



Capitão-de-Corveta (EN) Newton Fagundes de Carvalho

Encarregado da Seção de Estruturas da DOCM. Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (UFF), mestre em Engenharia Civil na área de Materiais, Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas pela UFF e mestre em Geotecnia pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC- Rio).

Introdução

Escrever sobre terremotos, abalos sísmicos ou tremores de terra não é uma tarefa simples para aqueles que não sofrem diretamente as suas consequências, por vezes catastróficas, ou para os que vivem com a constante preocupação de quando será o próximo evento. No Brasil pouco se comenta sobre o assunto, justamente por não se tratar de um problema que se apresente com magnitude e intensidade suficientes para fazer parte do nosso dia a dia. Desta forma, este artigo apresenta algumas definições e noções básicas da geotecnia de terremotos, na esperança de buscar o interesse do leitor e, quem sabe, um dia contar com mais um entusiasta nesta ciência que fascina, mas que requer estudos por vezes complexos, tanto na esfera da engenharia geotécnica como da sismologia. Trata-se da engenharia geotécnica de terremotos.

Dinâmica do tremor

É muito comum associarmos os terremotos a grandes destruições e os abalos ou tremores a resultados sem grandes prejuízos. Porém, todos são resultados do lento acúmulo e rápida liberação de tensões, provenientes da interação entre as superfícies das falhas ou fraturas geológicas. As tensões podem levar muitos anos até atingirem a resistência das rochas constituintes das falhas/fraturas, associadas às placas da camada mais externa da superfície terrestre.

De forma simplificada, os movimentos entre as placas tectônicas, localizadas na litosfera terrestre, produzem tensões compressivas ou expansivas, que se acumulam em diversos pontos e, ao atingirem o limite da resistência das rochas, provocam a ruptura e geram vibrações que se propagam em todas as direções. TEIXEIRA et al (2009) descreve este fenômeno de movimentações

entre as placas, identificando o atual conceito de Tectônica Global.

É importante salientar que os terremotos também podem ser a consequência da energia liberada distante das bordas das placas tectônicas. Neste caso, tratam-se de regiões localizadas no interior das placas (intraplacas) e os tremores geralmente são de pequenas profundidades e magnitudes.

Outra forma de abalos sísmicos são os induzidos, tendo como exemplo a penetração de água sob pressão em falhas/fraturas potencialmente sísmicas, localizadas sob o reservatório de uma hidrelétrica.

A Figura 1 ilustra a geração de um terremoto, seguido de tsunami, através do movimento entre uma placa oceânica e outra continental. A ruptura entre as placas, ao longo do plano de falha, gera deslocamentos e ondas sísmicas. Quanto maior a área da superfície de ruptura, maior deverá ser a magnitude (M) do abalo sísmico. Quanto aos seus efeitos destrutivos, denominados de intensidade (I_{MM}), estes dependem da magnitude do terremoto e da distância do epicentro à área atingida pelo tremor.

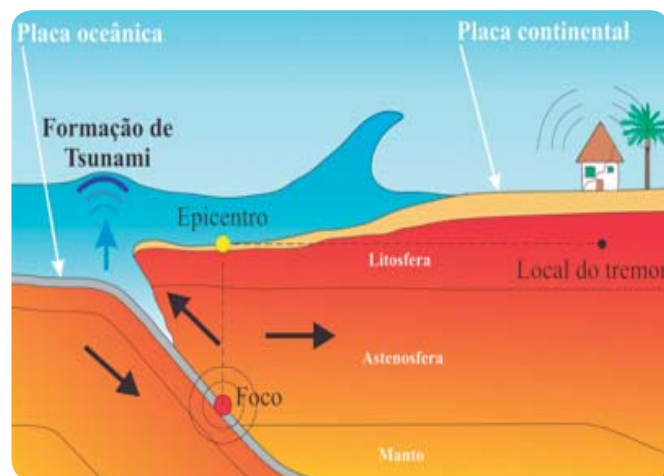


Figura 1 - Ilustração: geração de um terremoto, seguido de tsunami, com as indicações do foco e do epicentro.



