

- 1- Yellowstone (Estados Unidos)
- 2- Península de Kola (Rússia)

Nesta edição do Jornal Fala da Terra conhecemos o mecanismo de formação dos geysers. Em Recursos apresentamos os hidratos de gás, uma possível fonte energética do futuro. Em Geohistória retornamos ao Cretáceo Médio, cerca de 100 milhões de anos atrás, e observamos seu paleo-clima. Em seguida, mergulhamos no poço mais profundo perfurado até hoje. Concluímos nossa viagem no Parque de Yellowstone.

**Luiz Alberto Santos**

### GEODINÂMICA: Geysers



Figura 1: Geysers na Islândia

Uma fonte termal provida de um sistema com fluxo de água e aquecimento que causa erupções intermitentes de água e vapor constitui um *geyser*.

Este nome originou-se de palavra islandesa que significa jato. A Islândia é um país cuja a totalidade de seu território situa-se em terreno de origem vulcânica e constitui o lar de muitos geysers. Além da Islândia destacam-se os geysers da Nova Zelândia e no Parque Nacional Yellowstone no noroeste dos Estados Unidos, ambos também originados pela atividade vulcânica pretérita. A fonte térmica para os geysers consiste de massas de rochas ainda quentes abaixo da superfície produto de atividades do passado. Essas rochas ígneas encerradas na antiga caldeira preservam o calor por milhares de anos. Isso ocorre pois as rochas são péssimos condutores de calor.



Figura 2: Geysers Old Faithful (Fiel Velho) no Parque Nacional Yellowstone

A característica marcante de um geysers é que ele sofre erupções não contínuas, mas intermitentes. Embora o acesso à subsuperfície não seja possível nestes locais, as observações de campo indicam que a maioria deles, senão todos, são alimentados por água de chuva que se infiltra solo abaixo e chega a ocupar um conduto, um tubo natural que se estende da superfície até o subsolo. A água é aquecida quando em contato com as rochas muito quentes, e é acumulada localmente em uma armadilha, um reservatório, natural. O acréscimo de volume de água muito quente vai aumentando a pressão neste reservatório, como se fosse uma panela de pressão. Quando este reservatório está plenamente preenchido por água pressurizada próxima ao ponto de ebulição na parte mais profunda, qualquer pequena queda de pressão ou aumento de temperatura faz com que



## Fala da Terra

ocorra rápida mudança de fase, água vira vapor. Este vapor gerado, sob pressão, empurra toda a coluna de água para cima e uma parcela desta escapa para superfície gerando o jato de um geysir. O escape desta água com vapor alivia a pressão no reservatório cessando o jato. O processo descrito se repete a intervalos de tempo que dependerá, de geysir para geysir, do suprimento de água, do tamanho do reservatório, da fonte ígnea e de sua temperatura.

Fiel Velho (Old Faithful) no Parque Yellowstone, o mais famoso geysir norte-americano, emite um jato de 60 metros de altura durante desde alguns minutos até uma hora.

A temperatura da água nestas fontes termais pode atingir o ponto de ebulição. Por conta das altas temperaturas as águas termais possuem maior poder de dissolução, sendo, portanto, anormalmente ricas em minerais, muitas vezes com propriedades medicinais.

### RECURSOS: Hidratos

O gelo que você gera no seu congelador, é simplesmente a mesma água que você bebe, mas no estado sólido. Abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$  e sob pressão de 1 atm (1 atmosfera, pressão que estamos sujeitos no nível do mar), a água pura se transforma em gelo.



Figura 3: Hidrato em sedimentos marinhos.

Imagine agora, uma molécula de metano, o mais simples dos hidrocarbonetos ( $\text{CH}_4$ ), envolto por várias moléculas de água. Esta estrutura no estado sólido forma um tipo simples de hidrato de gás, ou seja, metano envolto por água, ambos em estado sólido. Parece gelo seco. Os hidratos presentes em ambiente marinho tem esse metano formado a partir da transformação da matéria orgânica presente nos sedimentos.

