

- 1- Sichuan (China)
- 2- São Gabriel da Cachoeira (nióbio no Brasil)
- 3- Salar de Atacama (Chile)

Nesta edição do Fala da Terra visitamos o continente asiático e sul-americano. Em geodinâmica descrevemos o grande terremoto que assolou a China em 2008. Em seguida, no tópico dedicado aos Recursos da Terra, apresentamos o elemento nióbio, suas aplicações e exibimos as principais reservas do Brasil, um importante agente na produção deste bem natural. Na seção Geohistória resumimos a evolução da região amazônica e do maior rio do mundo nos últimos 25 milhões de anos. Em Leitura da Terra observa-se o comportamento e distribuição do calor que vem da Terra além de suas aplicações e usos. Finalmente, em Arte da Terra, apresentamos as belezas do Salar de Atacama no Chile.

Luiz Alberto Santos

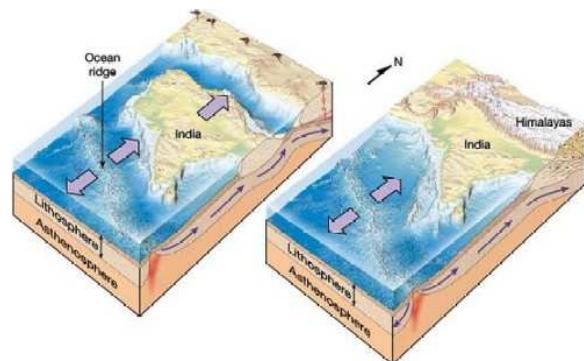
GEODINÂMICA: Terremoto de 2008 na China



Em 12 de maio de 2008 a região de Sichuan, no coração da China foi sacudida por um violento terremoto que atingiu 7,9 na escala Richter. Pelo menos 69.195 pessoas perderam suas vidas, e registraram-se 374.177 feridos além de 18.392 desaparecidos. Milhões de edificações foram completamente destruídas afetando 45,5 milhões de pessoas entre desabrigados e evacuados de áreas de risco. Em função do terremoto foram provocados deslizamentos de terra e queda de rochas nas regiões montanhosas destruindo diversas rodovias e ferrovias. Na Província de Qingchuan pelo menos 700 pessoas foram soterradas pelos deslizamentos de terra. Esses deslizamentos também causaram severos danos em represas, represaram cursos de rios ameaçando o abastecimento de água nas cidades adjacentes. Em pelo menos três montanhas foram geradas extensas fraturas. As rachaduras devido ao terremoto também desnivelaram trechos de rodovias e ferrovias e causaram ruptura em dutos de abastecimento de água. Foi um estrago e tanto. As perdas econômicas atingiram US\$ 86 bilhões.

Este terremoto teve reflexos e foi sentido em Bangladesh, Taiwan, Tailândia e Vietnã. Aftershocks - sismos secundários que ocorrem depois do evento principal – com magnitude 5 a 6 na escala Richter sacudiram a região até 3 horas depois do grande terremoto.

Esta área sismogênica no meio do continente asiático está associada ao tectonismo, ainda ativo, que proporcionou a formação da grande cadeia de montanhas do Himalaia. Essa cadeia de montanhas é a expressão geomorfológica (do relevo) produto da colisão entre as placas Indiana e da Eurásia.



Sequência de colisão da placa Indiana com a placa da Eurásia (http://jschwartz.com/GE_Images/NepalTectonicSide.jpg)



O maior desafio da ciência dos terremotos é prever quando eles irão ocorrer. Em geral empregam-se métodos estatísticos com base na frequência de recorrência de sismos em certa região aliada ao contínuo monitoramento. Uma das formas para estimar quando haverá um evento sísmico violento é através da medida de pequenas “deformações” nas áreas sísmicamente ativas. Fazendo uso de uma pequena licença poética, um terremoto não difere muito do que ocorre quando você irritadamente quebra um lápis. O pobre instrumento de escrita vai sendo deformado pelas suas mãos, curvando-se e curvando-se lentamente. Com esta deformação, antes do lápis se quebrar, há um acúmulo de energia potencial elástica. Com o prosseguimento da deformação, há um ponto a partir do qual a madeira do lápis atinge o limite de ruptura e, repentinamente, ele se parte liberando bruscamente toda a energia de uma só vez.