O deslocamento vertical da coluna d'água provoca o que chamamos de tsunami, fenômeno recentemente divulgado na imprensa devido à catástrofe ocorrida no Japão, em 11 de março de 2011.

A Figura 2 ilustra os tipos básicos de movimentos que ocorrem nos limites entre as placas (falhas).

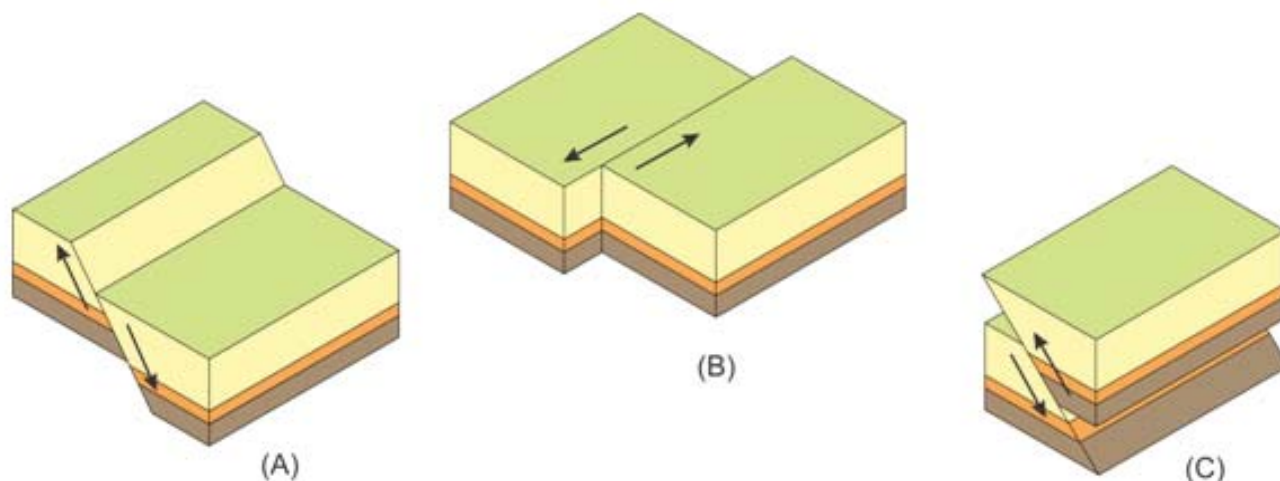


Figura 2 - Classes ou tipos de falhas fundamentais: (A) Falha normal ou de gravidade; (B) Falha transcorrente ou direcional; (C) Falha inversa ou reversa.

Ondas Sísmicas

A partir da liberação das tensões entre as rochas (falhas), surgem as ondas sísmicas, que são vibrações propagadas em todas as direções, pelo interior da Terra. Estas ondas elásticas são classificadas em:

- Longitudinais ou primárias (P)
- Transversais ou secundárias (S)
- Love (*Lv*)
- Rayleigh (*Rg*)

Nas ondas longitudinais, as partículas do meio vibram paralelamente à direção de propagação das ondas. Por outro lado, as transversais se caracterizam pela vibração perpendicular das partículas em relação à direção de propagação.

As ondas P são as primeiras a serem detectadas ou registradas pelos sismógrafos, e se propagam em meios sólidos, líquidos e gasosos. Em seguida, são detectadas as ondas S, que se propagam apenas em meios sólidos (Figura 3).

