

Prefácio



Esta é a segunda edição do livro intitulado *Geologia do Quaternário e Mudanças Ambientais*, publicado em 1999 pela Paulo's Comunicações e Artes Gráficas, com reimpressão em 2001. Agora, vem a lume por meio da Editora Oficina de Textos (São Paulo). O conteúdo foi ampliado, para torná-lo mais condizente com o título, e a redação foi inteiramente revisada.

A obra é composta de 12 capítulos, dos quais o primeiro é excepcionalmente longo e inicia-se com discussões conceituais sobre o Período Quaternário, que estiveram particularmente acirradas nos últimos cinco anos. Seguem-se os capítulos revistos do livro anterior, que tiveram a sequência mais bem sistematizada. O último deles aborda "As pesquisas aplicadas do Quaternário", que visam justificar a importância da prática desses estudos.

Nas últimas décadas, surgiram diversos cursos universitários dedicados ao ensino da Gestão Ambiental e da Engenharia Ambiental. Além disso, nos últimos cinco anos, na cidade de São Paulo, teria ocorrido a duplicação do número de cursos de pós-graduação *lato sensu* (especialização) e *stricto sensu* (mestrado e doutorado), dos quais muitos versam sobre questões ambientais. Uma das falhas na maioria desses cursos é a completa ausência de disciplinas dedicadas ao ensino de assuntos tratados neste compêndio, quando se sabe que a Geologia do Quaternário pode ser considerada praticamente como equivalente à Geologia Ambiental.

Este livro visa fornecer os subsídios necessários à melhor compreensão dos processos e produtos envolvidos nas mudanças ambientais naturais e antrópicas da Terra durante o Quaternário. Desse modo, pretende-se que ele seja um manual introdutório de grande utilidade não somente aos geocientistas (geólogos, geofísicos, geógrafos e meteorologistas), mas a todos os pesquisadores envolvidos com problemas ambientais (agrônomos, biólogos, engenheiros ambientais, civis e florestais).

Não há dúvida de que os conhecimentos aqui contidos são imprescindíveis ao equacionamento e à minimização dos impactos ambientais causadores de deterioração das condições ambientais, bem como ao enfrentamento dos gravíssimos problemas de recursos naturais renováveis e não renováveis da Terra.

Finalmente, acreditamos ser cabível enfatizar que, contrariamente à maioria dos livros-texto, que são baseados essencialmente em compilação bibliográfica, a presente obra contém muitas ideias originais do autor e de colaboradores. Destes, tomamos a liberdade de destacar o Doutor Louis Martin, da França, na ocasião integrante do quadro de pesquisadores do atual Institut de Recherche pour le Développement (IRD), do Ministério de Relações Exteriores da França, com o qual tive o grande prazer de realizar pesquisas no litoral brasileiro durante 25 anos (1974-1999).

São Paulo, 31 de março de 2010

Kenitiro Suguio

norte da Europa (Escandinávia) foram estabelecidas várias fases de paleoclimas baseadas em zonações palinológicas, com durações variáveis de centenas a milhares de anos (Quadro 1.1).

A cronologia do Quaternário

Os depósitos sedimentares do Quaternário distribuem-se amplamente sobre os continentes e fundos oceânicos, com espessuras geralmente delgadas e várias evidências cronológicas.

Embora se considere, hoje em dia, que o conteúdo biológico (restos de fauna e flora) do Quaternário não seja um bom indicador cronológico, uma das primeiras tentativas nesse sentido foi feita em 1833 por C. Lyell, com o uso de assembleia de malacofauna marinha. Em depósitos continentais com restos fósseis de mamíferos extintos, estabeleceu-se uma cronologia baseada na evolução desses animais.

Em regiões afetadas pelas glaciações quaternárias das calotas alpina, escandinava e norte-americana (laurençiana) têm sido executados estudos cronológicos baseados na sedimentologia e palinologia dos depósitos glaciais e interglaciais.