O mesmo ocorre com as rochas. Nas zonas sísmicamente ativas, as rochas vão sendo deformadas lentamente, neste caso pelas forças de origem tectônica. As rochas acumulam a energia gerada pela deformação até que, em algum ponto da crosta (ou da litosfera) há uma brusca ruptura. A rocha se quebra, a energia se propaga através de ondas no interior da Terra e atinge a superfície. No endereço

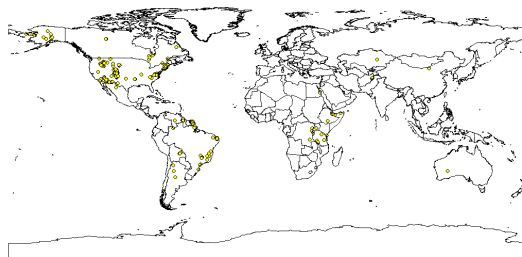
<http://www.faladatterra.com/GEODINAMICA.htm> há uma animação da propagação de um sismo gerado em uma zona de falha. Esta animação foi realizada através de uma simulação numérica sobre um modelo sintético (Modelo Marmousi) contendo inúmeras falhas.

RECURSOS: Nióbio no Brasil

O nióbio (Nb) é um elemento metálico com massa específica igual a $8,57\text{g/cm}^3$, pouco superior à do ferro, e com ponto de fusão igual a 2.468°C . À temperatura ambiente resiste bem à vários ácidos, entre eles o clorídrico (até 35%), sulfúrico (até 95%), nítrico concentrado, fosfórico, crômico, acético, fórmico e cítrico. Possui baixa resistência à oxidação e, muito importante, tem a propriedade da supercondutividade em temperaturas inferiores à -264°C .

Se você estiver lendo este texto em voz alta, tome forte fôlego para enumerar as aplicações do nióbio. Ele é empregado em eletrodos especiais para solda elétrica, na indústria nuclear devido a sua baixa captura de nêutrons térmicos, na forma de liga metálica (por exemplo para produção de jóias), em super ligas para fabricação de componentes de motores de jatos, subconjuntos de foguetes, ou seja, equipamentos que necessitem altas resistências ao calor da combustão. Adicionalmente, foram realizadas pesquisas avançadas com o metal no programa espacial Gemini, e o nióbio está sendo avaliado como uma alternativa ao tântalo para a utilização em super condutores. Estas aplicações testemunham a importância do nióbio na era moderna.

Atualmente a produção de nióbio no mundo está em 69.000 t por ano das quais 91% (cerca de 63.000 t) provém do Brasil, o maior produtor mundial.



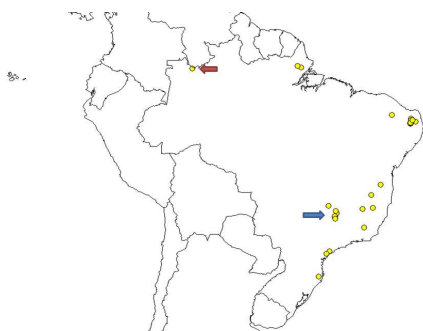
Ocorrência de nióbio no mundo (bolinhas amarelas).

O nióbio é obtido principalmente a partir de dois minerais, a columbita e o pirocloro. O primeiro é um óxido de nióbio contendo ainda tântalo, ferro e manganês ($(\text{Fe},\text{Mn})(\text{Nb},\text{Ta})_2\text{O}_6$) que ocorre em veios de pegmatito. O pirocloro, é um óxido mais complexo de nióbio, titânio e tântalo contendo ainda cálcio e sódio ($(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Nb},\text{Ti},\text{Ta})_2\text{O}_6(\text{OH},\text{F},\text{O})$) e tem a sua gênese associada à rochas alcalinas, principalmente carbonatitos (rochas ígneas que contêm mais de 50% de carbonatos (CO_3)).



Cristais de columbita a esquerda e pirocloro a direita

O Brasil detém a maior parte das reservas mundiais de nióbio, mais de 90%, alcançando 4,1 Mt (Mt = milhões de toneladas). Os recursos de nióbio no país provém principalmente do minério contendo pirocloro e encontram-se no estado do Amazonas, município de São Gabriel da Cachoeira; em Minas Gerais nos municípios de Araxá e Tapira; e em Goiás com depósitos aluvionares nos município de Ovidor e Catalão.



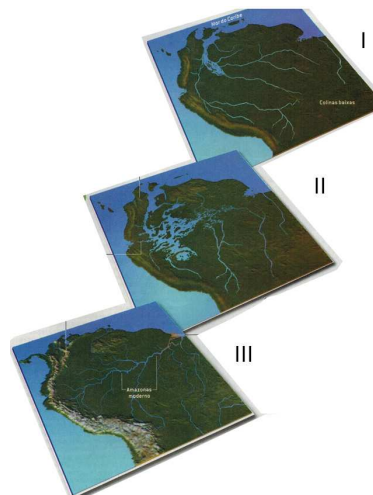
Ocorrências de nióbio no Brasil. As setas vermelha e azul destacam os reservas de São Gabriel (Amazonas) da Cachoeira e Araxá/Tapira (Minas Gerais) respectivamente.

