

## Possibilidade de ocorrência de tsunamis que podem atingir o litoral brasileiro

Jesus Berrocal<sup>1</sup>; Carlos Prates<sup>2</sup>; Celia Fernandes<sup>1</sup> (IAG/USP<sup>1</sup>, Eletronuclear<sup>2</sup>)

Copyright 2006, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no II Simpósio de Geofísica da Sociedade Brasileira de Geofísica, Natal, 21-23 de setembro de 2006. Seu conteúdo foi revisado pela Comissão Técnico-científica do II SR-SBGf mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf

### Resumo

O tsunami é uma onda oceânica gerada normalmente por terremotos com hipocentros submarinos nas zonas de subdução, mas também por outros processos, tais como, erupções vulcânicas em áreas oceânicas como a ocorrida em Krakatoa, nas Filipinas em 1883, ou por desabamentos de grandes quantidades de sedimentos marinhos na zona abissal como os do *Grand Bank*, Canadá em 1774 e 1929. Neste trabalho serão revisadas as principais fontes de tsunamis no Oceano Atlântico, com ênfase na que provocou o tsunami que destruiu Lisboa em 1755, os do *Grand Bank*, Canadá, e o tsunami que poderá ser provocado pela erupção do vulcão *Cumbre Vieja* nas ilhas Canárias.

### Introdução

sinônimo de tsunami.

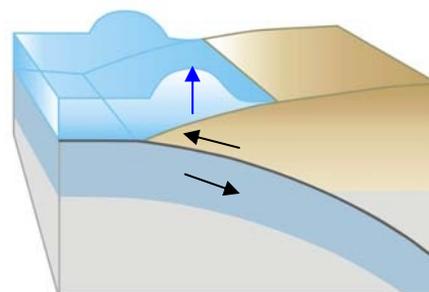
Os tsunamis são ondas oceânicas que invadem o litoral, provocando destruição pelo tamanho das ondas e, principalmente, pelo grande volume de água que carregam, que podem invadir o continente por vários quilômetros. São diferentes das ondas dos surfistas que, embora sejam muito altas, elas se desvanecem ao chegar na praia. Os tsunamis não devem ser confundidos com as marés, nem com as ondas provocadas por tempestades, o que provavelmente ocorreu na década de 1540, na Vila de São Sebastião, litoral de São Paulo quando a “casa do *Concelho*” e a Igreja Matriz foram destruídas pelo mar (Madre de Deus, 1975). O termo maremoto não é apropriado para ser utilizado como As principais causas dos tsunamis são: i) os terremotos de grande magnitude ( $M_w > 7,0$ ) com deslocamento vertical do assoalho oceânico, que ocorrem nas zonas de subdução de placas tectônicas; ii) as erupções vulcânicas nas ilhas oceânicas; e iii) os deslizamentos de grande quantidade de sedimentos das plataformas continentais ou de blocos de gelo nas regiões polares; O objetivo deste trabalho é determinar a probabilidade de ocorrer tsunamis no oceano Atlântico que possam provocar danos expressivos no litoral do território brasileiro.

### Tsunamis provocados por terremotos

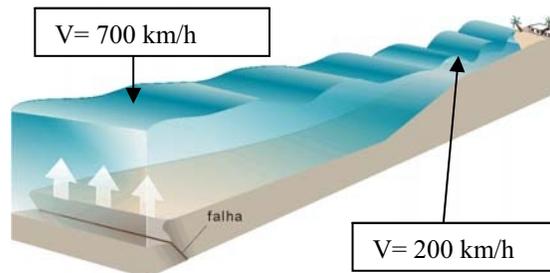
Os tsunamis provocados por terremotos somente ocorrem nas zonas de subdução de placas e normalmente quando os sismos ocorrem na porção submarina, como se mostra nas Figs. 1, 2 e 3.



**Figura 1.** Zona de subdução que dará origem ao terremoto e a geração do tsunami. As setas azuis representam o empurrão das placas tectônicas



**Figura 2.** O atrito é superado e ocorre o terremoto provocando uma elevação do assoalho oceânico que levanta a coluna de água, o que dá origem ao tsunami.