Em países com vulcões ativos do Quaternário, como o Japão e a Islândia, executam-se pesquisas tefrocronológicas (cinzas vulcânicas). Existem ainda, como métodos cronológicos úteis nas correlações mundiais quaternárias, os que empregam o paleomagnetismo e as variações das razões $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Em termos de cronologia absoluta, além da dendro-

cronologia e da varvecronologia, têm sido utilizados vários métodos radiocronológicos (radiocarbono etc.).

O Quaternário representa o período de grande intensificação das atividades antrópicas e, além disso, os tempos mais próximos ao presente dispõem de informações bem mais abundantes que os períodos geológicos mais antigos. Desse modo, para se pensar em tempos futuros com base no passado e no presente, Kaizuka (1987) usou a escala logarítmica – exceto entre 100 anos A.P. (Antes do Presente) e D.P. (Depois do Presente) –, como na Fig. 1.1, que pode ser considerada mais adequada que o Quadro 1.1. Por outro lado, as designações futuro atual, futuro próximo, futuro médio e futuro remoto não são usuais em geociências, e representam tentativas de tradução de termos em japonês sugeridos por Umezao (1967).

Finalmente, quando terá início o Quaternário? A adoção de um novo tempo geológico chamado Quinário ainda parece prematura, pois o termo Quaternário continua adequado. O início do Quinário dependerá do modo de ser do próprio homem na Terra. Chemekov (1982) descreveu os depósitos tecnogênicos, originados pela atividade humana, mas representou-os em mapa do Quaternário.

O homem e o Quaternário

Em geral, pensa-se que os primeiros homens tenham surgido na Terra no fim do período Neógeno, porém não se sabe exatamente quando foram introduzidos os primeiros instrumentos líticos. Não há dúvida de que, bem antes de tais ins-

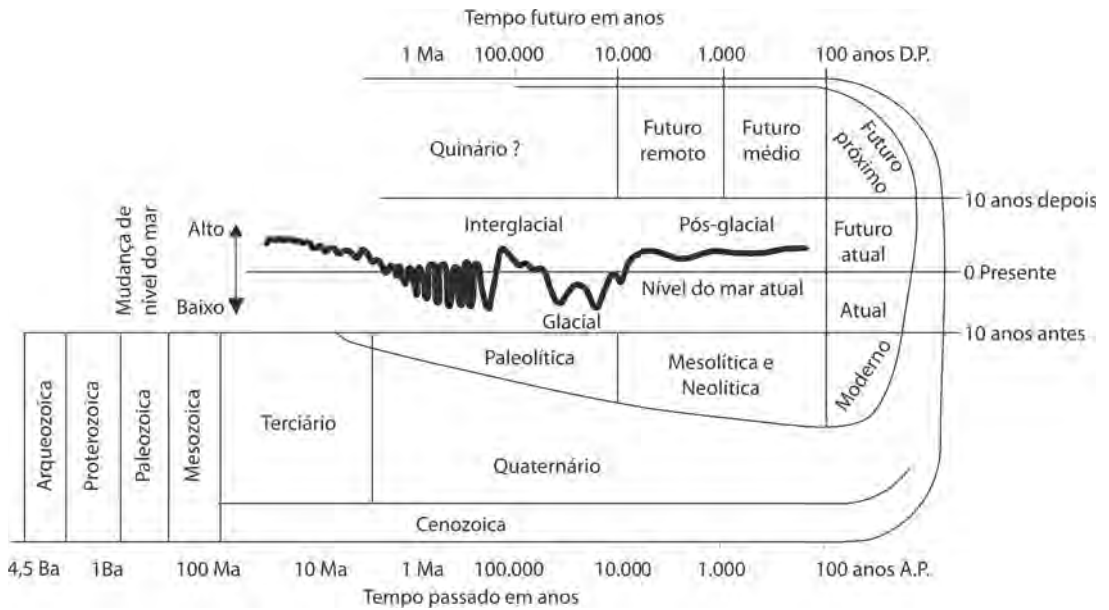


Fig. 1.1 Subdivisão dos tempos geológicos passados, presentes e futuros (Kaizuka, 1987), com ênfase para o período Quaternário