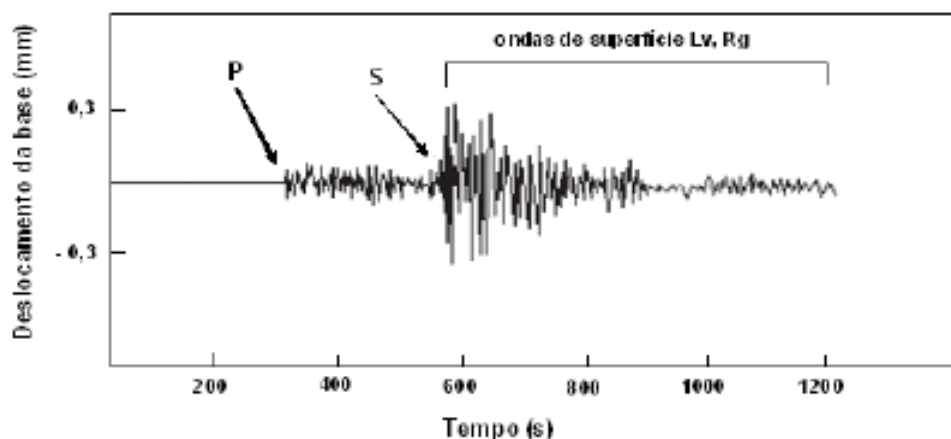


Figura 3 - Ilustração: Ondas P, S e de superfície (*Lv* e *Rg*) registradas no sismógrafo.



As velocidades de propagação dependem do tipo de material atravessado. A Tabela 1 apresenta os intervalos das velocidades das ondas P, de acordo com alguns tipos de materiais.

MATERIAIS	VELOCIDADE DA ONDA P (m/s)						
	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000
Areia não saturada							
Aterro							
Argila							
Areia saturada							
Folhelho							
Calcário							
Arenito							
Granito							
Basalto							

Tabela 1 - Velocidades das ondas P, de acordo com o meio (material).

Quanto às ondas *Love* (Lv) e *Rayleigh* (Rg), estas se propagam junto à superfície, com velocidades menores que as P e S. As ondas Lv e Rg terão maiores amplitudes quanto mais raso o terremoto.

Nas ondas *Love*, as partículas vibram na horizontal e perpendicularmente à direção de propagação das ondas (direção transversal). De forma distinta, nas ondas *Rayleigh* as partículas oscilam descrevendo uma elipse, com movimentos comparados às ondas do mar.

Epicentro

Determinar a localização do terremoto é um trabalho que requer considerável refinamento tecnológico, o qual depende de múltiplos sismógrafos, modelos tridimensionais e métodos numéricos. Porém, uma estimativa preliminar do seu epicentro pode ser obtida com dados de três estações, observando-se as velocidades das ondas P e S. Cada estação terá uma distância ao epicentro d dada pela equação (1), e a interseção dos círculos de raios d permitirá a localização estimada do epicentro, conforme ilustra a Figura 4.



Figura 4 - Localização estimada do epicentro. Ilustração adaptada de imagem do Google Earth.

$$d = \frac{\Delta t_{p-s}}{\left(\frac{1}{v_s}\right) - \left(\frac{1}{v_p}\right)} \quad (1)$$

onde Δt_{p-s} é a diferença entre os tempos de chegada das ondas P e S, e as suas respectivas velocidades são designadas por v_p e v_s . Em rochas, as velocidades de propagação das ondas variam entre 3 e 8 km/s para as ondas P e 2 e 5 km/s para as ondas S (KRAMER, 1996).



Medidas dos terremotos

Diversas pesquisas já foram desenvolvidas no intuito de se medir e classificar um terremoto e propor relações entre a sua origem e as consequências provocadas por este sobre a superfície da Terra, como as alterações no relevo e os grandes desastres envolvendo vítimas.

Assim, a **intensidade** de um terremoto, entendida como o efeito deste sobre a natureza, segundo a percepção do ser humano, é atualmente classificada conforme a escala de intensidade desenvolvida por Mercalli, no século XIX, e modificada por A. Newmann, em 1931 (Tabela 2).

