentes com os petroleiros [notem que naquela época ainda não havia acontecido nenhum acidente nuclear], e os poluentes químicos que são despejados diariamente no mar não asseguram um bom futuro para aquela fonte de riquezas. É importante que todos os profissionais que atuam no campo das engenharias, da biologia, da geologia, ciências naturais, geografia etc., conheçam as leis naturais que regem nosso planeta, a fim de trabalhar em harmonia com elas.

Cada geração tem sua concepção e sua postura perante a vida e perante nosso universo. O que legará nossa geração aos nossos descendentes? (POP, 1980, p. 20).

1.3 A Terra como um todo

A Terra, sua forma, tamanho, peso, densidade e estrutura interna.

1.3.1 Forma

A forma da Terra pode ser representada por um elipsoide de revolução com o diâmetro equatorial (DE) maior que o diâmetro polar (DP).

$$DE = 12.756\text{km}$$

$$DP = 12.712\text{km}$$

Essa diferença na forma do planeta é devida ao movimento de rotação terrestre. Como podemos notar, a diferença entre os diâmetros (equatorial e polar) é pequena, de apenas 44 km aproximadamente. Algumas razões:

- distância do Sol: 150.000km;
- velocidade média em torno do Sol: 29km/seg.;
- rotação da Terra no equador = 1666 km/h;
- distância percorrida: 40.000km/dia;
- rotação da Terra nos pólos = 0km/h.

Essa é a diferença que acaba provocando uma intensa aceleração centrífuga que resulta no achatamento dos pólos.

1.3.2 Tamanho

Quanto ao tamanho da Terra, se ignorarmos o achatamento e considerá-la esférica, com um diâmetro de 12.756km, seu volume será de aproximadamente 1,08 bilhão de km³, e sua área será correspondente a 510 milhões de km².

1.3.3 Peso

Seu peso é calculado mediante as normas da lei de gravitação de Newton; utilizando-se um par de escalas sensíveis e a balança de *Eatvos*, pode ser comparada a atração da Terra à de uma bola de chumbo ou de quartzo, de peso previamente conhecido. Por esse método chegou-se ao valor de 5,6 sextilhões de toneladas ($5,6 \times 10^{21}$ toneladas).

A gravidade da Terra no equador é de 9,78m/s² e nos pólos é de 9,81m/s².

1.3.4 Densidade

A densidade da Terra, por sua vez, não pode ser considerada homogênea, uma vez que sua média é de 5,527 g/cm³, mas quando medimos a sua densidade média na superfície, ou seja, na crosta, apresenta valores da ordem de 2,76 g/cm³. Esse fato nos remete a pensar sobre sua composição, que, por sua vez, nos remete a sua estrutura interna.

1.3.5 Estrutura e composição

A estrutura interna da Terra pode ser inferida a partir da utilização de métodos indiretos, os quais vistos anteriormente e outros, como a utilização dos estudos sobre ondas sísmicas. A Terra é formada por várias camadas concêntricas (como uma cebola), com propriedades físicas e químicas distintas. Sua parte externa é formada pela litosfera, representada por uma camada sólida superficial (superfície rochosa), que por sua vez contém a hidrosfera, formada por uma camada líquida (oceanos), a atmosfera, representada por uma camada gasosa e finalmente a biosfera, representada pelo espaço onde ocorre a vida (camadas sólida, líquida e gasosa). Essas camadas trocam matéria e energia entre si, transformando aquilo que até muito pouco tempo era visto como inerte pela maioria das pessoas, em algo vivo e que reage aos estímulos provocados por mudanças naturais ou antrópicas. Por exemplo, os processos erosivos, o ciclo hidrológico, o balanço energético do planeta, entre outros.

O conhecimento das camadas internas da Terra se dá, basicamente, por meio de métodos indiretos, tais como:

- observações da densidade e da gravidade da Terra;
- estudos sismológicos por meio da propagação das ondas sísmicas no subsolo terrestre.

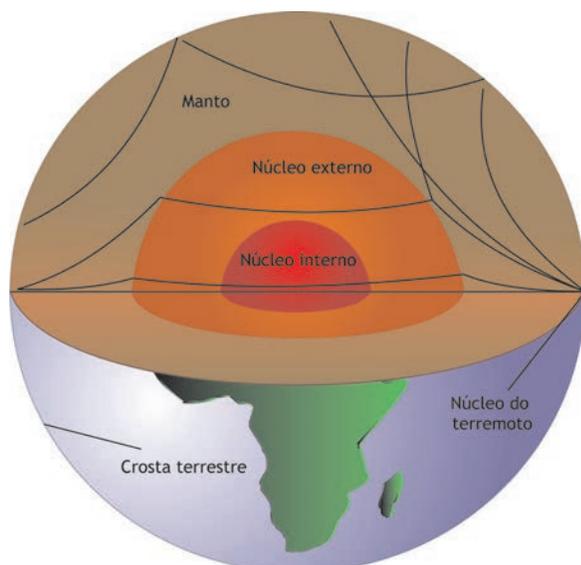


Figura 1 Constituição interna da Terra, segundo a propagação das ondas sísmicas.

Assim, estas são as principais camadas da Terra:

- atmosfera (0 a -10.000 km);
- crosta (até 40/70 km);
- manto (até 2.900 km);
- núcleo externo (líquido - de 2.900 a 5.150 km);
- núcleo interno (sólido - até 6.371 km).

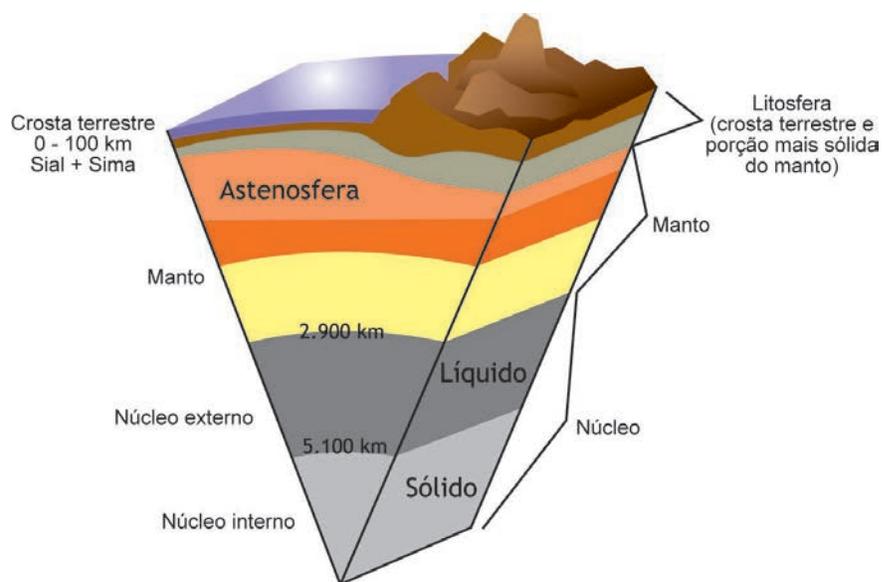


Figura 2 Constituição interna da Terra.

1.3.6 Magnetismo

A Terra funciona como um grande ímã de baixa intensidade, cujo campo geomagnético estende-se pelo espaço, a distâncias de dez a treze vezes o comprimento do raio da Terra, formando a chamada magnetosfera. Localizado no núcleo externo, o campo geomagnético é gerado não apenas pela movimentação do material rochoso, parcialmente líquido e rico em ferro, mas também em decorrência das velocidades angulares (diferentes em diversos pontos do núcleo do planeta) geradas pelas correntes de convecção e pela rotação da Terra. Como onde há corrente elétrica há campo magnético, assim é explicada a origem do campo magnético terrestre.

1.3.7 Relevo

A superfície terrestre apresenta 510 milhões de km² dos quais 30% são terras emersas e 70% terras imersas, representadas por mares e oceanos. Veja alguns exemplos de relevo terrestre: Monte Everest, com 8.840 m de altura (maior elevação da Terra); Fossa Mariana (Filipinas), com -11.516 m de altura (maior depressão da Terra); desnível máximo de aproximadamente 20.000 m; altura média dos continentes igual a 825m e profundidade média dos oceanos de 3.800 m.

O relevo terrestre está em constante modificação e depende de vários fatores como:

- densidade e idade das rochas;
- condições climáticas;
- movimentos epirogenéticos;
- isostasia.

Epirogênese é o termo relativo aos movimentos verticais de vastas áreas continentais, determinados pela isostasia.

Isostasia diz respeito ao estado de equilíbrio da crosta terrestre ou litosfera, rígida, sobre a astenosfera, fluida.

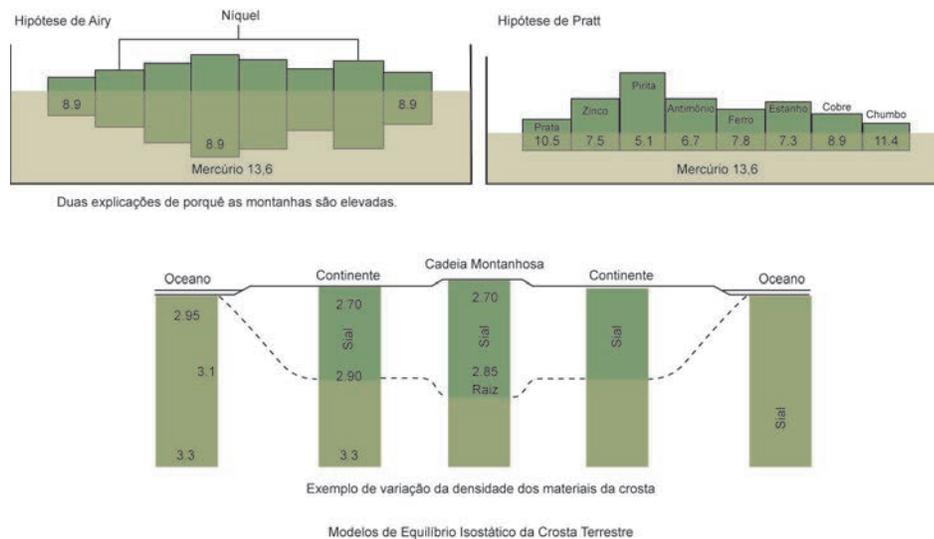


Figura 3 Modelos de equilíbrio isostático da crosta terrestre.

1.3.8 Idade

Em 1654, o arcebispo irlandês Ussher, a partir do estudo da Bíblia cogitou que a Terra teria, aproximadamente, 4.004 anos a.C. Em 1862, Lorde Kelvin calculou a idade da Terra, com base em seu resfriamento, em torno de 20 a 40 milhões de anos. Já John Joly, em 1899, tomou como base a quantidade de cloreto de sódio existente na água dos oceanos, chegando a valores de 100 a 200 milhões de anos.

Com os estudos da desintegração radioativa, no início do século XX, acredita-se que a origem da Terra tenha ocorrido aproximadamente há 4,5 bilhões de anos. A rocha mais antiga datada na superfície terrestre foi encontrada na Groelândia com idade de 3,9 bilhões de anos.

As idades obtidas pelos métodos radioativos são as idades de cristalização dos minerais e, conseqüentemente, das rochas. Essa cristalização ocorre por meio de processos magmáticos e metamórficos. As rochas sedimentares, cujos minerais dificilmente sofrem cristalização durante sua formação, são datadas a partir de seu conteúdo fóssil, tempo relativo e eventos geológicos.

Para determinar se uma rocha é mais antiga que outra se utiliza a lei da Superposição: quanto mais antiga uma rocha, maior deverá ser o número de eventos geológicos (falhamentos, dobramentos, intrusões, erosão, etc.) sofridos por ela, também serão mais antigos seu conteúdo fóssil (no caso de rochas sedimentares) e suas idades radioativas.

A escala do tempo geológico é uma sequência cronológica empregada para dispor, de forma ordenada, os acontecimentos geológicos e a evolução da vida na Terra, ao longo da história do planeta. Esse tempo geológico foi dividido com base em estudos estratigráficos e geotectônicos utilizando-se de técnicas de correlação mundial apoiados, em grande parte, nos registros fossilíferos e em datações geocronológicas. Utilizando-se principalmente de registros fósseis e suas idades geológicas procedeu-se a divisão do tempo geológico em: eras, períodos e épocas.

Quadro 1

Era arqueozoica	A era arqueozoica remonta a 3.500.000.000 de anos. Não foram encontrados fósseis, tais como os conhecemos, e a vida aparece por meio de evidências indiretas, correlacionadas a traços de grafite ou mesmo carbono puro, tidos como derivados provavelmente de seres vivos à época.
Era proterozoica	Essa era remonta a 1.600.000.000 de anos, e os fósseis correspondentes foram encontrados em rochas proterozoicas. São representados por algas primitivas, protozoários, fungos e moluscos arcaicos.
Era paleozoica	Essa era remonta a 600.000.000 de anos e se divide nos correspondentes períodos: cambriano, ordoviciano, siluriano, devoniano, carbonífero e permiano.
Era mesozoica	Remontando a cerca de 220.000.000 de anos divide-se em três períodos: triássico, jurássico, cretáceo.
Era cenozoica	Essa é a era dos mamíferos, bastante recente possui apenas 65.000.000 de anos e se divide em dois períodos: terciário e quaternário.
Período terciário	Marca o princípio da era Cenozoica, tendo como principal evento as grandes mudanças que ocorreram na crosta terrestre. É formado pelas seguintes épocas: paleoceno, eoceno, oligoceno, mioceno e plioceno.
Período quaternário	Finalmente o período mais recente da história da Terra, com apenas 1 milhão de anos se divide em duas épocas: pleistoceno e holoceno.

A seguir podemos observar uma tabela que resume as eras, períodos e épocas pelos quais passou e passa o nosso planeta.

Tabela 1 Escala do tempo geológico.

Eras	Períodos	Épocas	Tempo decor. em anos	Características
Cenozóica	Quaternário	Holoceno	11.000	Homem. Glaciação do hem. norte
		Pleistoceno	1.000.000	
	Terciário	Plioceno	12.000.000	Mamíferos e fanerógamas
		Mioceno	23.000.000	
		Oligoceno	35.000.000	
		Eoceno	55.000.000	
Mesozóica	Cretáceo	Paleoceno	70.000.000	Répteis gigantes e coníferas
		Jurássico	180.000.000	
		Triássico	220.000.000	
Paleozóica	Permiano	Carbonífero	270.000.000	Anfíbios e criptogramas
		Carbonífero	350.000.000	
	Devoniano	Devoniano	400.000.000	Peixes, vegetação nos continentes
		Siluriano	430.000.000	
		Ordoviciano	490.000.000	
Cambriano	Cambriano	600.000.000	Invertebrados e grande número de fósseis, vida aquática	
	Cambriano	600.000.000		
Proterozóica			mais de 2 bilhões	Restos raros de algas, esponjas, crustáceos e vermes
Arqueozóica	(Início da Terra)		(+/- 5 bilhões?)	Evidências fossilíferas raras bactérias e fungos (?)