trumentos, os seres humanos primitivos chegaram a usar fragmentos naturais de rochas ou madeira. Seixos e calhaus com reafeiçoamento incipiente, certamente utilizados pelos *Australopithecus*, foram encontrados em Olduvai, no noroeste da Tanzânia (África Oriental).

Essa é a época da cultura protopaleolítica (Quadro 1.2) do Pleistoceno inferior.

A seguir, na época do *Homo erectus*, durante o Pleistoceno médio, foram difundidos os usos do machado e do martelo de pedra, esta, em geral, referida à cultura paleolítica inferior.

Quadro 1.2 CRONOLOGIA SIMPLIFICADA DA CULTURA HUMANA NO MUNDO (modificado de Yamaguchi, 1978)

Idades (anos A.P.)	Tempos geológicos		Culturas	Espécie humanas
x 10 ³	Quaternário	Holoceno	Neolítica	<i>Homo sapiens sapiens</i>
10			Mesolítica	
50		Pleistoceno	Superior	Paleolítica sup.
100			Paleolítica méd.	<i>Homo sapiens neanderthalensis</i>
500			Médio	Paleolítica inf.
1.000	Inferior	Protopaleolítica	<i>Australopithecus</i>	
1.800	Neógeno			

As grandes glaciações, seus depósitos e suas causas **2**

2.1 O QUE É UMA GELEIRA?

2.1.1 A formação de uma geleira e o seu fluxo

Como já foi mencionado no Cap. 1, a descoberta da idade do gelo do Quaternário iniciou-se com a observação das geleiras atuais nos Alpes suíços. A ocorrência de gigantescos caudais de material tão sólido como o gelo, escoando como verdadeiros rios entre os vales alpinos, não poderia deixar de intrigar os geocientistas e físicos que conheceram o fenômeno.

O mecanismo de fluxo plástico da geleira em função da gravidade, descoberto por H. B. de Saussure (1740-1799), seria, no início do século XIX, comprovado por medidas de velocidades de fluxo na superfície das geleiras por L. Agassiz (1807-1873). Hoje em dia, acredita-se que a movimentação da geleira ocorra, no fundo, pela repetição dos fenômenos de congelamento e degelo, e, na superfície, pela deformação dos cristais de gelo (Wakahama, 1978).

A neve que cai na região montanhosa possui densidade em torno de 0,1, mas, pela superposição de camadas sucessivas, depois de cerca de um ano chega a 0,5, quando passa a chamar-se nevado (*firn*). Pela união dos pontos que representam o limite topográfico inferior, até onde ocorre o nevado, define-se a linha de neve perene, onde a tempera-

tura média do ar é de cerca de 0°C. Em locais de altitudes e latitudes altas, acima da linha de neve perene, podem ser acumuladas camadas sucessivas que, ao aumentar a densidade acima de 0,8, transformam-se em gelo de geleira pela repetição dos fenômenos de fusão e congelamento. Enquanto a montante se processa o empilhamento de camadas sucessivas de neve na chamada zona de acumulação, a jusante ocorre o consumo da geleira por fusão, originando a zona de ablação (Fig. 2.1). O limite entre essas zonas coincide com a linha de neve perene mencionada. Quando o suprimento supera o consumo durante um tempo suficientemente longo, essa linha desce para menores altitudes, isto é, a geleira avança. Quando acontece o contrário, ela sobe, e a geleira recua. Entretanto, as observações realizadas por várias décadas, sobre as relações entre a dinâmica glacial e as oscilações climáticas, têm mostrado que elas não são tão simples como parecem à primeira vista.