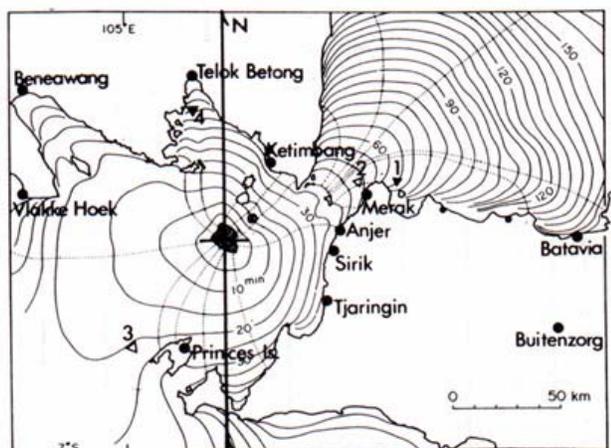


**Figura 3.** A onda do tsunami se propaga na direção do litoral, onde as ondas diminuem de velocidade provocando o aumento de sua altura e arrebatando na praia com ondas enormes que provocam destruição e mortes.

Dependendo da magnitude do sismo essas ondas podem atingir várias dezenas de metros e podem se propagar até o outro extremo dos oceanos, com uma velocidade de 800 km/h, chegando a provocar destruição e mortes após terem viajado por mais de 20 horas, como ocorreu no tsunami que seguiu ao terremoto de Chile de maio de 1960.

### Tsunamis provocados por erupções vulcânicas

Durante as erupções vulcânicas em regiões oceânicas uma grande quantidade de material rochoso é lançado dentro do oceano, provocando ondas gigantescas, que tem uma frequência maior que as ondas provocadas pelos terremotos. O caso mais famoso deste tipo de fenômeno ocorreu em Krakatoa em agosto/1883 (Fig. 4).



**Figura 4.** Erupção do Krakatoa, localizado entre as ilhas de Sumatra e Java, Observe a menor velocidade das ondas na direção NE-E. Ref. Pararas-Carayannis (1997).

Os efeitos do tsunami principal foram devastadores no norte de Java e sul de Sumatra. Ondas de até 37 m destruíram em uma hora, 295 cidades e povoados, afogando 37.417 pessoas. Com essa erupção dois terços da ilha onde estava localizado o vulcão Krakatoa desapareceram. Mesmo assim esse tsunami não foi percebido com efeitos destrutivos a grandes distâncias.

### Fontes de tsunamis no Oceano Atlântico

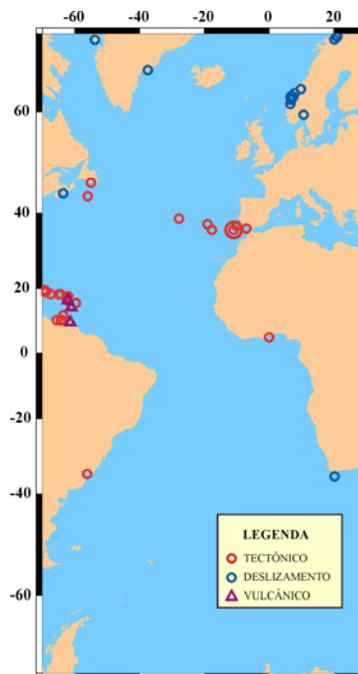
As seguintes fontes têm provocado tsunamis no Oceano Atlântico:

Terremotos de grande magnitude, como o de Lisboa de 1755, e outros no Atlântico;

Deslizamento de massas submarinas, como os tsunamis do Grand Bank, Canadá, ocorridos em 1774 e 1929;

Erupções vulcânicas, como os tsunamis que ocorrem nas Antilhas provocados por erupções vulcânicas.

No mapa da Fig. 5 se mostram os locais onde ocorreram tsunamis no Oceano Atlântico durante o intervalo 1530 – 2003. Os diferentes símbolos correspondem as varios tipos de fontes de tsunamis, os de origem tectônica (terremotos), ou os provocados por deslizamento de massas submarinas, ou por erupções vulcânicas.



**Figura 5.** Mapa dos locais onde ocorreram tsunamis no Oceano Atlântico no intervalo 1530 - 2003, mostrando o tipo de fonte.