1.4 Considerações finais

Aqui podemos, então, ressaltar que a Terra é um organismo que pode ser considerado “vivo”, se considerarmos suas características e energias envolvidas, associadas a todos os dados que acabamos de conhecer nesta unidade. Se a encararmos dessa forma, podemos sempre associá-la a nós mesmos. Sabemos que precisamos nos alimentar, nos prevenir das doenças, manter nossa saúde, se às vezes ficamos nervosos, “explodimos”, devemos nos acalmar, enfim, temos uma série de reações dependentes dos estímulos externos e internos que sofremos. Assim é o nosso planeta, extremamente sensível aos estímulos que o acometem, é uma verdadeira bola de matéria se transformando em energia, e vice-versa. Portanto, precisamos ter certos cuidados com sua saúde.

UNIDADE 2

Geologia

2.1 Primeiras palavras

Geo significa Terra e *Logos* significa estudo, portanto, Geologia trata-se da ciência que estuda a origem da Terra, sua composição interna, seus processos endógenos, exógenos e sua evolução, por meio da observação e estudo dos minerais e rochas. É também objeto da Geologia o estudo dos agentes de formação e transformação das rochas, de sua composição e disposição na crosta terrestre.

2.2 Problematizando o tema

A Geologia se divide em vários campos de estudo: mineralogia, petrografia, geologia física, geologia estrutural, geomorfologia, geologia geral, geologia histórica, sedimentologia, paleontologia, estratigrafia, geologia econômica, mineração, geologia do petróleo, geologia de Planejamento, geologia ambiental, geologia aplicada a problemas de engenharia, tais como de fundações, estradas, engenharia de barragens, túneis, água subterrânea, materiais, etc.

Cada um desses campos do saber pode ser representado literalmente como sendo o objeto maior de uma profissão. Vários são os enfoques e as maneiras de estudar a Terra pela geologia em suas diversas especializações aqui mostradas. Dentre elas, maior enfoque será dado àquela referente à engenharia.

2.3 Geologia de engenharia

A Geologia de engenharia utiliza-se dos conhecimentos geológicos para a solução de problemas de engenharia civil, principalmente na abertura de túneis e canais, implantação de barragens, construção de estradas, obtenção de água subterrânea, projeto de fundações, taludes, etc.

De acordo com a Associação Internacional de Geologia de Engenharia:

A ciência dedicada à investigação, estudo e solução de problemas de engenharia e meio ambiente, decorrentes da interação entre a Geologia e os trabalhos e atividades do homem, bem como à previsão e desenvolvimento de medidas preventivas ou reparadoras de acidentes geológicos (ASSOCIAÇÃO INTERNACIONAL DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 1981, s. p.).

Estudar geologia de engenharia envolve os conhecimentos da geomorfologia, da estratigrafia, da litologia, bem como o estudo das estruturas e das águas subterrâneas das formações geológicas para a caracterização das propriedades mineralógicas (físicas, geológico-mecânicas, hidráulicas e químicas)

de todos os materiais geológicos utilizados em construção civil; para a recuperação de recursos naturais, e de alterações do meio ambiente; para a avaliação do comportamento mecânico e hidrológico dos maciços rochosos e solos; para a previsão de alterações que possam acontecer ao longo do tempo; para a determinação de parâmetros a serem considerados no estudo e a análise de taludes, preocupando-se não só com sua estabilidade, quando resultado de obras de engenharia, mas também com a estabilidade de maciços naturais e, finalmente para a melhoria e preservação das condições do meio ambiente quando sujeito a alterações antrópicas.

2.4 Outros campos de estudo da Geologia

A partir da visão holística, que todo profissional deve ter nos dias de hoje, é importante ressaltar que o campo de estudo da geologia é bastante amplo, uma vez que todos os solos que recobrem o planeta têm origem primária geológica, ou seja, tudo aquilo que existe sobre e no planeta tem origem primária geológica.

2.5 Mineralogia e petrologia

Em outras palavras, entenda-se *mineralogia* como sendo o estudo dos minerais, e *petrologia*, o estudo das rochas. Iniciaremos pelo estudo dos minerais, considerando que as rochas são basicamente por eles formadas.

2.5.1 Mineralogia

Para melhor compreender esse assunto e desenvolver seu conceito, vamos iniciar classificando os termos, mineral e rocha. Sabendo dessa importante diferença, poderemos prosseguir em nossos estudos.

Mineral

Caracteriza-se por sua homogeneidade, estrutura interna organizada e composição química definida. Os elementos químicos que o constituem, na forma unitária ou composta, são resultantes de processos inorgânicos. Origina-se naturalmente na crosta terrestre. Cada espécie apresenta propriedades físicas características, usualmente no estado sólido cristalino, com exceção da água e do mercúrio que ocorrem naturalmente no estado líquido.

Rocha

É parte essencial da crosta terrestre ou litosfera. Caracteriza-se por ser perfeitamente individualizada, podendo, eventualmente, conter vidro vulcânico ou

matéria orgânica (mineraloides), e também por ser agregado natural de uma ou mais espécies minerais. As rochas ocorrem em vastas áreas do nosso planeta. Existem vários tipos, o que facilita sua delimitação por meio da representação em mapas geológicos.

Em um próximo item trataremos especificamente dos grandes tipos existentes.

2.5.1.1 Propriedades físicas dos minerais

Quase todos os minerais, basicamente, encontram-se no estado cristalino (sólidos), no qual os átomos ou agrupamentos de átomos são dispostos regularmente, segundo distâncias fixas e constantes entre eles. Isso resulta em figuras geométricas que se repetem nas três dimensões do espaço. O exemplo mais comum e fácil de ser compreendido é o da halita, ou seja, o sal de cozinha. Sua organização envolve íons positivos de *Na* (sódio) e íons negativos de *Cl* (cloro) que se organizam segundo uma rede cúbica. Essa propriedade física é denominada estrutura.

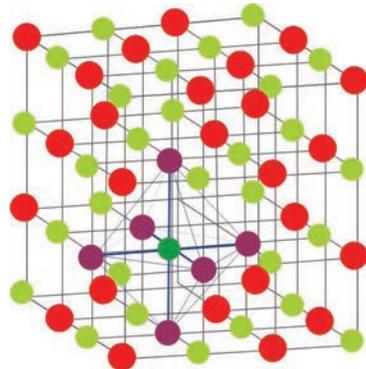


Figura 4 Estrutura do Cloreto de Sódio – Halita.

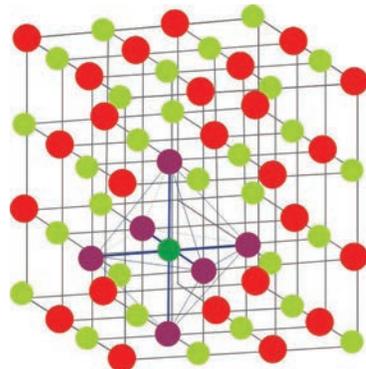


Figura 5 Célula unitária de um cristal de halita (sal de cozinha-NaCl).

Cristal

O cristal é um sólido cujos constituintes, sejam eles átomos, moléculas ou íons, estão organizados num padrão tridimensional bem definido, que se repete no espaço, formando uma estrutura com uma geometria específica.

Na química e mineralogia, o cristal é uma forma da matéria na qual as partículas constituintes estão agregadas regularmente, criando uma estrutura cristalina que se manifesta macroscopicamente por assumir a forma externa de um sólido de faces planas regularmente arranjadas, em geral com elevado grau de simetria tridimensional.

A forma do cristal é outra propriedade física dependente de sua estrutura; a forma externa normalmente é reflexo da estrutura interna ou do arranjo dessas formas básicas de cada mineral. Para que possamos entender, vamos imaginar que cada unidade cristalina, como a halita (mostrada anteriormente), seja um tijolo. Ora, com tijolos podem-se construir várias coisas, igrejas, escolas, teatros etc. Isso significa que dependendo do arranjo, o resultado pode ser uma forma diferente da forma básica.

A clivagem é a forma como muitos minerais se clivam seguindo planos de fraqueza relacionados com a estrutura molecular interna, geralmente paralelos às possíveis faces do cristal que formariam.

A clivagem é denominada indistinta, como na apatita e pirrotita; distinta, como na fluorita; perfeita, como no grupo dos feldspatos; e proeminente, como nas micas e na calcita.

Os tipos de clivagem são descritos pelo número e direção dos planos de clivagem.



Figura 6 Fluorita.



Figura 7 Calcita.



Figura 8 Feldspato.



Figura 9 Tipos de clivagem.

As superfícies de clivagem são sempre paralelas às faces reais ou possíveis do mineral, e são características de cada espécie mineral. A clivagem é uma propriedade condicionada pela estrutura interna cristalina, resultado de um alinhamento de ligações fracas em determinadas direções do cristal. Nem todos

os minerais apresentam clivagem, o que a transforma num critério importante de reconhecimento de algumas espécies minerais.

A fratura é o resultado da quebra de um mineral, quando submetido a esforços de tração ou compressão, seguindo direções diferentes daquelas da clivagem.

Podemos citar três tipos de fratura: fratura conchoidal, que é aquela que se apresenta com concavidades mais ou menos profundas; fratura igual ou plana, que ocorre quando a superfície do mineral fraturado lembra uma superfície plana, embora apresente pequenas irregularidades como elevações e depressões; e fratura desigual ou irregular, que acontece quando a superfície do mineral fraturado é extremamente irregular.



Figura 10 Obsidiana (vidro natural), na qual se observa fratura conchoidal.

Fonte: Fotografia de Kevin Walsh



Figura 11 Fratura desigual ou irregular.

A dureza é a maior ou menor resistência que uma superfície lisa do mineral (face) oferece ao risco por um objeto pontiagudo. A dureza é normalmente medida de forma relativa por meio de uma escala criada por Mohs (1812). Essa escala é composta por 10 minerais, são eles: talco, gipsita, calcita, fluorita, apatita, grupo dos feldspatos (ortoclásio), quartzo, topázio, corindon e diamante.

O mineral mais duro, seja ele qual for, sempre risca o mais mole, dessa maneira, o diamante, que é mineral mais duro conhecido, risca todos os demais

e recebe título de dureza 10. Já o talco recebe título de dureza 1, uma vez que é o mais mole conhecido, e riscado por todos os outros minerais do planeta.

Notem que esses números são dados de modo a significar relativamente (não quantitativamente), pois não são acompanhados de uma unidade de medida.

Dessa forma Möhs (1812) criou a sua escala de dureza.

Tabela 2 Escala de Dureza de Möhs.

Dureza	Mineral
1	talco
2	gipso
3	calcita
4	fluorita
5	apatita
6	ortoclásio
7	quartzo
8	topázio
9	corindon
10	diamante

Algumas propriedades são dependentes da dureza, tais como:

Tenacidade é a maior ou menor resistência que um mineral oferece ao impacto de um martelo ou ao corte de um canivete ou faca (lamina de aço). Quanto à tenacidade, os minerais podem ser:

- quebradiços ou frágeis: minerais que ao serem submetidos à compressão ou tração se pulverizam reduzindo-se a pó. A calcita apresenta esse comportamento por causa de sua clivagem em três direções;
- sectibilidade: são minerais que possuem a capacidade de serem literalmente fatiados por uma lâmina de aço. O gipso demonstra muito bem esse tipo de tenacidade;
- maleabilidade: são minerais que, por meio do uso de um martelo, podem ser reduzidos a lâminas. O ouro nativo é um bom exemplo de mineral sujeito a esse tipo de tenacidade podendo, nas mãos de um bom ourives, ser reduzido a lamina de até 0,004mm;
- ductibilidade: essa forma de tenacidade é a principal responsável por uma das mais importantes formas de transmissão de energia da atualidade, a transformação de minerais em fios. Como principais exemplos dessa capacidade temos o ouro nativo e ainda a prata nativa;
- elasticidade: esse tipo de tenacidade diz respeito à capacidade de o mineral ser dobrado próximo a seu limite de ruptura, e recuperar sua forma

anterior assim que cessa o esforço gerador. As micas, em geral, são importantes minerais que apresentam essa forma de tenacidade;

- flexibilidade: essa é uma propriedade que alguns minerais apresentam de se dobrarem ao serem submetidos a um esforço, mas como possuem um limite de ruptura extremamente pequeno, ao cessar o esforço, a forma anterior não é mais recuperada. O mineral em que se pode observar esse tipo de tenacidade é o talco.

Densidade relativa é a relação entre a massa do mineral e a massa de igual volume de água. Essa propriedade tem importância determinante na identificação de uma espécie mineral, já que cada mineral tem densidade própria e única. Basta dividir o peso do mineral pelo peso de igual volume de água e obtemos a densidade relativa.

Magnetismo é a capacidade de um mineral magnético, em estado original na natureza, sofrer atração por um ímã. A magnetita é o exemplo mais comum de mineral que apresenta esse tipo de característica.

Fusibilidade é a capacidade de um mineral sofrer fusão pelo acréscimo de calor. A escala de fusibilidade de Von Kobell (1837) resume os graus de fusão apresentados pelos minerais.

2.5.1.2 Propriedades ópticas dos minerais

Brilho é a característica que cada mineral apresenta, em especial, ao refletir a luz que incide sobre suas superfícies externas. Existem basicamente dois tipos de brilho no reino mineral, o brilho metálico é facilmente reconhecível, sendo parecido ou idêntico ao brilho de uma superfície qualquer metálica; e o brilho não metálico, qualquer outro tipo de brilho que não o “metálico”. Sempre que nos depararmos com um brilho considerado “não metálico” devemos imediatamente nos fazer a seguinte pergunta: **QUAL?** Resposta: vítreo, oleoso, perláceo, adamantino e assim por diante.

Diafaneidade é a maior ou menor resistência que uma amostra de mineral opõe à passagem da luz pelo seu interior. Quanto à diafaneidade os minerais podem ser:

Transparente: quando é possível ver perfeitamente através dele ou pelo menos distinguir algum objeto.

Translúcido: como o próprio no me diz, o mineral é translúcido se a luz o atravessa, entretanto, não é possível enxergar através dele.

Opaco: é o mineral pelo qual a luz sequer consegue penetrar, quanto mais passar. É importante ressaltar que isso ocorre mesmo nas suas partes mais delgadas.