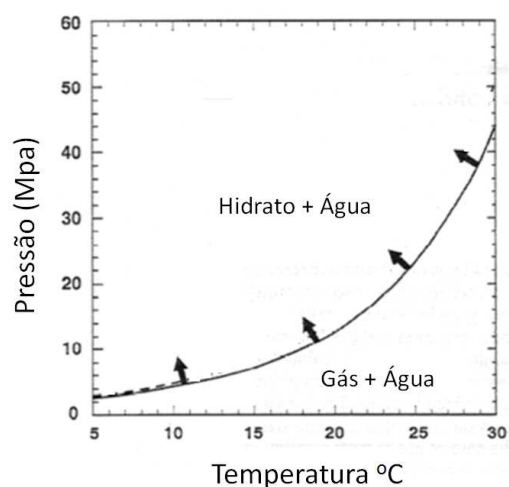


Figura 4: Curva de estabilidade dos hidratos de gás. Abaixo da curva preta há somente gás e água e acima há formação de hidrato.

Sob determinadas condições de temperatura e pressão (Figura 4), o gás se associa à água e forma o hidrato que irá ocupar os interstícios dos sedimentos. Esses hidratos disseminados pelos sedimentos encerram um grande volume de gás e constituem importantes reservas ao redor do mundo. O hidrato funciona como um esplêndido compactador de energia. Um volume de hidrato pode gerar 180 volumes de gás em condições ambientais. Há autores que advogam existir maior quantidade de gás encerrada na forma de hidratos do que todas as reservas conhecidas de gás atualmente.

Recursos de hidratos são conhecidos em diversos países, vide o mapa na Figura 5. No Brasil são conhecidas ocorrências de hidratos na Foz do



## Fala da Terra

Amazonas, na região norte, e nas águas da Bacia de Pelotas, no sul do Brasil.

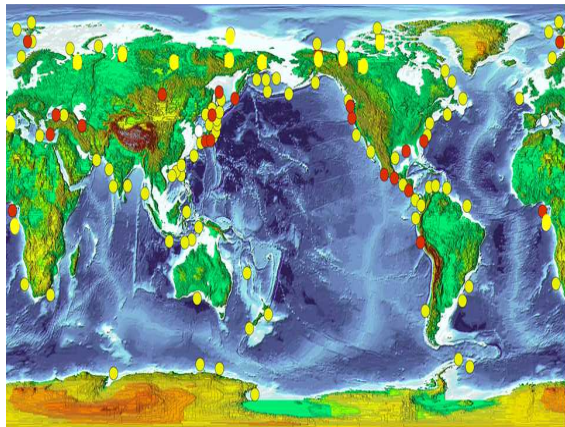


Figura 5: Mapa com ocorrências de hidratos no mundo, círculos amarelos e vermelhos.

Recentemente o Japão anunciou que iria explorar os recursos mapeados de hidratos mapeados no seu mar territorial para aproveitamento energético.

### **GEOHISTÓRIA: Aquecimento global é um fato periódico – evidências do Cretáceo**

Não quero entrar na celeuma do aquecimento global até porque não estudei bastante o assunto. Exponho a seguir, um fato curioso, que depende de fatores não antrópicos, e ocorre periodicamente na história do planeta.

O trabalho de entendimento do passado geológico, guardadas as devidas proporções assemelha-se ao de um detetive colhendo provas na cena de um crime. Na geologia e na paleontologia, contudo, as provas são poucas e o “crime” não ocorreu ontem, mas a milhares ou, mais comumente, milhões de anos atrás. Um dos pontos de partida empregados na geologia é o Princípio do Uniformitarismo que reza o seguinte: os mesmos processos internos ou externos que reconhecemos hoje também operaram sem modificações, embora sob diferentes taxas, ao longo da maior parte da história da Terra. Em poucas palavras, diz-se que o presente é a chave para o passado.