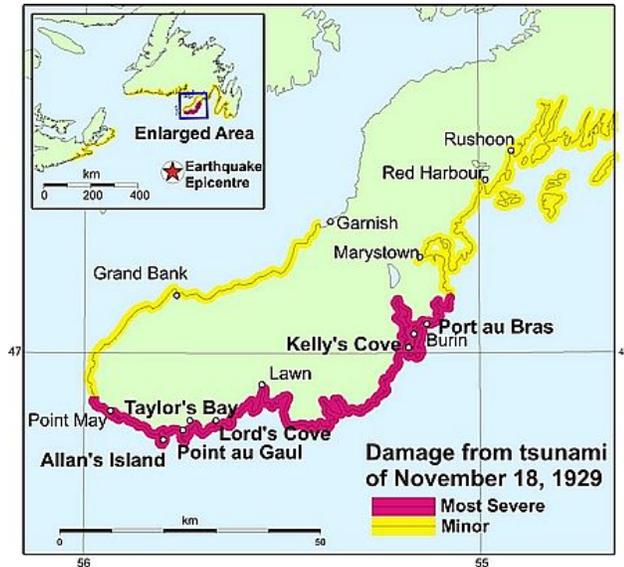
O principal tsunami originado por um terremoto no Oceano Atlântico ocorreu em 01.11.1755 quando Lisboa foi atingida por um forte terremoto (Mw 8,5) ocorrido na dorsal Açores – Gibraltar a 250 km a SSW de Lisboa. As vibrações do solo foram sentidas por 3½ min, provocando fendas de 5 m de largura. O sismo foi seguido por um grande incêndio. O tsunami chegou a Lisboa 40 min depois com ondas de mais de 15 m de altura, terminando de destruir o pouco que sobrou. Em Lisboa morreram quase 90.000 pessoas. As ondas desse tsunami chegaram ao litoral leste de Estados Unidos e nordeste brasileiro com ondas menores que 1 m de altura. Ver gravura do tsunami de Lisboa de 1755 na Fig. 6.



**Figura 6.** Gravura do tsunami de Lisboa de 1755

Os principais tsunamis no Oceano Atlântico, associados a grandes deslizamentos de sedimentos marinhos depositados na plataforma continental, ocorreram: no Grand Bank no Canadá em 1774 junto com um sismo de Mw>7,2, que matou 300 pessoas em Newfoundland, nordeste do Canadá; na Baía de La Plata em 1884, as-

sociado a um sismo de magnitude 7,0 Mw, que matou 4 pessoas no Uruguai; e novamente no Grand Bank em 1929, juntamente com um terremoto de magnitude Mw 7,2, com ondas de 15 m de altura que matou 28 pessoas em Newfoundland (NTL, 2004). Na Fig. 7 se mostra o epicentro do sismo de 1929 e a área mais afetada pelo tsunami.



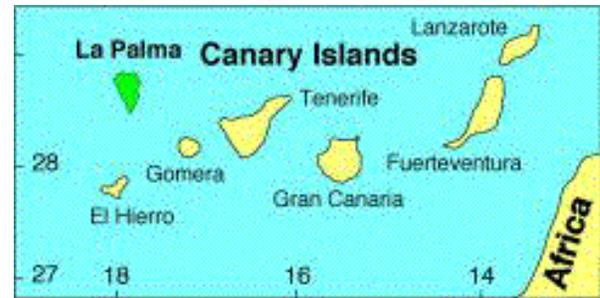
**Figura 7.** Área mais atingida pelo tsunami no Grand Bank, Canadá, em 1929. Ver a localização do epicentro do sismo de Mw 7,2 na figura interna.

Hasegawa e Kanamori (1987) determinaram para o terremoto do *Grand Bank* de 1929 um mecanismo focal típico de um deslizamento de uma massa submarina, que foi calculada em quase um trilhão de toneladas, o que indica que foi o deslizamento que provocou o tsunami e o terremoto, cujo epicentro está localizado na borda da plataforma continental, que é bastante extensa com mais de 500 km de largura, e próximo da zona abissal com aproximadamente 6 km de profundidade. O tsunami de 1774, ocorrido na mesma região, teria sido provocado por uma fonte similar ao de 1929, só que teria sido maior, considerando que nessa época, 155 anos antes, morreram 300 pessoas, e o epicentro do terremoto associado a esse tsunami deveria estar localizado muito próximo ao de 1929 e não próximo do local atingido pelo tsunami, como aparece no mapa da Fig. 5. Ambos sismos ocorreram numa região intraplaca, similar a do Brasil.