Cor: é a forma como os minerais se comportam quando em presença da luz branca. Como sabemos, a luz branca é composta por diferentes frequências, cada uma delas recebe um nome que identifica a cor (frequência) que nossos olhos percebem. Ora, cada mineral tem a cor da luz que reflete. A cor dos minerais é uma das propriedades físicas mais importantes, utilizadas pelos especialistas e pessoas comuns, para identificá-los. É importante salientar que existem minerais de cor própria, constante e dependente da sua composição química, assim como aqueles cujas cores podem ser variáveis e dependentes das impurezas que contêm, podendo existir mais de uma cor num mesmo mineral. Dessa forma, a cor deve ser usada com o devido conhecimento dessas minúcias quando da identificação das espécies minerais, e sempre deve ser observada na fratura fresca.

A cor do traço é uma característica muito importante de se compreender em virtude do que acabamos de conhecer com relação à cor dos minerais. Na verdade a cor do traço nada mais é do que a cor do pó do mineral. Quando pegamos uma amostra mineral e a esfregamos contra uma placa de porcelana áspera e não-polida, como por exemplo, a parte de trás de um azulejo branco, o que realmente fazemos é pulverizar o referido mineral contra uma superfície branca. Ao efetuarmos essa pulverização, as substâncias presas na rede cristalina do mineral podem entrar em contato com o oxigênio e se oxidarem, por exemplo. Dessa forma, percebemos que, embora a cor do mineral possa variar, a cor do traço deverá ser sempre constante para uma mesma espécie mineral.

Fusibilidade

Franz Von Kobell, em 1837, propôs uma escala que se baseia na maior ou menor temperatura de fusibilidade de uma espécie mineral. Basta aquecer uma lasca bem fina com um maçarico e, a partir do uso de medidores de temperatura especiais, determinar o grau da temperatura no qual o mineral se funde.

Tabela 3 Escala de fusibilidade de Von Kobell

Estibinita	Sb_2S_3	~525C° Funde-se facilmente na chama de uma vela ou fósforo
Natrolita	$Na_3(Al_2Si_3O_{10}) \cdot 2(H_2O)$	~965C°
Almandina	$Fe_2Al_2(SiO_4)_3$	~1050C°
Actinolita	$Ca_2(Mg,Fe)_5(OH/Si_4O_{11})_2$	~1200C°
Ortoclásio	$KAlSi_3O_8$	~1300C°
Bronzita	$(Mg,Fe)SiO_3$	~1400 C°

Todas as propriedades dos minerais somente ocorrem devido ao fato de os mesmos apresentarem uma estrutura interna organizada e bem definida. Essa característica é, inclusive, um dos fatores que diferenciam os minerais dos materiais amorfos.

Os responsáveis por essa organização mineral são os sistemas cristalinos.

Sistema cristalino é a designação dada a um grupo de ordenamento espacial pontual regular de átomos ou moléculas.

São conhecidos sete sistemas cristalinos:

Tabela 4 Sistemas cristalinos

Sistemas	Ângulos	Arestas
Isométrico	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b = c$ ($a1 = a2 = a3$)
Tetragonal	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a = b \neq c$ ($a1 = a2 \neq c$)
Ortorrombico	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	$a \neq b \neq c$
Hexagonal	$\alpha = \beta = 90^\circ; \gamma = 120^\circ$	$a = b \neq c$ ($a1 = a2 = a3 \neq c$)
Trigonal	$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	$a = b = c$
Monoclínico	$\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	$a \neq b \neq c$
Triclínico	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq$	$a \neq b \neq c$

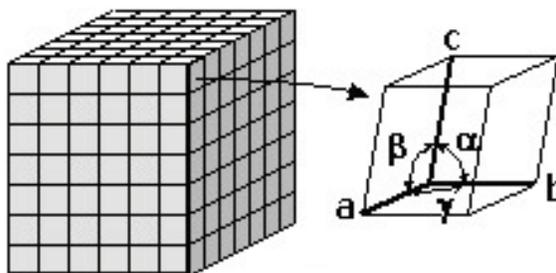


Figura 11 Ângulos e arestas.

Sistema Isométrico

O sistema cúbico ou isométrico é caracterizado por apresentar três eixos cristalográficos idênticos e perpendiculares entre si. Quanto à simetria, apresenta quatro eixos ternários de rotação. Pelo fato de apresentar três eixos idênticos todos os cristais desse sistema apresentam dimensões equitativas, ou seja, são equidimensionais. A esse sistema cristalino pertencem cerca de 7,8% das espécies minerais conhecidas. Alguns exemplos são: o diamante, o ouro nativo, a granada, a prata nativa, etc.

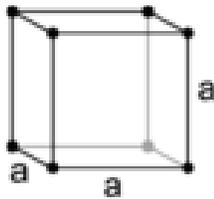


Figura 12 Sistema isométrico.

Sistema Tetragonal

Esse sistema tem como principal característica apresentar três eixos mutuamente perpendiculares, sendo que dois são horizontais e possuem mesmo comprimento. Já o vertical apresenta comprimento diferente dos outros dois. Quanto à simetria, apresenta um eixo quaternário de rotação. O interessante é que nesse sistema praticamente todos os cristais possuem um eixo quaternário de simetria, três eixos perpendiculares entre si; dois deles mostram-se horizontais com comprimentos iguais e o terceiro tem disposição vertical e comprimento diferente dos dois horizontais. Alguns exemplos são: os cristais de zircão, o rutilo e a cassiterita.

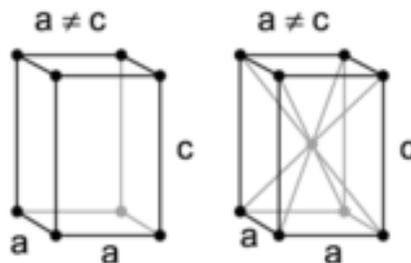


Figura 13 Sistema Tetragonal.

Sistema Ortorrômbico

Esse sistema é caracterizado pela presença de três eixos cristalográficos perpendiculares entre si, porém com comprimentos diferentes. Do ponto de vista da simetria, possui três eixos binários de rotação ou ainda pode apresentar um eixo binário e dois planos de reflexão. Uma característica importante e comum desse sistema é o fato de que todos os cristais que a ele pertencem apresentam sempre um eixo de simetria binário, como por exemplo, o topázio e o crisoberilo.

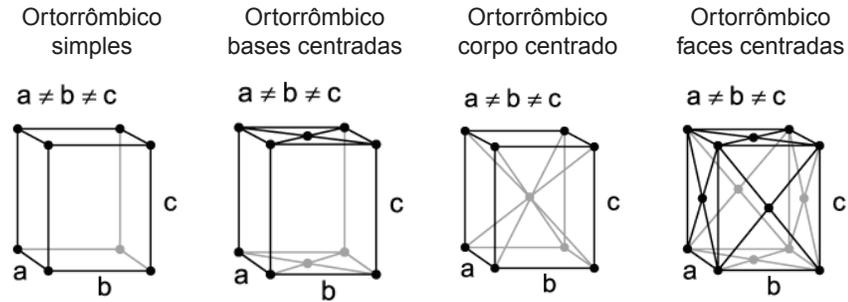


Figura 14 Sistema Ortorrômico.

Sistema Hexagonal

Esse é um sistema caracterizado pela presença de três eixos dispostos horizontalmente, formando entre eles ângulos de 120° . Os três eixos apresentam o mesmo comprimento, portanto são idênticos, sendo esse o diferencial de um quarto eixo disposto de modo vertical, perpendicular aos três outros. Além disso, também seu comprimento é diferente. Já a simetria aqui presente é senária. Existem autores que consideram o sistema trigonal como uma classe pertencente a esse sistema. Como exemplos mais comuns do sistema hexagonal podemos citar a apatita, e o berilo.

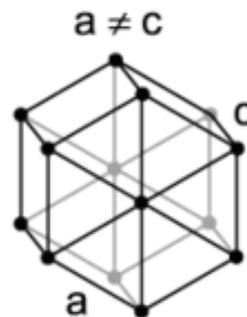


Figura 15 Sistema Hexagonal.

Sistema Romboédrico ou Trigonal

Esse sistema, como dito anteriormente, é considerado por alguns autores como classe do sistema hexagonal, pois também possui três eixos cristalográficos de comprimentos iguais, dispostos horizontalmente. Entre esses eixos também formam-se ângulos de 120° , além disso, esse sistema igualmente possui um eixo vertical perpendicular aos outros três, e ainda é diferente no comprimento. Do ponto de vista da simetria, apresenta eixo ternário. O que o diferencia do hexagonal é a simetria do eixo vertical, ternária e não senária. Como exemplos de minerais desse sistema podemos apresentar o quartzo, o coríndon e ainda as turmalinas.

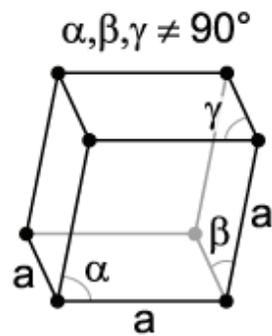


Figura 16 Sistema Romboédrico ou Trigonal.

Sistema Monoclínico

Uma importante característica desse sistema é o fato de apresentar três eixos cristalográficos, todos de comprimentos diferentes. Seus ângulos $\alpha \sim \beta \sim \gamma$ possuem 90° , o terceiro ângulo, β , mostra-se com um valor distinto de 90° . Quanto à simetria, apresenta um eixo de rotação binário e ainda um plano de reflexão. Como característica única relacionada à simetria, todos os cristais nesse sistema mostram um eixo binário ou um plano de simetria. Pode ainda ocorrer presença de ambos. Alguns exemplos são: o espodumênio, o ortoclásio e o talco.

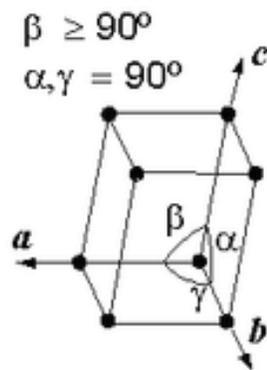


Figura 17 Sistema Monoclínico.

Sistema Triclínico

Quando uma forma cristalina não se enquadra em nenhum dos sistemas anteriores, é aqui, nesse sistema, que os mineralogistas a incluem.

A característica principal do sistema é o fato de possuir três eixos de diferentes comprimentos, cujos ângulos também diferem uns dos outros. Apresenta apenas simetria translacional, também conhecida como inversão, cuja característica é a ausência total de eixos e planos de simetria. Os exemplos que podem ser citados são: a rodonita, a turquesa e o microclínio.

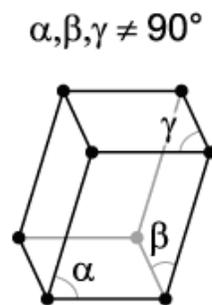


Figura 18 Sistema Triclinico.

2.5.2 Rochas

Rocha é um agregado natural composto por vários minerais ou por um único mineral; a presença de vidro vulcânico na sua composição pode ou não acontecer. É parte essencial da crosta terrestre ou litosfera, e é perfeitamente individualizada. As rochas ocorrem em vastas áreas do nosso planeta; existem vários tipos, o que facilita sua delimitação a partir da sua representação em mapas geológicos. Existem várias maneiras de se classificar as rochas; durante nosso estudo, de acordo com nossas necessidades, teremos a oportunidade de nos atermos a cada uma delas.

Tipos de Rochas

Ígneas ou Magmáticas

Esse grupo de rochas tem como característica principal ser originado a partir de material em estado de fusão encontrado naturalmente em nosso planeta. É reconhecido como grupo das rochas primárias, por terem sido as primeiras a ocorrer na superfície do planeta.

É produto do resfriamento do magma ou da lava vulcânica que originou três grandes grupos de rochas ígneas quanto ao ambiente de formação. As rochas ígneas plutônicas ou abissais, as rochas ígneas hipoabissais e as rochas ígneas extrusivas ou efusivas. Os dois primeiros grupos, abissais e hipoabissais, são originados da consolidação do magma em grandes e médias profundidades, respectivamente. O terceiro, das efusivas ou extrusivas, resulta da consolidação da lava em ambiente de superfície.

Exemplos:

- Vulcânicas, efusivas ou extrusivas: o basalto e a pedra-pomes.
- Plutônicas, abissais ou intrusivas: o granito e o gabro.
- Hipoabissais: o diabásio.



Figura 19 Fotografia de um granito.

Sedimentares

As rochas sedimentares recobrem praticamente 75% da área da superfície emersa do planeta. São geradas pela deposição e solidificação de sedimentos. Esses materiais sedimentares podem ter origem tanto mineral, como mineral e ainda vegetal. Uma rocha sedimentar só se forma a partir de algum material preexistente, como já citado. Por essa razão pode-se dizer que, praticamente, toda rocha sedimentar precisa de uma rocha “mãe”.

Tipos de rochas sedimentares, quanto à origem:

- **Detríticas:** originadas a partir de restos intemperizados de rochas preexistentes (ígneas, metamórficas, sedimentares). Como exemplos podemos citar o arenito, argilito, varvito, folhelho.
- **Químicas:** quando a concentração de determinado material em água (lagos, rios e oceanos) aumenta consideravelmente por alguma razão (evaporação, excesso de alimentação etc.), ocorre então a precipitação dessa substância no fundo do corpo d'água. Como exemplo podemos citar o caso do sal gema e de alguns calcários, etc.
- **Orgânicas:** os seres vivos, ao morrerem, podem ou não ser acumulados, em algumas situações especiais em que isso ocorre, podem se formar rochas compostas exclusivamente desses organismos. Podemos aqui citar o calcário conquífero, a coquina e o carvão mineral.



Figura 20 Fotografia de um arenito.

Metamórficas

São aquelas rochas originadas pela nova condição energética desenvolvida no meio em questão, onde podem ocorrer outras rochas ígneas, sedimentares e até mesmo metamórficas. O processo de formação de rochas metamórficas sempre exige a preexistência de outra.

Dependendo do processo metamórfico envolvido poderemos ter condições energéticas diferentes e a conseqüente formação de novo tipo de rocha metamórfica. Essas novas condições geram alterações de pressão e temperatura, algumas vezes com predominância de uma sobre a outra, outras, com igualdade de acréscimo de ambas. Como resultado, podem ocorrer processos com pressão elevada, acompanhada de temperatura altas; ou processos de temperaturas altas e pressões nem tanto; ou ainda pressões elevadíssimas e temperaturas nem tanto. Como resultado, poderemos ter a formação de gnaisses derivados de granitos, ou ainda do mármore derivado do calcário, quartzitos derivados de arenitos e assim por diante.



Figura 21 Fotografia de um gnaisse.

2.5.3 Intemperismo e solos

Qualquer que seja a natureza de uma rocha, magmática, metamórfica ou sedimentar, ela passará por diferentes processos de intemperismo que irão originar diversos tipos de sedimentos.