As pesquisas sobre o fluxo das geleiras, realizadas por testemunhagens e trincheiras, têm mostrado que na zona de acumulação os vetores de velocidade apontam para baixo, e na zona de ablação, para cima; além disso, as máximas velocidades são encontradas nas vizinhanças da linha de neve perene.

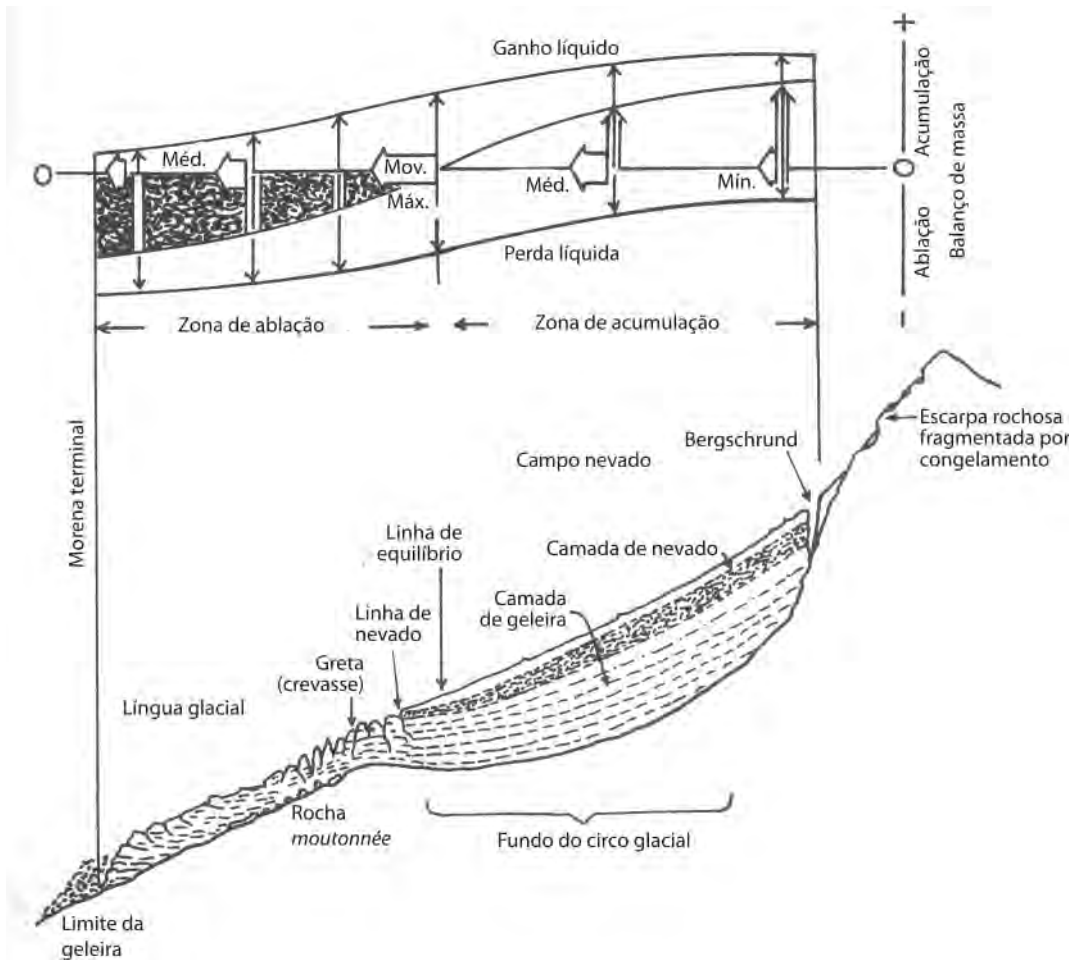


Fig. 2.1 Representação esquemática, em corte longitudinal, de uma geleira tipo alpino. Indicam-se as zonas de acumulação e de ablação, bem como alguns dos nomes atribuídos às feições deposicionais e erosivas devidas às geleiras

2.1.2 A topografia glacial e os depósitos sedimentares

Apesar da velocidade de fluxo bastante lenta, de aproximadamente 100 m/ano, a capacidade de transformação da fisiografia da superfície terrestre pelas geleiras é amplamente reconhecida (Fig. 2.2).