Assim se encontramos em uma determinada região fósseis de corais, plantas ou animais já catalogados, com base no uniformitarismo, podemos estimar o ambiente e o clima que reinava em um determinado período geológico.

Há várias evidências que indicam ter sido o clima do Cretáceo Médio, depois da Era dos Dinossauros (o Jurássico), aproximadamente a 100 milhões de anos atrás, anormalmente quente. Hoje sabemos que os recifes de corais estão confinados em regiões tropicais sob águas relativamente quentes. São organismos típicos de regiões com temperaturas amenas. Também temos catalogados uma série de plantas que são adaptadas somente em regiões sob temperaturas altas. E no reino animal sabemos que muitos répteis tais como os crocodilianos, que já existiam a mais de 100 milhões de anos, somente vivem em regiões tropicais. Pois fósseis de corais, crocodilianos e plantas típicas de regiões tropicais são encontrados em rochas do Cretáceo Médio nas regiões polares, uma possibilidade viável somente sob um clima bem mais quente que o atual.

Neste período o nível do mar era muito mais alto que o atual, como é evidenciado pela distribuição de rochas formadas em ambiente marinho e que atualmente afloram em terra. Estas rochas se estendem continente adentro em diversas localidades ao redor do mundo. Neste período a proporção entre terras emersas e o oceano era menor que a atual – vide Figura 6 – levando a crer que não havia uma capa permanente de gelo nos pólos.

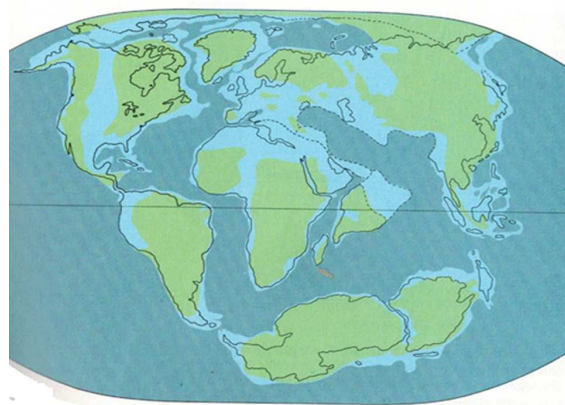




Figura 6: Mapa mundi ilustrando a distribuição de terra (verde) e água (azul claro para águas rasas e azul escuro para águas profundas) no Cretáceo.

Estudos geoquímicos (isotópicos) das rochas de ambiente marinho profundo do período Cretáceo indicam que a temperatura reinante era 15° C superior a atual. Baseado nesta evidência estima-se que a temperatura do planeta era cerca de 6° C mais alta que a atual. Hoje a diferença média de temperatura entre as regiões polares e a zona equatorial é igual a 41° C. No Cretáceo Médio essa diferença era muito menor, cerca de 26° C.

Embora a ação do homem possa estar causando desequilíbrios climáticos atualmente, lembremos que em um tempo em que ele ainda não existia ocorreram oscilações de temperatura muito fortes por fatores diversos.

#### **LEITURA DA TERRA: Indo fundo na Terra**

Em 1959 os soviéticos enviaram à Lua uma pequena sonda não tripulada. Em 20 de julho de 1969 os astronautas Neil Armstrong e Buzz Aldrin pousaram na Lua através da missão Apollo 11. Pelo menos 6 outras missões entre 1969 e 1976 foram enviadas à Lua aumentando o conhecimento sobre este astro que está a mais de 380000 Km de nós. Da mesma forma enviamos equipamentos não tripulados para superfície de Marte, a mais de 56 milhões de Km da Terra, e temos duas sondas do programa Voyager (1 e 2) lançadas na década de 1970 e que estão a caminho do espaço interestelar rumando para fora dos limites do sistema solar. Estamos aumentando nosso conhecimento longe, muito longe de nosso planeta.

Pouco se fala, mas paralelamente à corrida espacial travada pelos Estados Unidos e a antiga União Soviética, houve uma corrida em direção ao interior da Terra. Quem conseguiria ir mais fundo e em primeiro lugar ?