Atualmente toda a produção nacional parte dos estados de Minas Gerais e Goiás. Os maiores recursos, contudo encontram-se no município de São Gabriel. Trata-se do complexo alcalino de Seis Lagos descoberto em 1975 pela Companhia de Recursos Minerais (CPRM) com 2,897Mt (Mt = milhões de toneladas) com teor médio de 2.81% de Nb_2O_5 , ou 81 Mt de Nb_2O_5 . Trata-se de um grande depósito – um grande elefante - localizado próximo à fronteira com a Venezuela.

O preço atual deste metal segundo a LME (London Metal Exchange) está em torno de US\$ 130,90 por quilo. São cerca de US\$ 10,5 trilhões no subsolo de São Gabriel. Tirando os custos de produção, vejamos quanto desta riqueza será efetivamente empregada para o desenvolvimento socio-econômico nacional.

GEOHISTÓRIA: O Rio Amazonas

O Rio Amazonas, sabemos, corre de oeste para leste desaguardo no Oceano Atlântico. Mas este cenário é recente em termos geológicos. Há 25 milhões de anos atrás, na virada do Oligoceno para o Mioceno, não havia o Rio Amazonas e a Cordilheira dos Andes ainda não existiam. A imensa área englobando as bacias paleozóicas do Amazonas e Solimões e dos maciços cristalinos (rochas metamórficas e magmáticas mais antigas do pré-cambriano), hoje representada por grande parcela da região norte brasileira, Peru e Colômbia, era drenada por rios que corriam para o norte, alcançando o Mar do Caribe.



Evolução da planície amazônica nos últimos a 25 milhões de anos, 15 milhões anos e atual, respectivamente I, II e III. Modificado de Scientific American nº 5, 2006.

A partir do Mioceno, devido à elevação da Cordilheira Andina causada pelo tectonismo, o regime fluvial instalado foi drasticamente alterado. Os rios que drenavam a região amazônica passaram a ficar parcialmente represados pela recém-formada cordilheira, por volta de 15 milhões de anos, tornando a região uma imensa área alagada.

Devido ao tectonismo os Andes continuaram a subir proporcionando a formação de novos sistemas de rios drenando a, cada vez mais alta, cordilheira. A natureza é econômica em energia. Ela sempre procura o caminho, digamos, mais fácil. Devido as novas barreiras montanhosas, ficou



Fala da Terra

mais econômico drenar a região, não mais para o Caribe, mas para leste. Assim os sistemas que drenavam os Andes coalesceram a grande área represada no coração da Amazônia e ali instalou-se um sistema de rios correndo para o Atlântico e cuja a calha principal é o Rio Amazonas. O Rio Amazonas atingiu sua extensão atual a cerca de 10 milhões de anos atrás.

ÉON	ERA	PERÍODO	ÉPOCA	T (MA)	
F A N E R O Z Ó I C O	Cenozóico	Quaternário	Holoceno	0.01	
			Pleistoceno	1.6	
		Terciário	Plioceno	5.3	
			Mioceno	23.7	
			Oligoceno	36.6	
			Eoceno	57.8	
			Paleoceno	66.4	
		Mesozóico	Cretáceo		144
				Jurássico	208
				Triássico	245
Paleozóico	Permiano		286		
		Carbonífero	360		
		Devoniano	408		
		Siluriano	438		
		Ordoviciano	505		
		Cambriano	570		
Proterozóico	-	-	-	2500	
Arqueano	-	-	-	3800	
	Início			4500 (?)	

Escala de tempo geológico

LEITURA DA TERRA: Energia geotérmica

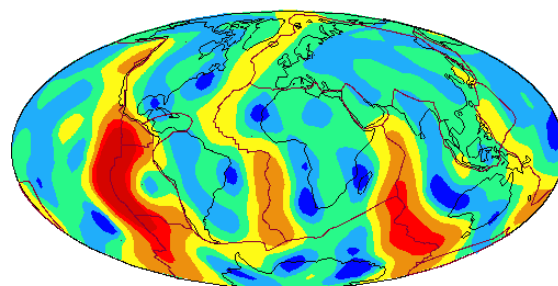
Decifrar a Terra, ou lê-la significa entender e desvendar os diversos sinais emitidos ou deixados por ela, sejam eles induzidos pelo homem - métodos geofísicos tais como a sísmica de reflexão, métodos elétricos de potencial induzido e eletromagnéticos -, ou emitidos naturalmente - método sísmico passivo, gravimetria, magnetometria etc. Resumidamente o geocientista lê e interpreta os sinais emitidos pelo planeta. Neste sentido interessa a ele desvendar a história e os processos, precisar os eventos futuros, e inferir as propriedades do subsolo.