Desse modo, o grande volume de fragmentos rochosos transportado no interior da geleira, através do vale gla-

cial com típica seção transversal em "U", promove a formação dos circos glaciais (anfiteatros de erosão glacial), de estrias glaciais (*glacial striations*) e calhas glaciais (*glacial grooves*) etc. (Fig. 2.3)

Diversos outros termos relacionados à topografia ou aos depósitos sedimentares de geleiras têm sido sugeridos, e há até alguma confusão no seu uso. O termo *morena* (*moraine*), por

8.4 OS MOVIMENTOS CRUSTAIS GLACIOISOSTÁTICOS

8.4.1 As mudanças de paleolinhas de costa

Os movimentos crustais quaternários são mais facilmente detectados ao longo das linhas de costa, onde os continentes (ou terras emersas em geral) e os oceanos entram em contato, porque os soerguimentos ou as subsidências de áreas emersas manifestam-se sob as formas de avanço ou de recuo de linhas de costa.

As paleolinhas de costa funcionam como registros mareográficos (ou mareográficos) do passado geológico, porque, através das medidas de suas altitudes (diferenças de nível em relação ao mar), obtêm-se as cifras correspondentes aos soerguimentos ou subsidências relativos de áreas emersas. Por meio da identificação e correlação de paleolinhas de costa, com base em critérios geomorfológicos, pode-se chegar a medições

detalhadas dos movimentos crustais do Quaternário na área de estudo. Como se pode constatar na Tab. 8.1, a precisão das medidas em 10^3 anos por critérios geomorfológicos é equiparável à de medidas diretas instrumentais.

Existem observações e registros de levantamentos de movimentos crustais do substrato rochoso costeiro ao norte do Mar Báltico desde o século XVII e, a partir do fim do século XIX, começaram a ser instalados vários mareógrafos, de modo que valores bastante precisos desses soerguimentos puderam ser determinados (Fig. 8.4).

Conforme se vê na Fig. 8.4, o soerguimento no interior da baía de Bothnia processou-se à taxa de 10 mm/ano, mas a porção sul do Mar Báltico quase não sofreu levantamento e, portanto, a área exhibe forma dômica. Nessa área, durante a fase de recuo da calota da Escandinávia, formavam-se grandes lagos de água de degelo e ocorriam

Tab. 8.1 DIFERENTES GRAUS DE PRECISÃO DE MEDIDAS DE MOVIMENTOS CRUSTAIS VERTICAIS DO QUATERNÁRIO POR MÉTODO GEOMORFOLÓGICO (KAIZUKA, 1968)

A) Superfícies ou linhas geomorfológicas	B) Tempo (anos)	C) Precisão de medida de desloc. vertical (m)	D) Precisão de medida em 10^3 anos
1. Superfície erosiva colinosa	10^6	10^2	10^{-1}
2. Superfície geomorfológica ou paleolinha de costa do Pleistoceno inferior a médio	10^5	10^1-10^0	$10^{-1}-10^{-2}$
3. Superfície geomorfológica ou paleolinha de costa do Pleistoceno superior	10^4	10^0	10^{-1}
4. Superfície geomorfológica ou paleolinha de costa do Holoceno	10^3	10^0-10^{-1}	10^0-10^{-1}
5. Medidas instrumentais diretas (métodos topográficos)	10^1	10^{-3}	10^{-1}