GRAU	DESCRIÇÃO DOS EFEITOS	ACELERAÇÃO
I	Não são percebidos ou são leves, de longo período, quando os terremotos são grandes e distantes.	
II	São percebidos por poucas pessoas paradas, em andares superiores de edificações ou demais locais favoráveis.	< 0,003g
III	São percebidos dentro de casa. Alguns objetos pendurados oscilam e a vibração lembra a passagem de um caminhão leve. Algumas pessoas conseguem estimar o tempo de duração do tremor, e pode não ser reconhecido como um abalo sísmico.	0,004g – 0,008g
IV	Os objetos suspensos oscilam, e a vibração se parece com a produzida por um caminhão pesado. As janelas, louças e portas fazem barulho e as estruturas de madeira rangem.	0,008g – 0,015g
V	O tremor é sentido fora de casa, e algumas pessoas até percebem de onde vêm as vibrações. Alguns acordam. O líquido no interior de um recipiente é perturbado e os objetos pequenos e instáveis se deslocam. As portas oscilam, abrindo e fechando.	0,015g – 0,04g
VI	O tremor é sentido por todos e muitos saem às ruas assustados. Pessoas andam sem firmeza, as janelas e louças são quebradas e os objetos e livros caem das prateleiras. Surgem fissuras no reboco em mau estado de conservação.	0,04g – 0,08g
VII	As pessoas sentem dificuldades em se manterem de pé. Os objetos suspensos vibram e os móveis se quebram. Há danos em construções de má qualidade e formam-se trincas nas construções normais e queda de rebocos, ladrilhos, tijolos mal assentados e telhas. Surgem ondas nas piscinas e ocorrem pequenos escorregamentos em taludes arenosos.	0,08g – 0,15g
VIII	Há danos em construções em geral, com colapso parcial, e algum dano em construções reforçadas. Ocorrem desprendimento do revestimento em alguns muros de alvenaria e a queda de chaminés, monumentos, torres e caixas d'água. Os galhos das árvores se quebram e aparecem trincas no chão.	0,15g – 0,3g
IX	Há pânico geral. As construções em geral são bastante danificadas, podendo ocorrer o colapso total das estruturas. Também ocorrem danos nas estruturas reforçadas, assim como nas tubulações subterrâneas. Podem ser vistas rachaduras no solo.	0,3g – 0,6g
X	A maior parte das construções é destruída até as suas fundações. Os danos são sérios em barragens e diques. Ocorrem grandes escorregamentos de encostas e a água é lançada nas margens de rios e canais. Os trilhos são levemente deformados.	0,6g – 1g
XI	Os trilhos são bastante deformados e as tubulações subterrâneas são completamente destruídas.	1g – 2g
XII	Destruição quase total. Grandes blocos de rocha são deslocados e a topografia é alterada. Objetos são lançados ao ar.	~2g

Tabela 2 - Intensidade do terremoto, conforme Escala Mercalli modificada por Newmann (1931)

Obs.: g = aceleração da gravidade



Outra medida do terremoto é a sua **magnitude**, sendo esta diretamente relacionada à energia liberada. Inicialmente, em 1935, o professor Charles Richter, do Instituto de Tecnologia da Califórnia, desenvolveu um estudo estabelecendo a magnitude para terremotos de pouca profundidade e epicentro próximo à estação (sismógrafo). Posteriormente, GUTEMBERG e RICHTER (1936) desenvolveram uma forma de determinar a magnitude (**M_s**) de um terremoto distante, a partir da amplitude máxima da onda *Rayleigh*, da seguinte forma:

$$M_s = \log A + 1,66 \log \Delta + 2,0 \quad (2)$$

onde A é o deslocamento máximo da superfície, em μm (micrometro), e Δ é a distância do epicentro ao sismógrafo, medida em graus (360° corresponde à circunferência da Terra).

Porém, para o caso de terremotos com focos profundos, utiliza-se hoje a relação proposta por GUTEMBERG (1945):

$$m_b = \log A - \log T + 0,01\Delta + 5,9 \quad (3)$$

sendo A a amplitude da onda P, em μm , T o período, em segundos (usualmente 1,0s) e Δ a distância ao epicentro.

No caso específico do Brasil, utiliza-se uma escala de magnitude regional (**m_r**), válida entre 200 e 1.500km de distância ao epicentro, qual seja:

$$m_r = \log V + 2,3 \log(\Delta) - 2,48 \quad (4)$$

onde V é a velocidade da partícula da onda P, em $\mu\text{m/s}$ ($V=2\pi A/T$), e Δ a distância ao epicentro, em km.