Intemperismo é o conjunto de transformações, de origem física ou química, atuantes nas rochas. Alguns fatores que controlam a ação do intemperismo são

o clima, com a variação das precipitações e da temperatura; o relevo, que influi no regime de infiltração e drenagem das águas.

Solo é uma formação terrestre que recobre a litosfera (situada acima da água e abaixo da atmosfera), basicamente constituído de material inconsolidado, minerais, matéria orgânica, água e uma fase gasosa.

É gerado a partir do intemperismo sobre material de origem, rocha ou solo preexistente, por meio de processos edafológicos. Cada tipo de solo se desenvolve em relação a um determinado tipo de relevo associado ao clima, dessa forma um material de mesma origem pode gerar diferentes tipos de solos em diferentes condições climáticas.

Cada profissional tem uma maneira de entender o solo; na perspectiva do agrônomo, este é o lugar para se plantar e conservar. Para o engenheiro civil, o solo é o meio de suporte de suas construções ou ainda o material de construção.

Tipos de solo

Solos Arenosos

São solos formados por 70% de areia (com grânulos entre 2 a 0,075 mm) e 30% de argila e silte. Normalmente o material mineral encontrado é o quartzo e o óxido de ferro, este último aparece em grande quantidade nos solos de origem tropical.

Uma característica muito importante desse tipo de solo é sua grande permeabilidade e extrema aeração, resultantes da alta porosidade e, principalmente, da comunicação entre os poros.

Solos Argilosos

Não tão arejados quanto os solos arenosos, esses solos apresentam pequena permeabilidade e vagaroso escoamento de água, a qual fica armazenada.

Alguns solos brasileiros, mesmo contendo muita argila, apresentam grande permeabilidade. Em geral, solos argilosos apresentam boa quantidade de óxidos de alumínio e de ferro.

Solos Siltosos

Apresentam grande quantidade de silte e são facilmente erodíveis. O silte não agrega como a argila, e suas partículas são muito pequenas e leves.

Solo Orgânico

Esse solo é especialmente rico em materiais orgânicos se comparado a outros solos semelhantes. Tem alta fertilidade, pois oferece condições propícias para desenvolvimento da vida vegetal. Apresenta aproximadamente 10% de matéria

orgânica em relação ao total da sua composição particulada. A ocorrência de matéria orgânica propicia a coloração escura característica desse tipo de solo, além de auxiliar na capacidade de retenção de água e sais minerais. A presença de matéria orgânica nessa proporção contribui sensivelmente para uma melhoria na porosidade do material, aeração e retenção de água.

Solo Cárstico

A porcentagem de calcário nesse solo é maior que em outros. É dele que se extrai o material utilizado na recuperação do pH dos solos utilizados na agricultura e na pecuária, os quais se encontram muito desgastados pela utilização intensiva. Normalmente, os solos são classificados segundo unidades sistemáticas, tais como: ordem, subordem, grande grupo, subgrupo, família e série.

A ciência que estuda os solos é chamada morfologia dos solos. O solo bem desenvolvido, ou não, geralmente é formado por horizontes, camadas do solo que apresentam características diversas umas das outras. Existem normas técnicas a serem aplicadas para sua delimitação, que sempre deve ser feita em campo. Vários, ou poucos, horizontes de solo mostram o denominado perfil do solo. O perfil de solo e seus horizontes, acompanhados de uma criteriosa descrição dos mesmos é que propiciam ao pedólogo/agrônomo a compreensão do mesmo. Com a pedogênese, a movimentação de pequenos e grandes seres vivos, infiltração de água, e outros processos atuantes, que são variáveis no perfil, podem ocorrer ou não o desenvolvimento de todos os horizontes. Quanto maior a distância da rocha que o originou, mais antiga a ação dos processos pedogenéticos.

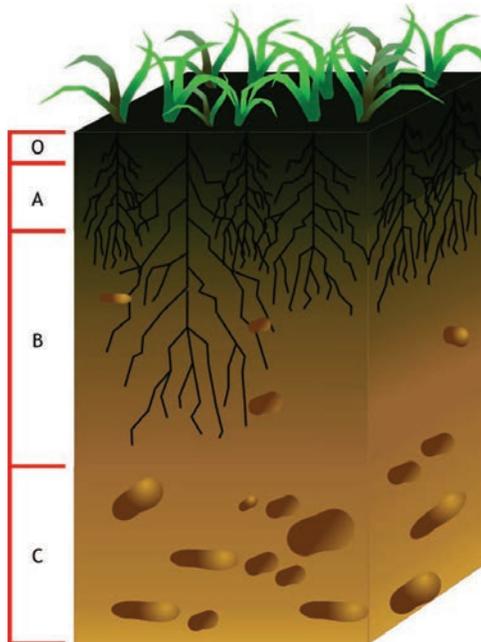


Figura 22 Esquema de um perfil de solo.

Tabela 5 Horizontes de um perfil de solo padrão.

O	Horizonte orgânico do solo é geralmente escuro.
A	Horizonte superficial está muito sujeito às intempéries climáticas da biomassa. É nele que acontece a maior mistura mineral com matéria orgânica.
E	Horizonte eluvial, também denominado de exportação, é aquele de onde o material é levado pela água percolante. Geralmente formado por argilas e pequenos minerais, são normalmente mais claros que outros horizontes.
B	É o horizonte de maior acúmulo de argilas e minerais trazidos dos horizontes superiores ou, eventualmente, de solos transportados próximos. Apresenta coloração mais forte, bem agregado e bem desenvolvido.
C	Rocha original em início de alteração, passando gradualmente para o horizonte acima, devido ao aumento de alteração, a um CB.
R ou D	Rocha original não alterada.

UNIDADE 3

Investigação geológico-geotécnica

3.1 Primeiras palavras

Para que possamos trabalhar com geologia e engenharia ambiental torna-se necessário o conhecimento de vários fatores, dentre eles, ressaltamos os aspectos geológicos e geotécnicos. Para tanto, são necessários métodos e técnicas que possam suprir essas informações, como os levantamentos de superfície e a escolha dos métodos de subsuperfície, também denominados métodos de investigação geológica.

3.2 Problematizando o tema

Os levantamentos de superfície consistem, de forma geral, na observação e descrição das rochas e solos superficiais encontrados na área em questão. Sem essa observação torna-se quase impossível a determinação correta de como proceder na escolha dos métodos diretos e indiretos de subsuperfície.

3.2.1 Investigações geológicas de superfície

O objetivo dessas investigações é o mapeamento de cada tipo de rocha ou de solos que afloram no local ou região da qual se deseja informações. A descrição deve incluir análise geomorfológica, determinação preliminar das formações e estruturas geológicas, análise estereoscópica de fotografias aéreas e demarcação de pontos de visita no campo.

Tudo deve ser lançado em uma carta topográfica, que será utilizada como base para a(s) saída(s) de campo. Durante o procedimento, os dados, as descrições, as interpretações e, tudo mais que for obtido, deverá ser lançado em um mapa.

Todo esse trabalho deve, é claro, ser precedido por pesquisas, o que facilitará em muito a interpretação e compreensão. Seu objetivo maior, além do intrínseco, é o de orientar outras modalidades de investigação de subsuperfície. Torna-se evidente a importância do conhecimento dos métodos de investigação geológica que deverão ser solicitados e também aqueles que deverão ser empregados para o estudo dos solos. Existem inúmeros métodos de investigação geológica, entretanto, quando nos direcionamos à geologia de engenharia, o número se reduz razoavelmente. Como já comentado, existem basicamente duas maneiras de se investigar a geologia, de forma direta e de forma indireta.

3.3 Métodos diretos

Os métodos de investigação geológica podem ser tanto de superfície como de subsuperfície. Permitem a observação direta do subsolo, por meio de amostras coletadas ao longo de uma perfuração ou por meio da medição direta de propriedades *in situ*. Alguns exemplos são as escavações, as sondagens e os ensaios de campo.

3.3.1 Amostragem

Quando se realiza um levantamento de superfície ou de subsuperfície é de fundamental importância que amostras representativas das rochas ou dos solos, que estão sendo investigados, sejam colhidas. Essas coletas deverão ser efetuadas por pessoal tecnicamente habilitado, para que as amostras conservem essa tão importante representatividade. Por exemplo, quando colhemos amostras de rochas duras, elas poderão vir na forma de fragmentos (encontrados em afloramentos) ou na forma de testemunhos de sondagens. Quando as amostras são de solos ou de rochas mais macias, algumas sedimentares, por exemplo, podem ser coletadas deformadas ou indeformadas. Sua retirada ou colheita deverá seguir as recomendações das diretrizes para execução de sondagens em ABGE (1990).

3.3.2 Sondagens

Podemos ter os seguintes tipos de sondagens: sondagens a trado (manual ou mecânica); NBR 9603/88, sondagem de percussão manual com circulação de água ou SPT (Standard Penetration Test); NBR 6484/97, sondagem de penetração estática, sondagem rotativa mecânica. Serão mencionados ainda os poços e galerias.

3.4 Métodos indiretos

Como o próprio nome diz, nesses métodos as propriedades geotécnicas dos solos são calculadas indiretamente pela observação a distância ou pela medida de outras grandezas do solo. Os métodos são: sensoriamento remoto e ensaios geofísicos.

Métodos geofísicos

Existem vários tipos de métodos geofísicos que podem ser utilizados na investigação geotécnica, são eles: sensoriamento remoto, fotografias aéreas,

imagens de satélite, eletrorresistividade, magnetometria, gravimetria, sísmica de refração, entre outros.

Métodos sísmicos

Os principais métodos sísmicos são: refração, reflexão, *crosshole* e tomografia, perfilagem sísmica contínua, sonografia e ecobatimetria, para áreas submersas.

Métodos potenciais

Podemos citar a magnetometria e a gravimetria.

3.5 Considerações finais

Para que se possa compreender o meio físico e estudá-lo adequadamente é muito importante que as investigações sejam efetuadas com o maior detalhamento possível. As amostragens deverão ser realmente representativas para que, em laboratório, ao serem estudadas, possam contribuir de maneira decisiva ao que se destinarem. A escolha das investigações geológicas de subsuperfície deve ser calcada em conhecimentos adquiridos a partir das investigações de superfície e suas amostragens e no conhecimento geológico e técnico do profissional da área que estiver no comando dessas operações. Em resumo, quanto mais detalhadas forem as investigações, melhor será o conhecimento obtido e melhor a tomada de resoluções sobre como utilizar o objeto do estudo para a finalidade a que se destina.

UNIDADE 4

A água em superfície e subsuperfície

4.1 Primeiras palavras

Até o momento nos detivemos ao estudo do meio físico como se nele houvesse apenas materiais relativos ao estado físico sólido. Não podemos nos esquecer que na natureza a matéria se apresenta em três estados: sólido, líquido e gasoso. No nosso caso todos os três estados desempenham, de alguma forma, seu papel em algum tipo de situação, seja ela geológica, geotécnica ou ambiental. Dessa forma vamos passar ao estudo da influência do segundo estado físico, líquido, que, na forma de água, exerce influência sobre o meio físico do nosso planeta.

4.2 Problematizando o tema

A água, como todos sabem, pode ser considerada um agente de grande atuação na crosta do planeta, seja do ponto de vista físico ou químico. Físico porque atua por embate, causando erosão, transporte e deposição. Químico porque, por meio de suas propriedades químicas, que lhe conferem o título de solvente universal, atua diretamente na composição química dos materiais terrestres, seja por hidratação ou por hidrólise, sendo adicionada, decompondo, transformando e criando novos materiais de composição e propriedades diferentes daquelas do original onde atuou. Vamos então conhecer esse agente natural tão poderoso e também tão necessário à nossa vida sobre o planeta.

4.3 Origem e estado da água nos solos e rochas

Conforme a origem, podemos classificar a água subterrânea como sendo de infiltração, fóssil, juvenil e de condensação.

A primeira, de infiltração, se origina a partir da precipitação de água atmosférica; podemos afirmar que praticamente toda água subterrânea apresenta essa origem.

Já a água denominada fóssil é derivada do acúmulo subterrâneo em tempos geológicos remotos, em materiais sedimentares que a aprisionam até os dias em que for descoberta.

A água dita juvenil é aquela que pela primeira vez vem à superfície do planeta por meio de processos vulcânicos, podendo ser rica em sais minerais e com temperatura geralmente elevada.

Finalmente, a água de condensação é aquela que por diminuição de temperatura se condensa em locais adequados, tais como poros, a partir do vapor de água existente na atmosfera.

Em solos e rochas, a água pode se apresentar de formas variadas, apenas hidratando, hidrolisando e também como água de constituição de minerais, como as rochas. Isso sem falar da água na forma de gelo, que naturalmente ocorre no planeta e, é claro que nesse estado, sua atuação sobre a Terra é diferente daquela no estado líquido.

Aproximadamente 97% da água doce disponível no planeta para uso da humanidade está no subsolo, como água subterrânea.

Grandes cidades brasileiras são abastecidas, total ou parcialmente, por água subterrânea. Apenas no estado de São Paulo 75% das cidades são abastecidas por poços. Ribeirão Preto é um exemplo de cidade onde a água subterrânea tem sido gerenciada, garantindo o abastecimento de toda a população com água de ótima qualidade. Se observarmos os estados do Paraná e Rio Grande do Sul, veremos que cerca de 90% das cidades utilizam no seu abastecimento águas subterrâneas. Nas duas últimas décadas aconteceu um crescimento do uso da água subterrânea no Brasil, mas estamos muito aquém dos volumes e gerenciamento que acontecem nos países da Europa e nos Estados Unidos.

O ciclo hidrológico nos revela que ao precipitar-se da atmosfera, a água pode seguir por diversos destinos. Pode se infiltrar totalmente ou em parte. Pode seguir o caminho do corrimento superficial, também em parte ou totalmente, e acompanhar obviamente a declividade do terreno em direção a áreas de baixios. Com a variação da temperatura atmosférica, parte dessa água volta à atmosfera sob forma de vapor. Em países temperados ou frios, em grandes altitudes, ocorre seu acúmulo superficial como gelo ou neve, ali podendo ficar retida ao longo do tempo geológico. A água que segue o caminho da infiltração originará a água subterrânea. O que determina se a água será infiltrada ou não são os materiais presentes no solo, por exemplo, a argila, que diminui a permeabilidade, dificultando a ocorrência de grande infiltração. A cobertura por vegetais é um fator de grande importância, pois o solo quando coberto pela vegetação apresenta características de permeabilidade muito maiores que um solo desmatado. A maior ou menor inclinação do terreno tem um papel importante também pois, em declividades acentuadas o fluxo de água superficial é maior e mais rápido, o que diminui seu tempo de infiltração no solo. A quantidade e intensidade da chuva é outro fator que deve sempre ser levado em consideração, pois quando há abundância de chuva ocorre uma rápida saturação do solo. Entretanto caso a chuva seja de menor intensidade e com tempo maior de atuação teremos criadas as condições necessárias a uma boa infiltração. Isso sem falar do embate erosivo causado por suas gotas.