O tsunami que atingiu o Uruguai em 1884, ocorrido também numa região intraplaca que apresenta um nível de atividade sísmica, muito baixo, similar ao que ocorre na região sul do Brasil, porém com uma plataforma continental de mais de 400 km em frente à Baía de *La Plata*, provavelmente teve uma fonte semelhante a dos tsunamis do *Grand Bank*, no Canadá. Ou seja, um deslizamento de uma grande quantidade de sedimentos depositados na plataforma continental provocou o terremoto de magnitude Mw 7,0 e o tsunami que atingiu o litoral nessa baía e matou 5 pessoas. O volume de massa deslocado neste caso deve ter sido menor que a do tsunami de 1929 no *Grand Bank*.

Os tsunamis provocados por erupções vulcânicas no Oceano Atlântico ocorrem nas ilhas Antilhas no Caribe, e normalmente seus efeitos são sentidos numa área relativamente pequena, chegando a ser percebidos no máximo no litoral sul dos Estados Unidos.

Entretanto, nestes últimos anos tem sido veiculada uma notícia sobre a provável ocorrência de um tsunami de dimensões catastróficas, que seria provocado pela queda de uma das paredes do vulcão *Cumbre Vieja* que está localizado na ilha *La Palma* no arquipélago das Ilhas Canárias, na região NW da África (ver Fig. 8).



**Figura 8.** Localização da ilha *La Palma*

De acordo com Ward & Day (2001), durante a próxima erupção do vulcão *Cumbre Vieja*, uma onda de 650 m de altura poderá ser provocada pelo colapso instantâneo da parede SW desse vulcão (Fig. 9), com um volume calculado em meio trilhão de toneladas, que chegaria à região leste de USA e NE da América do Sul com ondas de 50 m de altura, viajando com velocidade de 700 km/h.



**Figura 9.** A ilha *La Palma* com o vulcão *Cumbre Vieja* na porção sul. A seta branca mostra a parede que poderá desabar.

A modelagem efetuada por Mader (2001), considerando um colapso gradual da parede SW do vulcão, que deslizaria ao invés de colapsar instantaneamente, do pequeno comprimento de onda das ondas provocadas por fenômenos similares que sofrem uma maior atenuação com a distância (erupção do Krakatoa de 1883, tsunamis no *Grand Bank* em 1774 e 1929), e da massa envolvida que seria a metade da deslizada nos tsunamis do *Grand*

*Bank*, resultam em valores mais realistas e menos alarmistas que os propostos por Ward & Day (2001).

Com o modelo de Mader (2001) o tsunami que seria provocado por um provável colapso de uma das paredes do vulcão Cumbre Vieja, provocaria ondas de 10 m na África e Europa (ao invés de 100 m do outro modelo), chegaria ao leste de América do Norte, Caribe e NE de América do Sul com ondas de 3 m. (ao invés de 50 m), e a região SE do Brasil poderá ser atingida com ondas de menos de 2 m de altura (ao invés de 20 como previsto anteriormente)

### Conclusões

De acordo com o apresentado neste trabalho, podemos concluir que o tsunami que poderia atingir com severidade o litoral do Brasil, não será originado na dorsal Açores Gibraltar, como o que ocorreu em 1775 e destruiu Lisboa, cujas ondas atingiram o nordeste brasileiro com ondas menores que 1 m de altura; nem será um tsunami provocado por terremotos ou por erupções vulcânicas na zona de subdução das Antilhas, que são muito localizados e que atingem no máximo, o litoral sul dos Estados Unidos, nem por terremotos que ocorrem no Arco de Scotia, considerando que até o presente não se tem notícias de tsunamis ocorridos nessa região

De acordo com o apresentado neste trabalho, podemos concluir que o tsunami que poderia atingir com severidade o litoral do Brasil, não será originado na dorsal Açores Gibraltar, como o que ocorreu em 1775 e destruiu Lisboa, cujas ondas atingiram o nordeste brasileiro com ondas menores que 1 m de altura; nem será um tsunami provocado por terremotos ou por erupções vulcânicas na zona de subdução das Antilhas, que são muito localizados e que atingem no máximo, o litoral sul dos Estados Unidos, nem por terremotos que ocorrem no Arco de Scotia, considerando que até o presente não se tem notícias de tsunamis ocorridos nessa região.