Na escola, aprendemos nas aulas de geografia que a temperatura das rochas cresce com a profundidade. Assim, quanto mais profundo estamos, longe da superfície e Terra a dentro, maior a temperatura. Então o professor nos apresenta o chamado gradiente geotérmico - um valor que denota o aumento de temperatura por metro ou quilômetro, por exemplo, °C/m ou °C/Km.

Esse aumento de temperatura com a profundidade pode ser sentido quando adentramos em cavernas profundas ou em minas subterrâneas. Em minas muito profundas, há que se planejar toda uma engenharia de refrigeração das galerias para permitir o acesso de máquinas e, sobretudo, de pessoas, outrossim o trabalho seria impraticável.

Para finalidades geofísicas (cálculos e modelagens) é mais usual empregar o fluxo térmico, uma variável relacionada ao gradiente geotérmico, que denota a quantidade de energia térmica (calor) que passa por uma área em um determinado tempo, por exemplo mW/m² (miliwatts por metro quadrado). Quanto mais alto o fluxo térmico, mais quente é o solo da região e (normalmente) maior será o gradiente geotérmico.

O fluxo térmico varia de lugar para lugar, tal como ilustrado na Figura abaixo. O leitor atento notará que as áreas com maior fluxo térmico na superfície do globo terrestre são aquelas coincidentes com os limites divergentes das placas tectônicas. Nestas regiões há ascensão do magma muito quente o que contribui para elevação da temperatura nestas regiões.



0 40 60 85 120 180 240 350

mW m⁻²

Fluxo térmico no mundo em mW/m² (proximidades da superfície).

Em uma escala menor observam-se áreas anormalmente quentes em regiões atualmente longe dos limites divergentes de placas tectônicas. Nas proximidades de áreas vulcânicas o fluxo térmico é bastante alto. Em Owakuzawa, no Japão, o fluxo térmico é tão alto que aos turistas é oferecida uma iguaria local: ovos cozidos no calor do solo.



Região vulcânica de Owakuzawa (Japão). Zona de alto fluxo térmico.

Também em áreas onde não há tectonismo ativo atualmente, zonas cratônicas, há anomalias geotérmicas conhecidas. Um exemplo é o Circuito das Águas em Minas Gerais (Baependi, Cambuquira, Campanha, Carmo de Minas, Caxambu, Conceição do Rio Verde, Heliadora, Lambari, São Lourenço, Soledade de Minas e Três Corações). O calor residual de eventos magmáticos do período Terciário aquece a água do lençol freático proporcionando fontes quentes que são exploradas comercialmente pela indústria hoteleira e parques locais.

Finalmente, esse calor gerado pela Terra pode ser aproveitado como uma fonte segura de energia. Dentre os países que possuem usinas geotermoeletricas com capacidade de geração superior a 50 MW (Megawatts) estão: Armênia, Costa Rica, Estados Unidos, Filipinas, Indonésia, Islândia, Itália, México, Nicarágua, Nova Zelândia, Nova Guiné, Quênia e Rússia.



A usina Ohaki na Nova Zelândia produz 115 MW (Megawatts).

ARTE DA TERRA: Salar de Atacama



Ao longo de milhões de anos, à medida que as águas profundas de um antigo mar interior no norte do Chile evaporavam e davam origem a um deserto, surgiram imensos campos de sal. Ao se observar com mais atenção o que é conhecido como Salar de Atacama, percebem-se contudo, nascentes de água rasa sob a crosta de cloreto de sódio, camufladas pelo fino pó do deserto. Sendo o maior depósito de sal do Chile, essa imensa depressão mineral inclui também campos de gipsita (sulfato de cálcio hidratado) e é polvilhada por águas superficiais do tamanho de lagoas. Apesar da salinidade extrema e do sol implacável do deserto, sua rede de terras úmidas abriga uma biodiversidade surpreendente, que inclui os flamingos chilenos, os gansos dos Andes, os lhamas domesticados e os guanacos. O salar fica a 56 Km ao sul de São Pedro de Atacama.

Referências

- Bright, M., 2009 - 1001 Natural wonders you must see before you die.
- Andrade, M. R., Botelho, L.C., 1974 - Perfil analítico do nióbio, Brasília. 1974.
- Scientific American Brasil nº 5, 2006.
- U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2013.