Ao infiltrar, está submetida a duas forças muito importantes que são a da gravidade e a da capilaridade. Esta última é naturalmente mais intensa que a da gravidade. Conseqüentemente a água será retida e imobilizada, deixando de

atingir zonas mais profundas. Chuvas pouco intensas, finas e passageiras apenas propiciam água suficiente para a reposição da umidade do solo. Portanto, fica claro que para ocorrer infiltração até a zona saturada é necessário primeiro que a força capilar seja vencida.

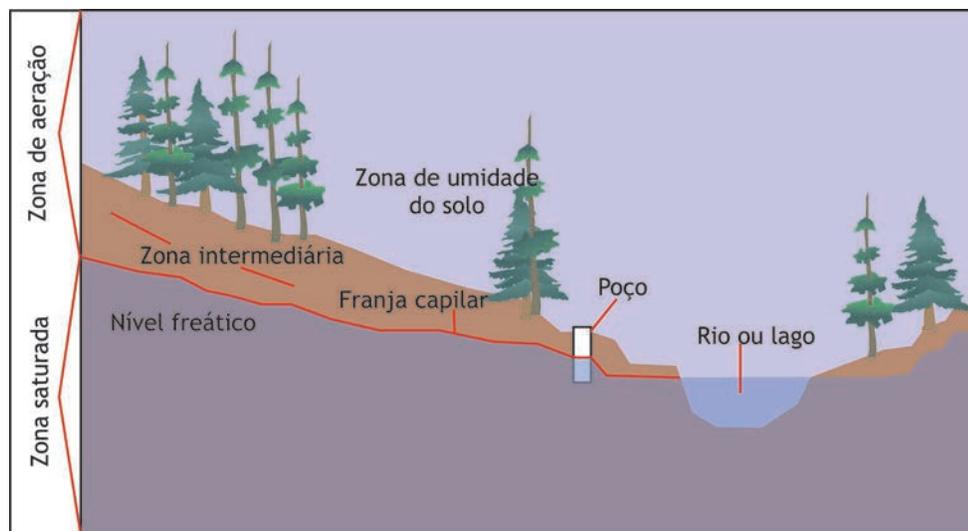


Figura 23 Zonas de umidade do solo.
Fonte: adaptada de Zimbres.

4.4 Zonas de ocorrência da água em aquíferos freáticos

A ocorrência de água sob a superfície do planeta é distribuída basicamente em duas zonas, a de aeração e a de saturação.

4.4.1 Zonas da água em subsuperfície

Zona de Aeração

Como o próprio nome já revela, há predominância nessa região de ar no solo, o que não significa que não possua água. Quanto menor a partícula que compõe o solo, maior a umidade em comparação aos ricos em partículas mais grosseiras, pois naqueles ocorrem mais superfícies de partículas onde a água pode aderir. Dentro dessa zona podemos visualizar três subzonas:

- zona de umidade do solo (mais superficial);
- zona intermediária;
- zona de capilaridade ou franja de capilaridade.

Em locais onde o freático se aproxima da superfície, a zona intermediária poderá não ocorrer, pois a franja capilar atinge a superfície do solo. São regiões conhecidas por brejos e/ou alagadiços, onde a evaporação intensa é proveniente da água subterrânea local.

Vamos agora nos ater um pouco à zona de saturação, região localizada abaixo do nível da água subterrânea; aqui os poros/fraturas da rocha estão saturados/preenchidos pela água. Sempre que se observar um poço escavado num aquífero livre, a água estará ao nível do referido aquífero. Nesse tipo de aquífero o nível da água estará diretamente relacionado à precipitação pluviométrica local. Em épocas de maior precipitação, o nível da água do poço/freático subirá e, em caso de menor precipitação, o nível descera. Interessante observar, por exemplo, um poço perfurado em um verão com alta pluviosidade e que apresentava água nessa época, corre o risco de ficar seco no inverno, com baixa ou nenhuma pluviosidade, caso a profundidade que penetre na região saturada for inferior à variação do nível da água durante o período envolvido.

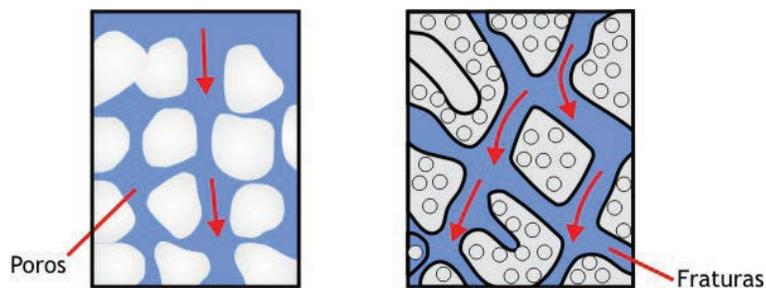


Figura 24 Tipos de espaços vazios.
Fonte: adaptada de Zimbres.

4.5 Tipos de aquíferos

Existem basicamente dois tipos de aquíferos, os livres e os profundos. Entre os aquíferos livres e a superfície não existe uma camada impermeável ou que aja como tal, fato que iguala as pressões atmosférica e superficial. A figura a seguir exemplifica bem a situação. Esse tipo de aquífero é muito explorado pela facilidade de acesso, porém mais suscetível à poluição/contaminação. Já os aquíferos profundos apresentam a camada saturada geralmente situada entre duas camadas impermeáveis. Isso significa uma água com maior pureza e também sob uma condição de pressão diferente daquela encontrada na superfície. Essa situação é responsável pela ocorrência de artesianismo ou não. Caso a pressão do aquífero confinado seja superior à pressão atmosférica poderemos ter um poço “artesiano”, ou seja, jorrante.

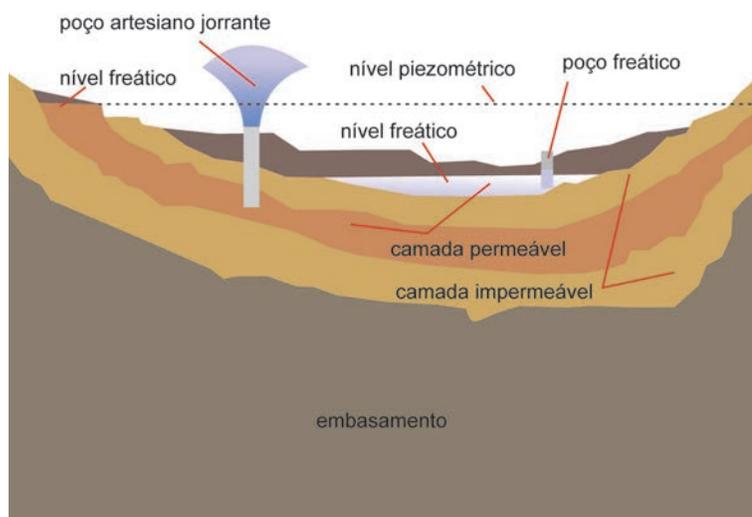


Figura 25 Tipos de poços.

Podemos ainda classificar os aquíferos dos poços, segundo a geologia do material saturado em: aquíferos porosos, fraturados ou fissurados e cársticos.

Os aquíferos porosos são aqueles que ocorrem em rochas sedimentares, em sedimentos e em solos arenosos autóctones. São aquíferos importantes por apresentarem grande volume de água e ocorrer em vastas áreas. São mais recorrentes em bacias sedimentares e em áreas de acúmulo de sedimentos arenosos. Uma característica desse tipo de aquífero é sua homogênea distribuição de porosidade, facilitando o fluxo da água em qualquer direção e sentido. Os diferenciais de pressão hidrostática existentes garantem o fluxo da água subterrânea. São aquíferos denominados isótopos. Poços nesses aquíferos fornecem vazões acima de 400 metros cúbicos/hora.

Diferentemente, os aquíferos fraturados/fissurados ocorrem em ambientes de rochas ígneas e metamórficas, podendo, eventualmente, acontecer em ambientes sedimentares especiais, como por exemplo, naqueles silicificados e fraturados por movimentações crustais de qualquer natureza. O armazenamento de água nessas rochas está diretamente relacionado à quantidade de fraturas existentes, suas aberturas e seu grau de intercomunicação.

Em nosso país a sua localização geográfica é mais importante do que a quantidade de água que podem armazenar ou fornecer. A produtividade desses poços depende da morfologia de fraturas; caso determine um padrão de intercepção de fraturas com grande interligação haverá uma eficaz condução da água retida, mas em geral são pouco produtivos.

Nesse tipo de aquífero a água só flui se houver a ocorrência de fraturas com orientações preferenciais, caracterizando meios aquíferos anisotrópicos. Como exemplo de aquífero fraturado, podemos citar aqueles representados pelos derrames basálticos que ocorreram nas bacias sedimentares do Brasil. O grupo em

questão foge um pouco à normalidade desse tipo de aquífero, apresentando a possibilidade de fornecimento de volumes de água até dez vezes superiores à maioria dos outros poços localizados em aquíferos do mesmo tipo em rochas ígneas ou metamórficas. Já os aquíferos cársticos são formados em regiões com predominância de rochas calcárias. Trata-se de um tipo muito especial de aquífero, onde as fraturas podem sofrer dissolução do carbonato constituinte pela água e, dessa maneira, apresentar aberturas muito grandes, originando rios subterrâneos. É muito comum em regiões de cavernas e grutas calcárias, recorrente em várias partes do território brasileiro.

4.6 Aproveitamento da água subterrânea

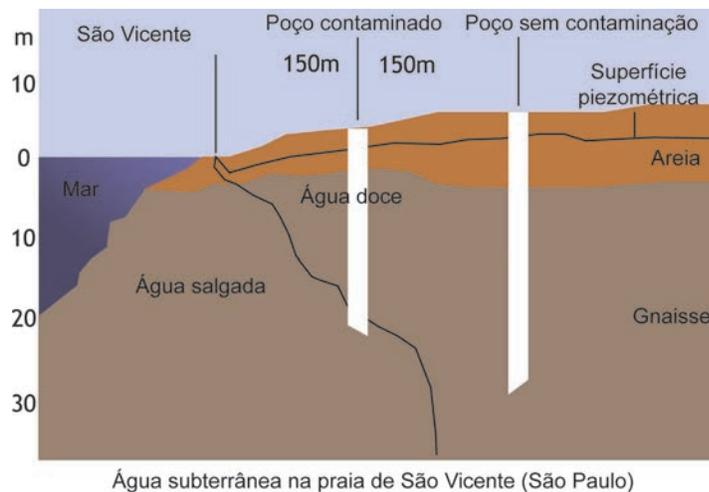


Figura 26 Água subterrânea em borda oceânica.

Em algumas regiões do Brasil a água subterrânea, quase sempre foi e ainda é explorada e não explorada. Isso significa um uso predatório e inconsequente, sem respeitar as informações técnicas e metodologias disponíveis. A proximidade excessiva entre os poços e a conseqüente interferência dos respectivos cones de depressão resultam em um rebaixamento do nível da água subterrânea, que por sua vez, faz esses poços secarem definitivamente. Além disso, a retirada excessiva de água, algumas vezes muito superior à capacidade de recarga dos aquíferos causa-lhes danos irreversíveis.

Basicamente no Brasil as águas subterrâneas ocorrem em quase todos os tipos de rochas, em maior ou menor quantidade, dependendo obviamente das condições climáticas e formas de utilização. Atualmente, devido ao fato de possuímos uma grande quantidade de água superficial ainda relativamente com boa qualidade, a água subterrânea ocupa um papel secundário quanto à utilização, à exceção

de alguns locais específicos de grande concentração humana como as grandes cidades e capitais e regiões de clima árido. A grande vantagem da água subterrânea é o pequeno custo de tratamento devido sua qualidade e potabilidade superiores em relação às superficiais.

4.7 Permeabilidade

Permeabilidade pode ser compreendida como a capacidade de transmissão de água por uma rocha. A transmissão se dá em rochas porosas, cujos poros tenham comunicação entre si. Quanto maior a comunicação entre eles, maior será a permeabilidade daquela rocha em questão.

No ano de 1856, Darcy criou a “lei do regime de escoamento” que dizia o seguinte:

“A velocidade de percolação da água em um regime de escoamento laminar é diretamente proporcional ao seu gradiente hidráulico”.

Sendo: $V = K \times i$

V = Velocidade de percolação em cm/s ou m/s

K = Constante de permeabilidade cm/s ou m/s

i = Gradiente Hidráulico. ($i = h/l$, em que l = altura da amostra e h = carga hidráulica).

Determinação do coeficiente de permeabilidade (K)

O coeficiente de permeabilidade dos solos poderá ser determinado em laboratório, campo além de ser estimado através da equação empírica. A permeabilidade de carga constante é calculada a partir da Equação 1:

$$K = (Q \times L) / (A \times t \times h)$$

K = Coeficiente de permeabilidade da amostra (cm³)

L = Altura da amostra (cm)

A = Área da amostra onde flui a água (cm²)

h = Carga Hidráulica (cm)

t = Tempo de escoamento da água (segundo)

A Permeabilidade de carga variável é calculada a partir da Equação 2:

$$K = 2,3 \times \left[\frac{a \times L}{A \times t} \right] \times \text{Log} \left(\frac{h1}{h2} \right), \text{ em que:}$$

L = Altura da amostra (cm)

A = Área da amostra onde flui a água (cm²)

a = Área do tubo de carga (cm²)

h1 = Carga hidráulica inicial (cm)

h2 = Carga hidráulica final (cm)

t = Tempo de Escoamento da água (segundo).

O coeficiente de permeabilidade pode ser determinado por meio do ensaio de adensamento, que possibilita determinar esse índice quando o solo estiver sob carregamento.

O coeficiente de permeabilidade em solos pedregulhosos e arenosos pode ser estimado pela fórmula de Hazen, utilizando a análise granulométrica.

$$K = (Def)^2 \times 100$$

Def = Diâmetro efetivo do solo

Fluxo de água nos solos

A velocidade de descarga e a velocidade real da água.

$$A = L \times h$$

Velocidade = Vazão/Área (Metros/Segundos)

Como a água atravessa a amostra de solos pelos vazios.

$$Q = A \times V = AF \times VF, \text{ em que:}$$

A = Área total

AF = Área de Vazios (multiplicado pela altura= Volume)

V = Velocidade Inicial

V_F = Velocidade final

Portanto:

$$A/AF = l/M = Vt/Vv, \text{ então } VF = V/M$$

4.7.1 Permeabilidade absoluta, permeabilidade efetiva e permeabilidade relativa

A permeabilidade absoluta é intrínseca ao meio poroso. Já a permeabilidade efetiva é a capacidade de escoamento de uma fase fluída em presença de outras. Característica do meio e da interferência das outras fases envolvidas. Finalmente a permeabilidade relativa é obtida a partir da divisão do valor da efetiva pela absoluta.