O projeto soviético começou em meados da década de 1960 e como resultado do planejamento foram determinados a profundidade alvo de 15 Km e a localização do poço, a Península de Kola, próximo a

fronteira com a Finlândia. A região é estável tectonicamente, livre de terremotos e com predomínio de rochas muito antigas com mais de 1.0 bilhão de anos (Proterozóico Inferior).

A perfuração do poço teve início em maio de 1970 e entre a superfície e a profundidade de 6842 m foram interceptadas rochas vulcano-sedimentares.

Interessante destacar que a medida que a profundidade aumenta, a pressão também cresce. Trata-se do efeito da, cada vez maior, coluna de rocha que jaz sobre um determinado ponto. Um efeito semelhante pode ser sentido na água. A medida que vamos mais fundo em uma piscina ou no mar, sentimos a pressão aumentando em nosso corpo e, mais sensivelmente, em nossos ouvidos. Na Terra estas pressões são bem mais altas e uma consequência deste fato é que os poros e fraturas nas rochas ficam cada vez mais fechados e selados. Assim sobra pouco espaço para água livre ou outros fluidos existirem. Contudo a cerca de 7 Km de profundidade o poço interceptou rochas fraturadas contendo água e uma quantidade anormalmente alta de hidrogênio livre. Estas observações são intrigantes e as explicações científicas ainda estão em campo especulativo.



Figura 7: Torre de perfuração do poço SG-3 na Península de Kola.

O poço prosseguiu sua perfuração interceptando rochas metamórficas (gnaisses, migmatitos, anfíbolitos etc..) e granitóides arqueanos (idades maiores que 2.5 bilhões de anos). O gradiente geotérmico inesperadamente alto comprometeu o



## Fala da Terra

avanço até a profundidade programada de 15 Km. Eis que a 12262 m a temperatura constatada era de 180°C, enquanto o esperado era 100°C. Somados aos altos custos e outras dificuldades operacionais, em 1992 a perfuração foi finalizada naquela profundidade (pouco mais de 12 Km).

A Terra tem um raio aproximado de 6370 Km, quase 60 vezes menor que a distância à Lua. As dificuldades operacionais para avançar Terra a dentro são maiores que colocar o homem no espaço. Assim, grande parte do conhecimento que temos acerca do interior de nosso planeta provém de dados geofísicos indiretos, sísmica, gravimetria, magnetometria e métodos eletromagnéticos.

O poço de Kola mal arranhou nosso planeta e constatou fatos inesperados pelos cientistas. Vejamos quantas surpresas a Terra nos oferecerá quando formos ainda mais fundo com ferramentas de observação direta mais avançadas.

### **ARTE DA TERRA: Yellowstone**

O Parque Nacional de Yellowstone tornou-se o primeiro parque nacional do mundo em 1872. Diversas atrações naturais prendem a atenção dos amantes da natureza selvagem. Rios, desfiladeiros, nascentes de águas termais, poças de lama em ebulição, alcateias, coiotes, ursos pardos, alces e os famosos geysers.

A fonte de todo calor que dá origem aos geysers, as fontes termais e às poças de lama quente é um bolsão de magma quente a 5 Km de profundidade. Há cerca de 600 mil anos atrás esse magma, alimentando uma câmara vulcânica mais rasa, foi a causa de violenta erupção proporcionando uma explosão cataclísmica. Imensa quantidade de rocha foi pulverizada cobrindo de cinzas grande parcela da América do Norte. A câmara vulcânica colapsou e foi exposta originando uma gigantesca caldeira, que foi preenchida mais tarde por lavas e cinzas.

Ainda não conheço o local, mas ele encabeça a minha lista de lugares a conhecer antes de morrer.

### **Referências**

Bright, M., 2009 - 1001 Natural wonders you must see before you die.

The Guardian – Edição 13 de março de 2013.