Uma forma de medir grandes terremotos é a utilização da magnitude **M_w**, baseada no momento sísmico (**M_o**). Desta maneira levam-se diretamente em consideração os fatores que

produzem a ruptura ao longo da superfície da falha. Assim, a magnitude **M_w** é dada por:

$$M_w = \frac{\log M_o}{1,5} - 10,7 \quad (5)$$

onde o momento sísmico **M_o**, em $\text{N}\cdot\text{m}$, é μAD , sendo μ correspondente à resistência ao cisalhamento do material constituinte da face do plano de falha, em N/m^2 . “A” é a área do plano de falha, em m^2 , e D o deslocamento entre as placas (planos), em metros.

Embora seja difícil quantificar a energia liberada durante um terremoto, uma alternativa empírica pode ser aplicada, utilizando-se o valor obtido para **M_w**, assim:

$$\log E_s = 4,8 + 1,5 M_w \quad (6)$$

onde **E_s** é a energia em Joules.

Sismos no Brasil

O Brasil ocupa um espaço privilegiado no planeta. O país está localizado no interior da placa sul-americana e, portanto, com baixa sismicidade (intraplaca) e com sismos na maioria dos casos rasos, que raramente ultrapassam a magnitude de 6. Isso não significa que o Brasil não está sujeito a abalos sísmicos com alguma significância. Pelo contrário, como pode ser observado na Figura 5 e na Tabela 3, há, por exemplo, grande concentração de sismos na região Nordeste (Ceará e Rio Grande do Norte). Também podem ser observadas atividades sísmicas na plataforma continental da região Sudeste, nas regiões do Pantanal Matogrossense, no norte do estado de Mato Grosso e em torno de Manaus. O Acre possui uma área de sismos de grande profundidade, possivelmente relacionados à placa de Nazca que mergulha sob o continente (IAG, 2011).