4.8 Rebaixamento do aquífero subterrâneo

O rebaixamento das águas subterrâneas é muito utilizado na elaboração de obras de engenharia, vamos aqui abordar algumas técnicas utilizadas. O mais simples sistema de rebaixamento de lençol freático por bombas é o de ponteiros filtrantes. Sua utilização ocorre quando o nível de água é raso. A cada bomba de sucção podem ser ligadas até 50 ponteiros. Até a década de 1970, essa era a única técnica de rebaixamento por bombeamento. Assim, quando era necessário rebaixar níveis de água a profundidades maiores que 6 m, um novo sistema de ponteiros filtrantes era acoplado aumentando a capacidade de sucção. O sistema mais recente de injetores é útil para poços profundos, mas apresenta baixo rendimento. Sua aplicação é viável apenas quando o volume de água a ser retirado é baixo e por um curto período de tempo. Cada bomba poderá ser empregada, em média, em quatro a dez poços com injetores. Quando essas condições não são atendidas, recorre-se ao sistema de bombas submersas. Na maioria das vezes, os rebaixamentos de lençóis freáticos são temporários, ou seja, as bombas de drenagem começam a funcionar antes da escavação e são desligadas logo após a execução da obra no terreno. A natureza de algumas obras, no entanto, pode exigir que o desligamento do sistema de bombeamento seja atrasado. É o caso, por exemplo, da execução de algumas garagens de edifícios, em que se faz necessário manter o rebaixamento do lençol até que a estrutura fique um pouco mais pesada e não flutue sobre a água ou tenha sua laje de fundo rompida pela pressão hidrostática.

Nos raros casos em que o nível de água precisa ser permanentemente rebaixado, deve-se apenas atentar um pouco mais para a durabilidade dos componentes do sistema e de seus controles. Para garantir a perenidade do funcionamento do sistema, elementos como circuitos hidráulicos, controles elétricos e alarmes de interrupção devem ser projetados em duplicidade ou multiplicidade. Dentre os aspectos “agressivos” a um sistema permanente, podemos citar o pH da água subterrânea e a existência de algas e bactérias, cuja ação pode prejudicar o bom funcionamento do sistema.

Os métodos de rebaixamento de lençol freático variam de acordo com a profundidade do nível da água no solo. Aqui estão alguns dos métodos mais utilizados para retirada de águas subterrâneas. Seja qual a for a técnica de rebaixamento empregada ela sempre ocasiona uma diminuição das pressões neutras do solo geralmente causando recalques que, além de indesejados, podem ser desastrosos. Por essa razão sempre se recomenda um acompanhamento rigoroso, por meio do estudo de recalques, que porventura venham a ocorrer. Recomenda-se ainda um acompanhamento, por meio de hidrômetros e medidores do nível de água, da variação do nível do freático e uma comparação com os cálculos previamente efetuados no projeto.

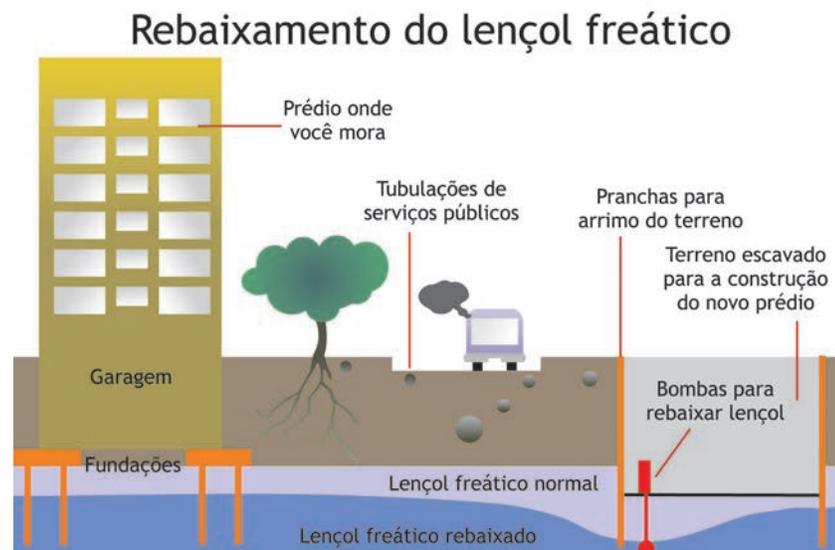


Figura 27 Rebaixamento de lençol freático.

Bombeamento direto ou esgotamento de vala

Essa técnica de rebaixamento é a mais simples de ser realizada; efetua a coleta de água em valetas no fundo da escavação. Tais valetas são interligadas a um ou a vários poços posicionados de maneira que a água neles seja acumulada e, à medida que atinja um determinado volume/nível, é recalçada para fora da área de trabalho, conforme pode ser visto na figura abaixo:

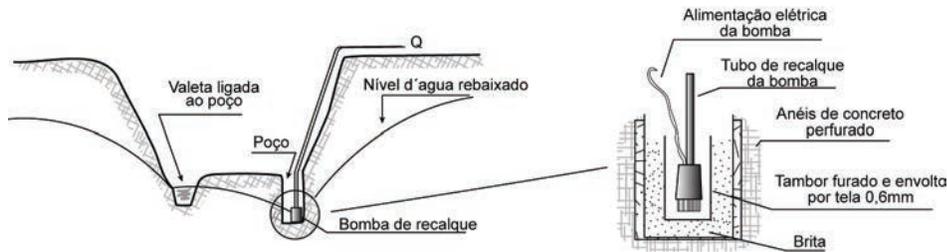


Figura 28 Sistema de rebaixamento por bombeamento direto. Consiste na implantação de várias ponteiras filtrantes, com pequeno espaçamento entre elas (um a dois metros), ao longo do perímetro da área a rebaixar, as quais são ligadas à rede coletora por meio de mangueiras plásticas dotadas de um registro.

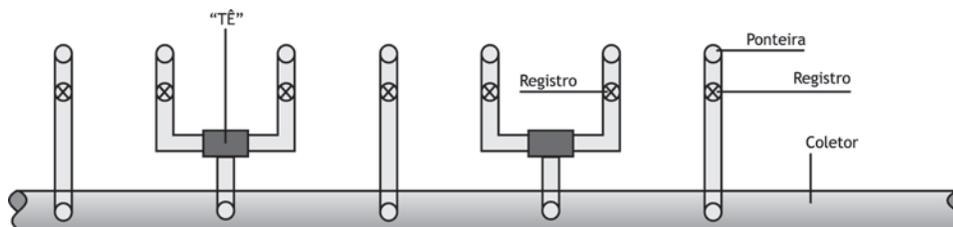


Figura 29 Sistema de rebaixamento com ponteiras filtrantes (*Well-Points*).

Esse método permite executar o rebaixamento do lençol freático em grandes áreas com profundidades médias de escavações em torno de 5m. Podendo, entretanto, através da implantação de múltiplos estágios ser aplicado a escavações mais profundas.

A extremidade dos coletores é conectada ao equipamento composto de bomba de vácuo, separador ar-água, bomba centrífuga. Esse equipamento retira água do solo, fazendo com que a pressão atmosférica recalque a água e promova a escorva da bomba centrífuga e conseqüente bombeamento. Normalmente, cada equipamento trabalha com 40 a 60 metros de coletor, e entre 30 a 40 ponteiras.

Ponteiras

As ponteiras são constituídas de um tubo de ferro galvanizado ou de PVC (este, hoje em dia, mais frequente) com diâmetro de 1 1/4 " ou 1 1/2" terminado por uma peça com cerca de 1m de comprimento (a ponteira propriamente dita), perfurada e envolvida por tela de nylon com malha de 6mm.

Também é possível executar a ponteira sem tela fazendo-se ranhuras de pequena espessura no tubo, porém tal procedimento só é usado em rebaixamentos de pequena profundidade e em solos predominantemente arenosos (sem siltes ou argilas).

As ponteiros são instaladas em perfurações prévias executadas com tubo de aço galvanizado e circulação de água, analogamente ao processo de perfuração com lavagem nas sondagens à percussão.

Quando o solo onde se instala a ponteira é de granulometria muito fina, imediatamente após a instalação deve-se envolver a ponteira com pedrisco e selar o topo com argila socada. A Figura 30 mostra o esquema da ponteira tradicional.

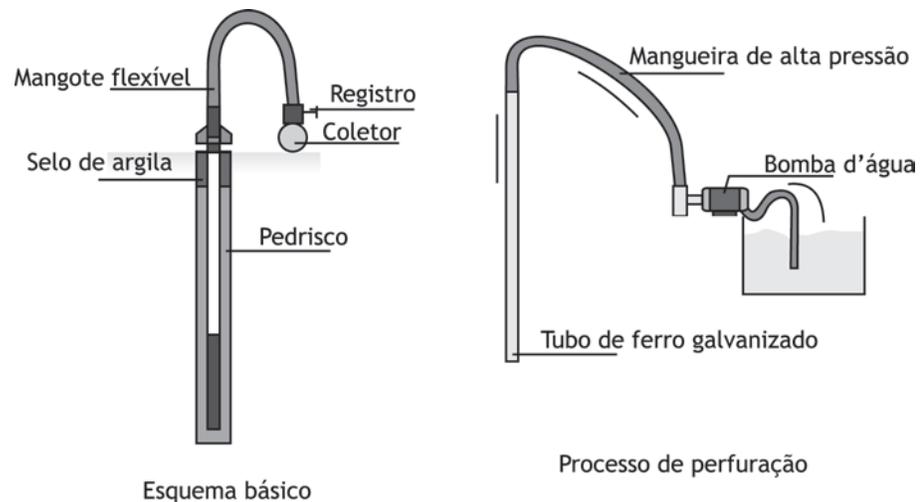


Figura 30 Ponteira tradicional.

Cada ponteira é ligada ao tubo coletor por um mangote flexível e um registro que serve para regular a vazão de água que passa por ela, de modo a manter o trecho filtrante da ponteira sempre submerso, evitando entrada de ar.

Quando se constata entrada de ar, regula-se o registro para uma menor vazão, ou até se fecham alguns registros da rede.

Os registros, quando fechados, permitem a troca das ponteiros a eles ligadas, que estejam apresentando defeito. Por essa razão é uma boa prática de engenharia não se eliminar essa peça do sistema de rebaixamento, embora em rebaixamentos de pouca responsabilidade tal prática nem sempre é seguida.

4.9 Considerações finais

Como vimos, a água superficial e a subterrânea têm um papel fundamental, não somente nas atividades e saúde humanas, como também no próprio desenrolar da “vida” do nosso planeta, pois ela é dotada de uma grande energia modificadora, destruidora e criadora. O principal mote é evitar modificar aquilo que a natureza levou anos para estabilizar.

UNIDADE 5

Erosão

5.1 Primeiras palavras

Erosão! Palavra estranha na forma, mas comum nas consequências. Durante o verão de 2010 presenciamos os efeitos danosos da ativação de alguns processos erosivos. Deslizamentos, inundações, mortes, falta de planejamento, ocupação desordenada, etc.

Erosão, basicamente, diz respeito a um conjunto de processos atuantes na superfície do planeta que resultam na desagregação de rochas e solos e seu consequente carreamento pelos agentes climáticos. Como efeitos imediatos desse fenômeno, na maioria das vezes acelerado pela ocupação antrópica, podemos citar a perda de solo fértil, poluição das águas, degradação de ecossistemas, assoreamento de cursos d'água de lagos e represas. Os efeitos mais catastróficos resultantes do processo erosivo são, sem sombra de dúvida, os deslizamentos e as inundações.

5.2 Problematizando o tema

Os processos erosivos são fenômenos naturais existentes no planeta desde tempos remotos. Essa é uma premissa que deve ser sempre levada em consideração, pois ao contrário dos vaticínios dos muitos “profetas do apocalipse”, tais fenômenos não são sobrenaturais, mas sim desencadeados pela ocupação do homem na litosfera. Tal afirmação tem um fundo de verdade, principalmente se considerarmos a ação antrópica e seus efeitos no planeta, como a ocupação indevida de áreas, a agricultura mal planejada, a impermeabilização abusiva do solo resultando em concentração de águas de escoamento superficial, desmatamentos, entre outros.

A erosão causa uma série de problemas e consequências ao ser humano e ao meio ambiente. Aquele mesmo meio ambiente que demorou milênios para alcançar condições estáveis e, hoje, em última análise, está em processo de reestabilização mediante as novas condições energéticas a que foi exposto pela tal atividade antrópica.

Torna-se óbvio que essa situação não é interessante nem ao planeta nem ao ser humano, principalmente porque acarreta ônus aos cofres públicos e também aos cidadãos.

5.3 A erosão na superfície

Os processos erosivos apresentam todo seu potencial principalmente quando atuam na superfície, cujo equilíbrio é modificado por alterações em suas

formas, estruturas, e até em seu recobrimento natural. A tendência dessa condição de desarranjo é readquirir o equilíbrio, o qual será alcançado naturalmente por processos que podem envolver também a erosão, mas não necessariamente apenas ela.

5.3.1 Fatores que contribuem para a aceleração da erosão

Obviamente quando temos uma superfície, seja ela qual for, em equilíbrio, qualquer modificação a ela imposta resultará em desequilíbrio e, conseqüentemente, haverá ações naturais para restabelecê-lo. Terraplanagens, desmatamentos, ocupações de encostas e várzeas naturalmente resultarão em respostas imediatas do meio ambiente, dentre elas, a aceleração da erosão.

Erosão por gravidade

Esse tipo de erosão ocorre geralmente em regiões montanhosas e pode ser natural ou artificialmente causada. Normalmente as encostas são vegetadas, e no decorrer do tempo geológico, estão sujeitas aos agentes do intemperismo, que se encarregam de transformar rochas minerais constituintes em material regolítico ou em solo. À medida que esse intemperismo avança, são formados novos minerais, materiais dissolvidos são carreados, favorecendo, entre outras coisas, a formação de muitos minerais de argila. Alguns desses minerais possuem propriedades tixotrópicas e à medida que sua quantidade e espessura aumentam, maior é a possibilidade de ocorrência do fenômeno da tixotropia durante um período chuvoso, acompanhado de raios e trovões que agem como energia de ativação.

A tixotropia é a passagem de um material no estado sólido para o estado líquido, quando acontece na natureza ocorre a chamada corrida de lama ou deslizamento. Esse fenômeno pode ser acelerado pela ocupação antrópica nas suas mais variadas formas, ocasionando deslocamentos de grandes quantidades de materiais rochosos e de solo em regiões declivosas, como montanhas e colinas.