Nesse caso, o único tsunami que poderia atingir o litoral do território brasileiro, seria um tsunami causado por gigantesco deslizamento de grande quantidade de sedimentos depositados na plataforma continental, como os ocorridos no Grand Bank, no Canadá em 1774 e 1929, ou na Baía de La Plata em 1884. Entretanto, não existem no território brasileiro porções muito extensas de plataforma continental (ver mapa da Fig. 10), exceto na Foz do Rio Amazonas, onde provavelmente poderia ocorrer um grande deslizamento seguido por um sismo e por um tsunami de efeitos localizados, como nos casos mencionados acima.

Existem casos de eventos sísmicos no Brasil, que estão associados a deslizamentos de sedimentos na plataforma continental, alguns na forma de pequenos deslizamentos na Bacia de Campos registrados como sismos de pequena magnitude nas estações sismográficas da porção continental. Existe também um sismo com mb 5,5, ocorrido em 12.02.1990 no litoral de RS, que tem todas as características de ter sido provocado por um grande deslizamento de sedimentos da plataforma continental, cujo epicentro está mostrado por uma seta branca na Fig. 10. Embora a quantidade de sedimentos provavelmente

deslizados nesse evento teria sido grande, não foi suficiente para provocar um tsunami, para isso teria que ter provocado um sismo de magnitude Mw 7,0 ou maior, como ocorreu nos deslizamentos do Grand Bank e do Uruguai.

Finalmente, podemos concluir, que a pesar de ocorrerem sismos provocados por deslizamentos de sedimentos, não existem condições na plataforma continental do Brasil de ocorrerem tsunamis pelo deslizamento de grandes quantidades de sedimentos, exceto tal vez, na Foz do rio Amazonas.

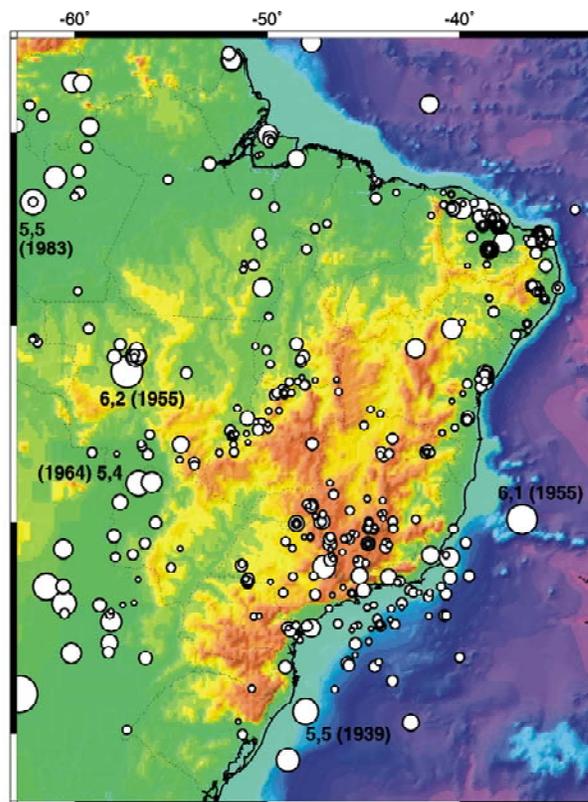


Figura 10. Mapa de epicentros da sismicidade do Brasil ocorrida entre 1750 e 2003, mostrando a plataforma continental no Brasil e o sismo de 12.02.1990, assinalado com uma seta branca.

### Referências

- Mader C. L., 2001. Modeling the La Palma Landslide Tsunami. *Sci. of Tsunami Hazards*, Vol. 19, pp150-170.
- Gaspar Madre de Deus, Frei, 1975. *Memória para a História da Capitania de São Vicente*. Editora da Universidade de São Paulo.
- NTL (Novosibirsk Tsunami Laboratory), 2004. Web version for the Historical Tsunami Data-base for the Atlantic.
- Pararas-Carayannis, George, 1997. The Great Lisbon Earthquake and Tsunami of 1 of November 1755. <http://www.drgeorgepc.com/Tsunami1755Lisbon.html>
- Ward, S.N. & Day, S., 2001. Cumbre Vieja Volcano—Potential collapse and tsunamis at La Palma, Canary Islands. *Geophy. Res. Lett.*, Vol 28, pp 3397-3400.