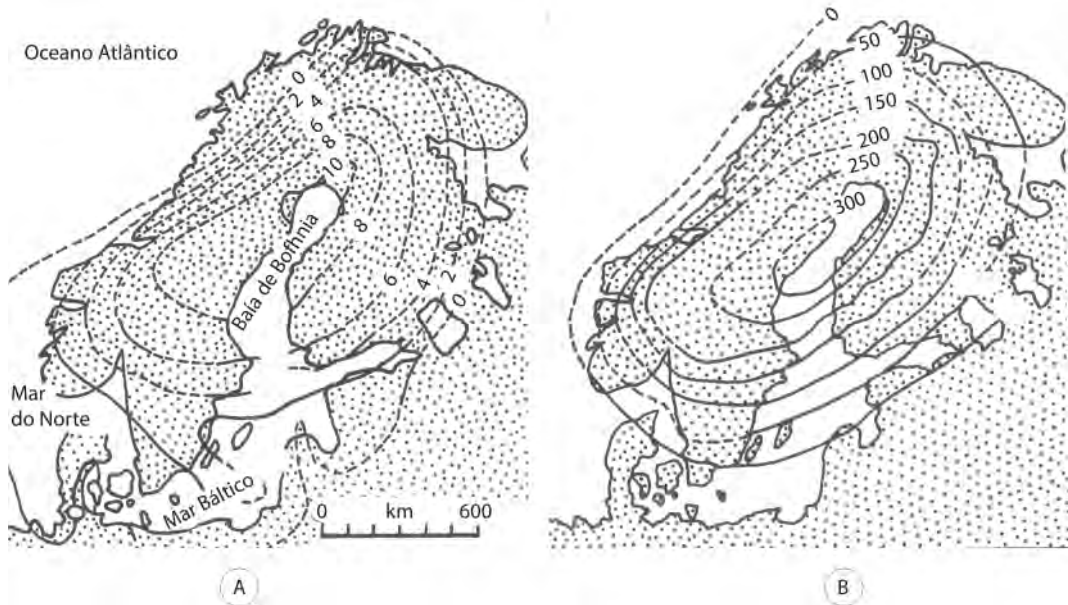


Fig. 8.4 Compensação glacioisostática pós-glacial da Escandinávia (Schmidt-Thomé, 1972): (A) levantamento atual, em mm/ano; (B) soerguimento no Holoceno (pós-Yoldia), em m

várias transgressões. As paleolinhas de costa desses lagos e mares foram intensamente pesquisadas e, dessa maneira, realizou-se a reconstituição do lago glacial Báltico, como da Fig. 8.5, passando pelo Mar de Yoldia e, para o norte, o soerguimento torna-se cada vez mais acentuado.

O levantamento máximo de 300 m nos últimos 9.000 anos ocorreu ao norte do golfo de Bothnia. Como mostra a Fig. 8.4B, a superfície de soerguimento exibe forma dômica, cujo padrão é semelhante ao exibido pelos dados mareográficos, e coincide aproximadamente com os limites da geleira no estágio glacial Weichseliano, reconstituídos por meio da distribuição espacial das morenas correspondentes. Esse processo de levantamento ainda se encontra em curso.

As paleolinhas de costa de cada etapa estão datadas pelo método do radiocarbono, o que permite ideias bastante boas das velocidades de soerguimento. Assim, na Fig. 8.5 percebe-se que, ao norte de Estocolmo, na fase até o fim do lago Ancylus, o levantamento foi muito rápido no início, chegando a ser de 1,5 cm/ano na porção central do golfo de Bothnia. Entretanto, após cerca de 6.000 anos a.C., esse levantamento tornou-se mais lento.

8.4.2 Compensação glacioisostática

Qual seria a causa desse soerguimento crustal bastante acentuado, que ocorreu nas fases glacial tardia e pós-glacial nessas regiões? De modo independente, as proposições da teoria da isostasia, por G. B. Airy e J. H. Pratt, em meados do