Erosão pluvial

Esse tipo de erosão se caracteriza pela retirada do solo a partir do embate e corrimto da água de chuva. Esse processo é acelerado quando a superfície se encontra desprovida de vegetação. Age pelo impacto das gotas de água causando a desagregação do solo.

Erosão eólica

Esse tipo de erosão é resultante do embate de partículas transportadas pelo vento, que, ao se chocarem com solos/rochas, causam remoção, no caso

dos solos, ou quebra em partículas pequenas e posterior remoção no caso das rochas. A erosão eólica é particularmente efetiva em regiões que apresentam clima desértico ou aquelas em que os ventos são muito fortes.

Erosão marinha

O mar é o principal agente erosivo do planeta, corroborando aquele velho ditado “água mole em pedra dura tanto bate até que fura”. Toda a região costeira é e foi modelada pela erosão marinha. Em regiões de rochas mais duras esse processo é lento, entretanto em regiões de rochas “moles”, como por exemplo as sedimentares com baixo grau de cimentação, o mar faz um belo trabalho de erosão e bem mais rápido. Outros exemplos de erosão marinha podem ser observados em Torres no Rio Grande do Sul e nas regiões da Bahia e Ceará, com as famosas falésias. Podemos citar ainda o fato ocorrido na praia de Iracema na capital cearense, Fortaleza: ali cerca de três quarteirões de residências, assim como a própria praia de Iracema, foram destruídos. A avenida à beira mar e parte da área próxima à praia de Iracema tiveram de ser recuperadas para não serem levadas pela erosão marinha.

Erosão glacial

Nas montanhas mais altas do planeta e nos seus sopés ocorre a chamada erosão glacial. Basicamente ela acontece pela movimentação da geleira montanha abaixo, agindo como um enorme rastelo, rasgando, quebrando e pulverizando a rocha subjacente que passa a ser englobada pela geleira. Além disso, existe o processo intempérico denominado “cunha de gelo”, que é um dos principais responsáveis pela desagregação das rochas em regiões frias e temperadas favorecendo, dessa maneira, a erosão posterior.

Erosão subterrânea

Quando o homem resolve ocupar uma região, ou mesmo uma pequena área, a primeira coisa que faz é retirar a vegetação natural. É obvio que assim que isso acontece, temos a quebra do equilíbrio natural local. As consequências dessa ocupação errônea, todos conhecemos: erosão, assoreamento, corrimento superficial de água da chuva.

Um método agressivo, que se implanta quase que de imediato no momento da ocupação, é a abertura de sulcos devido à concentração anormal de água e enxurradas. Dependendo do solo e da formação geológica local ocorre um aprofundamento acelerado e o encontro com o lençol freático, conseqüentemente, poderemos ter a formação de uma “nascente” de água. O lençol freático começa então a produzir o fenômeno chamado erosão remontante, esse é o início de uma voçoroca. Quanto maior for o gradiente hidráulico e a quantidade de água,

maiores serão as consequências. Quando os solos apresentam rarefação de agentes coesivos, tais como os cimentos, a coesão é muito reduzida e, quando molhados, sofrem desmoronamento, sendo facilmente levados pelo arraste.

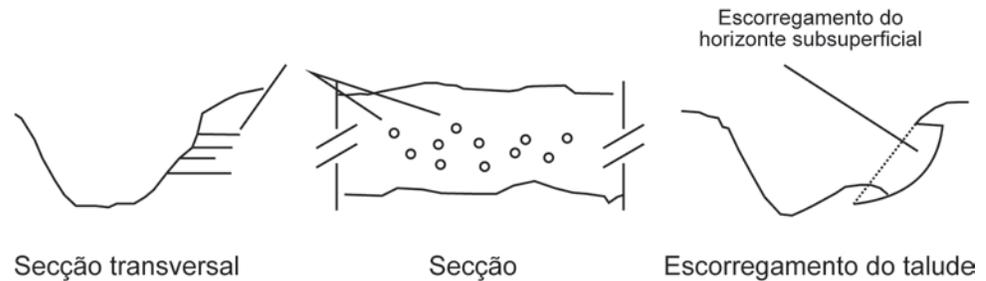


Figura 31 Esquema do mecanismo de escavação da voçoroca.

5.3.2 Consequências da erosão

O transporte e deposição de sedimentos na sequência causam assoreamentos de rios, lagos e represas. Podendo, entre outros efeitos, resultar numa menor produtividade do sistema ecológico em questão.

Outros danos

Por conta do assoreamento dos rios e lagos, esses corpos d'água extravasam, podendo causar verdadeiras catástrofes com deslizamentos, inundações e, quase sempre, vítimas humanas.

5.4 Considerações finais

Conforme pudemos observar, a erosão em suas mais diversas formas é um fator importante que deve ser levado em consideração quando se pretende intervir no meio ambiente natural e, em algumas circunstâncias, no ambiente urbano já implantado. Algumas vezes, situações já estabilizadas e resolvidas, naturalmente através do tempo, podem, quando da realização de novas intervenções, ser desequilibradas, causando a reativação de processos erosivos. Em resumo, antes de qualquer intervenção é recomendado um estudo cauteloso e detalhado do meio onde se pretende atuar.

UNIDADE 6

Condicionantes geológicos à infiltração
de poluentes

6.1 Primeiras palavras

Um dos maiores problemas da ocupação humana em áreas residenciais ou industriais é a grande quantidade de resíduos gerados. Tais resíduos necessitam de um local para deposição; a partir daí os problemas realmente começam a se tornar aparentes.

O esgoto urbano, composto por resíduos fecais e águas “usadas”, o lixo, os rejeitos industriais e similares, além de causarem mau cheiro, atraem insetos nocivos ou não, e animais, inclusive os silvestres. Naturalmente se torna necessário criar um espaço físico para que se instalem estações de tratamento, aterros sanitários, incineradores, etc., entretanto, essas áreas, além de perderem seu valor imobiliário, acabam fazendo com que o entorno sofram o mesmo processo. Além disso, por mais criteriosamente construídas, tais infraestruturas urbanas quase sempre acabam causando algum tipo de impacto ambiental.

Outro problema derivado da ocupação humana é a poluição da água, tanto superficial quanto subterrânea. A primeira é rapidamente percebida e pode ser reversível desde que se elimine a fonte poluidora. Já a segunda ocorre de forma lenta e, por esse motivo, a poluição só é notada vários anos após o início do processo, tornando-se praticamente irreversível.

6.2 Problematizando o tema

Poluição é um termo muito utilizado e pouco compreendido. Afinal o que é? Seria o mesmo que contaminação? Poluição é tudo aquilo que o homem introduz no meio ambiente, de forma direta ou indireta, e que dele não faz parte. Trata-se de um termo “humano”. Já contaminação pode significar exatamente a mesma coisa, com a diferença de ser irreversível. Vamos aqui dar um exemplo fácil de ser compreendido. Se considerarmos como ambiente inicial uma bacia de areia seca e nela colocarmos água pura, estaremos poluindo aquele ambiente. Agora se, ao invés água pura, colocarmos água do mar estaremos contaminando aquele ambiente inicial. A razão? Para despoluir basta parar de colocar água pura e retirar a que ali se encontra. Agora, como fazer para descontaminar o ambiente inicial dos efeitos da água do mar? Responda você!

Existem vários tipos de poluição: atmosférica, do solo, hídrica, sonora, luminosa, visual, etc.

6.3 Substâncias poluidoras

A seguir, podemos citar como substâncias poluidoras líquidas a urina, os detergentes, os desinfetantes, os inseticidas, os derivados do petróleo, os derivados da decomposição do lixo, como o chorume, o amoníaco, os nitritos, nitratos, sulfatos, cloretos, os fertilizantes, os herbicidas, os fungicidas e os fenóis.

6.4 Materiais geológicos e seus comportamentos

A vulnerabilidade do terreno à poluição está intimamente ligada ao seu caráter geológico (os materiais que compõe sua litologia), à profundidade do lençol freático, ao tipo de drenagem e à densidade de sua rede. Considera-se também a maior ou menor facilidade com que um poluente penetra, se propaga e persiste no meio.

Podemos citar algumas classes de terrenos segundo sua vulnerabilidade: a) aluviões, onde a poluição representa um grande risco; b) terrenos onde a poluição pode apresentar uma velocidade de propagação elevada, como os cársticos; c) aqueles onde a propagação é rápida como calcários calcíticos e dolomíticos, além dos basaltos muito fissurados; d) areias, arenitos e terrenos vulcânicos onde a propagação da poluição é relativamente mais lenta; e) regolitos alóctones de várias origens, mistura de rochas, com propagação muito variável; f) regiões capeadas por argilas e margas, onde há uma situação especial, em que a água de superfície não afeta o aquífero, devido às propriedades impermeabilizantes desses materiais; g) regiões cristalinas, onde a situação pode se restringir à poluição de fissuras, localizada ou não entre as mesmas, dependendo da comunicação. Enfim, baseadas nessas propriedades dos materiais geológicos existem normas técnicas da ABNT, como por exemplo, a NBR 7229, específica para “construção e instalação de fossas sépticas”, a qual estabelece os ensaios e técnicas que devem ser utilizados para determinadas obras no meio físico natural.

6.5 Considerações finais

Como pudemos observar, os materiais geológicos se comportam de maneira diferente frente à poluição e seus agentes, o que deixa claro a necessidade de melhor compreensão do meio físico e dos materiais que o compõe antes de se tomar decisões que venham a comprometê-lo para sempre, seja pela sua poluição, contaminação ou ocupação de áreas inadequadas para determinadas atividades.

UNIDADE 7

Mapas geológicos e geoambientais

7.1 Primeiras palavras

Os mapas geológicos e geoambientais são representações cartográficas do material geológico e das condições geoambientais presentes e encontradas no local mapeado.

Mapa ou carta geológica é um mapa onde são encontradas informações geológicas, dentre elas podemos citar: os tipos de rochas, suas idades, as formações geológicas, os contatos geológicos, as possíveis regiões interessantes para mineração, entre outras.

Quando falamos de carta geoambiental estamos nos referindo à representação de características físico-ambientais de uma área/região geográfica, em que são mostradas as interferências humanas, um pouco de geologia de engenharia e geomorfologia. Seu objetivo é o de servir como base a possíveis ações de gestão ou planejamento do local em questão.

7.2 Problematizando o tema

Como já explicado, o mapa ou carta geológica é útil quando se faz necessário obter um conhecimento prévio da geologia local e suas variantes como, por exemplo, a exploração de recursos minerais, estudos de geologia de engenharia, etc.

Já a cartografia geoambiental, recente no Brasil, começa a ganhar importância, e seu desenvolvimento metodológico vem se aprimorando com os documentos de zoneamento geoambiental produzidos por várias instituições de ensino. Os trabalhos usam, predominantemente, as bacias hidrográficas como unidade de mapeamento e têm sido intensamente aplicados nos estudos ambientais de caráter mais amplo. Normalmente a base para o desenvolvimento de trabalhos desse gênero são mapeamentos geotécnicos, dentre os quais cabe destacar a metodologia PUCE (*Pattern-Unit-Component-Evaluation*), que é centrada na divisão da área em classes de terreno hierarquizadas; a sistemática ZERMOS (Zonas Expostas a Movimento de Solos), que trabalha a divisão do terreno para análise de risco; e as cartas elaboradas pelo IPT, que são cartas de atributos ou parâmetros em que se apresenta a distribuição espacial de uma ou mais características (geotécnicas/geológicas) do terreno.

7.3 Mapeamento geológico

O mapeamento geológico de uma área/região normalmente obedece a uma metodologia geral de trabalho que envolve a coleta de informações preexistentes, trabalhos de campo e utilização de técnicas de investigação, geologia,

direta e indireta, para que o objetivo final de interpretação da evolução geológica regional seja atingido. É óbvio que a consequência de um trabalho dessa profundidade, entre outras particularidades, é o conhecimento das potencialidades geológico/econômicas da região estudada.

7.4 Mapeamento geotécnico

O mapeamento geotécnico consiste na representação em meio cartográfico de componentes geológicos e geotécnicos de significância para o uso e ocupação do solo e subsolo em projetos, construções e manutenções. Esses, quando aplicados à engenharia civil, de minas e nos problemas ambientais. Nesse mapa é possível visualizar as unidades geotécnicas específicas de cada localidade, com informações pertinentes ao tipo de solo, substrato e relevo predominante. O planejamento urbano, como forma de favorecer o desenvolvimento através da regulação do uso e da ocupação do solo urbano e a promoção do ordenamento do território, deverá contribuir para a melhoria das condições de vida da população, promovendo a eficiência administrativa e a qualidade ambiental.

7.4.1 Técnicas de mapeamento geotécnico

Sistemática IG/UFRJ: baseia-se em trabalhos predominantemente associados a movimentos de massa e processos de ocupação, realizados no Rio de Janeiro e em outras áreas próximas, utilizando escalas desde 1:50.000 até maiores, de 1:10.000. Trata-se do grupo que apresenta a maior experiência de trabalho em escalas maiores que 1:10.000 (BARROSO, CABRAL & MALTA, 1993).

Sistemática UFRGS: a metodologia utilizada aborda aspectos relacionados aos solos, correlacionando-os com características geotécnicas e pedogenéticas (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998).

Sistemática IG/SP: fundamenta-se na elaboração de diversos documentos cartográficos com base no uso dos conceitos de tipos de terrenos, tendo como finalidade a aplicação no planejamento da ocupação do solo, na avaliação de aquíferos e de áreas de maior fragilidade (ZAINE, 2000).

Sistemática EESC/USP: foi proposta por Zuquette (1987; 1993), em seus trabalhos faz uma análise crítica da cartografia e do mapeamento geotécnicos, mostrando suas importâncias para o uso e ocupação do solo, além de apresentar uma proposta metodológica de elaboração de cartas geológico-geotécnicas (Proin/Capes & Unesp/IGCE, 1999). O grupo de Geotecnia da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP), do qual o professor Zuquette faz parte, desen-

volveu trabalhos utilizando a sistemática em questão na região centro-leste do estado de São Paulo (Ribeirão Preto, Franca, etc.), além de outros municípios, tais como: Fortaleza, Cuiabá, Ouro Preto, etc. (ZUQUETTE & NAKAZAWA, 1998). Zuquette (1987; 1993) esclarece que sua proposta metodológica baseia-se em um processo científico de investigação da natureza, combinando os três métodos científicos apresentados por Vargas (1985), que são: o dedutivo, o indutivo e o experimental. Nesse contexto, o objetivo da sistemática proposta é estudar e analisar o meio físico e suas relações, com a finalidade de elaborar documento cartográfico que seja aplicado ao planejamento da ocupação de uma determinada área ou região. A metodologia EESC/USP é dividida em três fases, que são as seguintes:

- 1ª fase: esquematização do problema a ser investigado; formulação de uma hipótese de trabalho; estabelecimento dos atributos do meio físico a serem analisados, conforme a inter-relação com outros atributos e a finalidade do estudo.
- 2ª fase (indutiva e criativa): criação de teorias por meio de hipóteses indutivas para classificação do meio físico; divisão da área em unidades (zonas homogêneas), em função das propriedades e das relações dos atributos analisados; princípio utilizado corresponde ao zoneamento geotécnico.
- 3ª fase: dos métodos experimentais; comprovação da hipótese formulada, por meio da realização de ensaios e tratamento estatístico dos resultados (ZAINÉ, 2000). Segundo Zuquette (1987), a sistemática EESC/USP baseia-se na definição de quatro classes de documentos cartográficos de representação dos atributos obtidos e/ou avaliados:

1. mapas básicos fundamentais (topográfico, geológico e das águas);
2. mapas opcionais (pedológico, geofísico, geomorfológico, climático e de ocupação atual ou prevista);
3. mapas auxiliares (eventuais),
4. cartas derivadas ou interpretativas: erodibilidade, escavabilidade, de disposição de resíduos, fundação, estabilidade de taludes, vulnerabilidade das águas subterrâneas, etc.

Zuquette (1993) apresenta mais quatro tipos de cartas geotécnicas: carta de potencial à corrosividade; carta de vulnerabilidade das águas subterrâneas; carta de escoamento superficial e infiltração, e carta potencial de ocupação agrícola.

7.5 Considerações finais

Conforme pôde ser observado, tanto o mapeamento geológico quanto o mapeamento geotécnico são de grande importância para o planejamento e compreensão do meio físico. Fazem parte do conhecimento básico que o profissional da área ambiental, principalmente o engenheiro ambiental, precisa necessariamente ter para uma boa compreensão e domínio.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais nb41-nbr 7229. Rio de Janeiro : ABNT, 1981. 37p.
- AGUIAR, R. L. *Análise do mapeamento geotécnico nos processos de gestão ambiental: bases conceituais para aplicação no Distrito Federal (DF)*. 1994. 88 p. Trabalho de Conclusão de Curso - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos- SP, 1994.
- AMARAL, I. A. *Investigando a Terra*. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1973. 453 p. v. 1.
- BARROSO, J. A; CABRAL, S; MALTA, C. S. Subsídios geológico-geotécnicos como apoio ao Plano Diretor do município do Rio de Janeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., 1993, Poços de Caldas. *Anais...* São Paulo, ABGE, 1993. v. 2, p. 167-176.
- BITAR, O. Y; CERRI, L. E. S; NAKAZAWA, V. A. Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil. In: SIMPOSIO LATINO AMERICANO SOBRE RIESGO GEOLOGICO URBANO, 2., 1992, Pereira, Colômbia, *Anais...* Pereira, p. 35-41.
- BOTELHO, R. G. M. (org.). *Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos Técnicas e Aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 57-99.
- BRANCO, P. M. *Dicionário de Mineralogia e Gemologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 608 p. il.
- CAPUTO, Homero Pinto, *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações*
- CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia Prática*. Rio de Janeiro: CPRM, 1994. 372 p. il.
- CERRI, L. E. S. Carta geotécnica: contribuições para uma concepção voltada as necessidades brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6., 1990, Salvador. *Anais...* Salvador, ABGE, 1990, v.1, p. 309-317.
- CERRI, L.E.S. et al. Cartas e mapas geotécnicos de áreas urbanas: reflexões sobre as escalas de trabalho e proposta de elaboração com o emprego do método de detalhamento progressivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 8., 1996, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro, ABGE, 1996, v. 2, p. 537-548.
- CHIOSSI, N. J. *Geologia Aplicada à Engenharia*. São Paulo: EPUSP, 1975.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo: Edgard Blücher; EDUSP, 1974. 149 p.
- _____. Geomorfologia. 2, ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 188 p.
- DANA, E. S.; FORD, W. E. *A textbook of mineralogy - with an extended treatise on crystallography and physical mineralogy*. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 1932. 851 p.
- DEER, W. A; HOWIE, R. A; ZUSSMAN, Y. *Minerais constituintes das rochas: Uma introdução*. 1. ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966. 358 p.
- EHLERS, E. G; BLATT, H. *Petrology: Igneous, Sedimentary and Metamorphic*. San Francisco: W.H. Freeman and Company, 1982. 732 p.
- ERNST, W. G. *Minerais e Rochas*. São Paulo: Blucher S. A, 1971. 162 p.
- FÁVERA, J. C. D. *Fundamentos da Estratigrafia Moderna*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001, 264 p

- FAO-UNESCO (Ed.) (1974–1981). Soil Map of the World. 18 Karten 1:5 Mio. UNESCO, Paris.
- FAO (Ed.) (1994). Soil map of the world – revised legend with corrections. ISRIC Technical Paper, Wageningen. ISBN 90-6672-057-3
- FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J. *Hidrogeologia Conceitos e Aplicações*. Pernambuco: CPRM/ LABHID/UFPE, 1997. p. 109-132.
- FERNANDES, A. B. Estudo da Mecânica dos Solos. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS, 13., 2006, Campinas. *Anais...* Campinas: [s.n.], 2006.
- FREITAS, M. W. D; CUNHA, S. B. Geossistemas e Gestão Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio São João-RJ. In: V SIMPÓSIO DE NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA E I ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA, 2004, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: editora da UFSM, 2004.
- GIANNINI, P. C. F. Depósitos e Rochas Sedimentares. In: Teixeira, W. et al. (Coord.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de textos, 2001. p. 286-304.
- GIRARDI, V. A. V. *Metamorfismo e seus produtos*. São Paulo: EDUSP, 1979. 116 p.
- GROUT, F. F. *Petrography and Petrology - A Textbook*. New York: McGraw-Hill, 1932. 522 p.
- GUERRA, A. T. *Dicionário Geológico-Geomorfológico*. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.
- HENRICH, E. W. *Microscopic identification of minerals*. 1. ed. New York: McGraw Hill, 1965. 414 p.
- HUGHES, C. J. *Igneous Petrology* (Developments in Petrology, 7). Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company, 1982. 551p.
- HYNDMAN, D. W. *Petrology of Igneous and Metamorphic Rocks*. New York: McGraw-Hill, 1985. 786 p.
- INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. *Engineering geological maps: a guide to their preparation*. Paris: Unesco Press, 1976. 79 p.
- INSTITUTO de PESQUISAS TECNOLÓGICAS (São Paulo, SP). *Mapeamento Geomorfológico do Estado de São Paulo*. São Paulo, 1981. Escala 1:500.000.
- JACOMINE, P. K. T. A nova versão do sistema brasileiro de classificação de solos. *Revista brasileira de ciência do solo*, Viçosa, v. 31, n. 6, nov./dez. 2007.
- JENNYS, H. 1994. *Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology*. New York: Dover Press, 1941. pdf file format.
- JORGE, F. N.; UEHARA, K. Águas de Superfície. In: OLIVEIRA, A. M. S; BRITO, S. N. A. *Geologia de engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.
- LEINZ, V.; AMARAL, S. E. *Geologia Geral*. 5. ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1972.
- KLEIN, C.; HURLBUT, C. S. *Manual of Mineralogy - after J.D. Dana*. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1993. 681 p.
- KRYNINE, D. P.; JUDD, W. R. *Principios de Geologia y Geotécnica*. Barcelona: Ediciones Omega, 1961.
- LEITE, J. C.; ZUQUETTE, L. V. Prevenção da contaminação e poluição de aquíferos: a utilização de liners. *Geociências*, São Carlos - SP, v. 14, n. 1, p. 167-178, jan./jun. 1995.
- LEGGET, R. F. *Geology and Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1962.

LEGGET, R. F.; KARROW, P. F. Handbook of Geology in Civil Engineering. *Periódicos de Geologia de Engenharia*, São Paulo - SP: McGraw-Hill, 1983.

LEPSCH, F. I. *Formação e Conservação dos solos*. São Paulo: Oficina de textos, 2002.

LOLLO, J. A. *O uso da Técnica de Avaliação do Terreno no Processo de Elaboração do Mapeamento Geotécnico: Sistematização e Aplicação na Quadricula de Campinas*. 1996. 250 p. Tese (Doutorado) – EESC/USP, São Carlos, 1996.

MACIEL FILHO, C. L. *Introdução à Geologia de Engenharia*. Santa Maria, RS: Editora da Universidade Federal de Santa Maria, 1997.

MACKENZIE, W. S.; DONALDSON, C. H.; GUILFORD, C. - *Atlas of igneous rocks and their textures*. 1. ed. New York: Longman Scientific & Technical, 1982. 148 p.

MAITRE, R. W. *A classification of igneous rocks and glossary of terms*. 1. ed. New York: Blackwell Scientific Publications, 1989. 193 p.

MATULA, M. Principles and types of engineering geological zoning. *Mem. Soc. Geol. Int.*, Itália, 1976, n. 14, p.327-336.

MOREIRA, C. V. R.; PIRES NETO, A. G. Clima e Relevo. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. *Geologia de engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. ANAIS DO XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA – 05 a 09 de setembro de 2005 – USP 3615.

NAKAZAWA, V. A. et al. Cartografia geotécnica: a aplicação como pressuposto. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 2., 1991, São Paulo. *Anais...* São Paulo: SBG/SP-RJ, 1991. p. 329-336.

OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. *Geologia de Engenharia*. São Paulo - SP: ABGE, 1998.

PERINOTTO, J. A. J. Análise Estratigráfica da Formação Palermo na Bacia do Paraná. 1992. 99 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1992.

POP, J. H. *Geologia Geral*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1979

PRANDINI, F. L. et al. Cartografia geotécnica nos planos diretores regionais e municipais. In: BITAR, O.Y. (coord.). *Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 4.4, p. 187-202.

PROIN/CAPES e UNESP/IGCE. *Material Didático: arquivos de transparências (CD)*. Rio Claro: Departamento de Geologia Aplicada, 1999.

RAGLAND, P.C. *Basic Analytical Petrology*. New York: Oxford University Press, 1989. 369 p.

RAHN, P. H. *Engineering Geology - An Environmental Approach*. Amsterdam: Elsevier, 1986.

RAYMOND, L. A. *Petrology: The study of Igneous, Sedimentary, and Metamorphic Rocks*. EdUSP: São Paulo.

RIBEIRO, H. J. P. S. *Estratigrafia de Seqüências*. Local São Leopoldo - RS: Unisinos, 2001. 428 p.

RIOS, J. L. P. *Curso de Sedimentologia*. Rio de Janeiro: CEFET, 1990.

_____. *Etudes des Courants Turbulents par Anemometrie Laser*. 1979. Tese de Doutorado - INPG - Grenoble, 1979.

ROSS, J. L. S. O Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a Questão da Taxonomia do Relevo. *Revista da Pós-graduação da USP*, São Paulo, n. 6, 1992.

- SEER, H. J. *Evolução Tectônica dos Grupos Araxá, Ibiá e Canastra na Sinforma de Araxá, Áraxa, Minas Gerais*. 1999. 267 p. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.
- SCHEIDEGGER, A. E. *Theoretical Geomorphology*. 2. ed. New York: Springer-Verlag, 1970.
- VARGAS, M. *Origem e desenvolvimento da Geotecnologia no Brasil*. Quipo, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 263-279, 1985.
- VARNES, D. J. *The logic of engineering geological and related maps: a discussion of the definition and classification of map units, with special references to problems presented by maps intended for use in civil engineering*. Geological Survey. Washington, USA: Professional Paper 837, 1974. 48 p.
- SCHAETZEL, R; ANDERSON S. *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge: Editora: Cambridge, 2005.
- SUGUIO, K. *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo: EdUSP, 1973. 317 p.
- _____. *Rochas Sedimentares*. São Paulo: EDUSP, 1980. 500 p.
- TEIXEIRA, W. et al. *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos 2000. 558 p.
- VARGAS, Milton, *Mecânica dos Solos*. São Paulo: Editora Mc Graw Hill do Brasil 1981.
- ZAINE, J. E. *Mapeamento geológico-geotécnico por meio do método do detalhamento progressivo: ensaio de aplicação na área urbana do município de Rio Claro (SP)*. 2000. 149 p. Tese de Doutorado (Curso de Pós-Graduação em Geociências, Área de Concentração: Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista/Unesp, Rio Claro, 2000.
- ZUQUETTE, L. V. et al. *Carta do potencial de risco à contaminação das águas subterâneas e do potencial agrícola, região de Ribeirão Preto, SP, Brasil*. *Geociências*, Rio Claro, v. 12, n. 2, p. 531-540, 1993.
- _____. *Methodology for Specific Engineering Geological Mapping for Selection of Sites for Waste Disposal*. In: INTERNATIONAL CONGRESS OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGIST, 7, 1994, Lisboa. *Proceedings...* Lisboa: A.A. Balkema, 1994, v. 4 p. 2481-2489.
- ZUQUETTE, L. V. *Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para as condições brasileiras*. 1987.3 V.. Tese de Doutorado - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1987.
- _____. *Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração*. 1993. 2. v. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1993.
- ZUQUETTE, L. V.; NAKAZAWA, V. A. *Cartas de Geologia de Engenharia*. In: OLIVEIRA, A. M. S.; BRITO, S. N. A. (Orgs.). *Geologia de Engenharia*. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998. cap. 17, p. 283-300.
- WAHLSTROM, E. E. *Igneous Minerals and Rocks*. New York: John Wiley & Sons, 1958. 367 p.
- WERNICK, E. *Enclaves e seu Significado Geológico*. *Geociências*. Rio Claro, v. 2, p. 87-96, 1983.
- WILLIAMS, H.; TURNER, F. J.; GILBERT, C. M. *Petrografia - Uma Introdução ao Estudo das Rochas em Seções Delgadas*. São Paulo: EdUSP, 1970. 445 p.
- WINKLER, H. G. F. *Petrogenesis of Metamorphic Rocks*. New York: Springer-Verlag, 1976. 334 p.
- YARDLEY, B. W. D. *Introdução à petrologia metamórfica*. Brasília: UNB, 1994. 34 p.

SOBRE O AUTOR

Adail Ricardo Leister Gonçalves

Geólogo, Mestre em Energia Nuclear Aplicada à Agricultura pelo CENA-ESALQ-USP, Doutor em Geologia Geral e de Aplicação – Geologia Ambiental – IG-USP. Especialista em Terrenos Sedimentares – UNISINOS - RS, Ensino de Geociências no Terceiro Grau – IG-UNICAMP- Campinas – SP, Ensino a Distância pelo Instituto Politécnico de Turin – Itália. Professor do Departamento de Engenharia Civil da UFSCar.