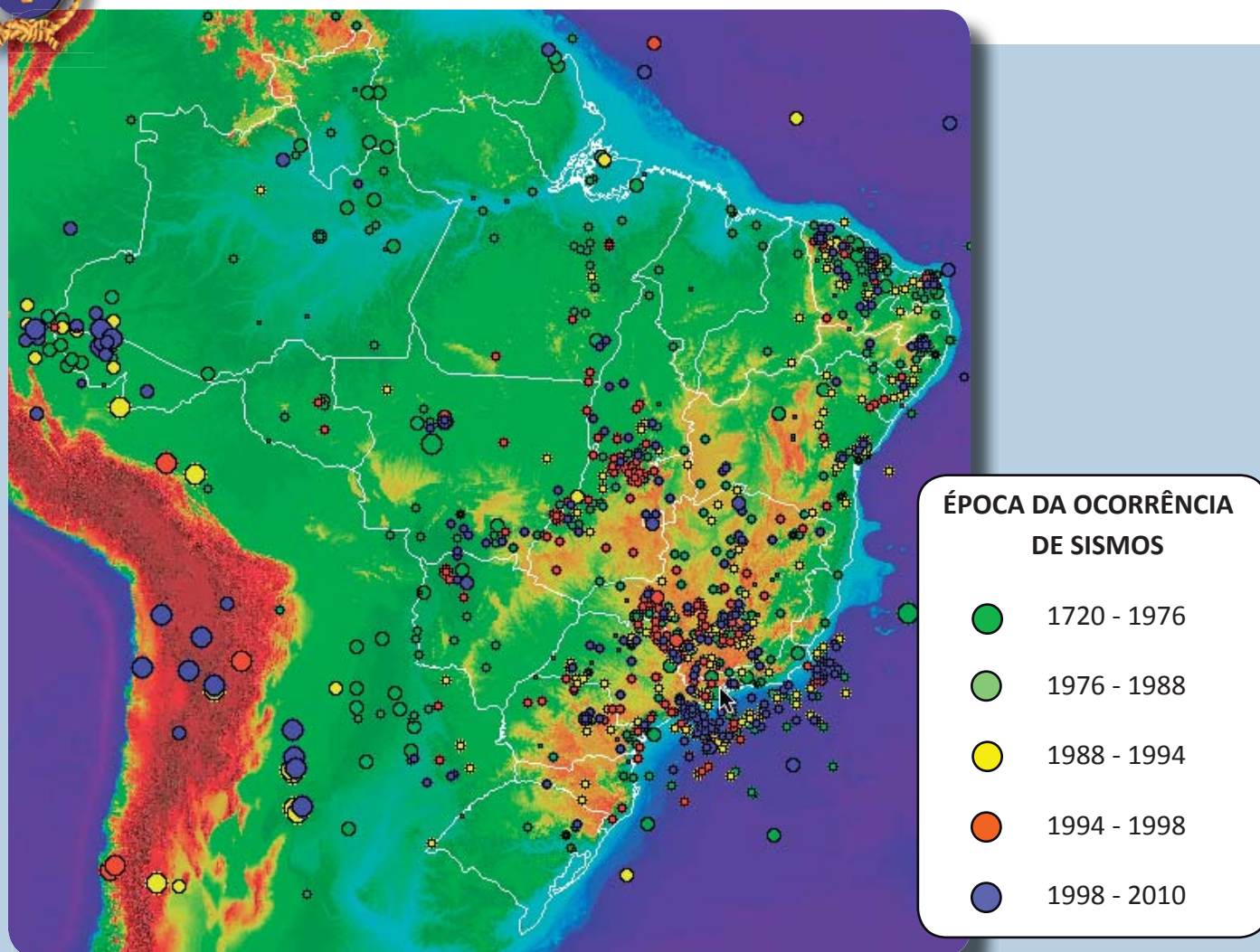


Figura 5 - Registros de sismos no Brasil

Fonte: IAG-USP (adaptação de imagem do SisGIS-Sismicidade do Brasil, [sítio http://www.sismo.iag.usp.br/sismologia/boletim.php](http://www.sismo.iag.usp.br/sismologia/boletim.php)).

ANO	MAGNITUDE m_b	INTENSIDADE I_{MM}	LOCAL
1955	6,2	-	Porto dos Gaúchos, MT, em Cuiabá, a 370km ao sul.
1955	6,1	-	Epicentro no mar, a 300km de Vitória, ES.
1939	5,5	>VI	Tubarão, SC, com epicentro na plataforma continental.
1983	5,5	VII	Codajás, AM, na Bacia Amazônica.
1964	5,4	-	NW de Mato Grosso do Sul, na Bacia do Pantanal.
1990	5,2	-	Epicentro no mar, a 200km de Porto Alegre, RS.
1980	5,2	VII	Pacajus, CE.
1998	5,2	VI	Porto dos Gaúchos, MT.
2008	5,2	-	A 220km SSE de S. Vicente, SP.
1922	5,1	VI	Mogi Guaçu, SP, sentido em SP, MG e RJ.
1963	5,1	-	Manaus, AM.
1986	5,1	VII	João Câmara, RN.
2005	5,0	V	Porto dos Gaúchos, MT.
2010	5,0	V	Mara Rosa, GO.

Tabela 3 - Exemplos de abalos sísmicos no Brasil. Fonte: IAG-USP (2011).



Liquefação

Um aspecto de fundamental importância a ser considerado durante um terremoto é a possibilidade da ocorrência da liquefação do solo (perda de resistência ao cisalhamento). Seus efeitos se traduzem na perda da capacidade de carga do solo de fundação, no afundamento de grandes áreas e no deslizamento de encostas. Os solos mais suscetíveis à liquefação são as areias finas e fofas, na condição de nível d'água (lençol freático) próximo à superfície.

Com a propagação das ondas cisalhantes, durante um terremoto, ocorre a contração da massa de solo e o acréscimo de poropressões. Uma vez que no abalo sísmico ocorrem deformações cíclicas, de forma rápida, o solo fica sujeito à condição não drenada, não havendo tempo suficiente para a dissipação do excesso de poropressão gerada, induzindo-se, dessa forma, a liquefação. Nesta condição, o solo passa a ter um comportamento viscoso, como um líquido.

A Figura 6 mostra o colapso de uma rodovia devido à liquefação induzida pelo terremoto de magnitude 9,0, ocorrido no Japão em 11 de março de 2011.



Figura 6 - Consequência da liquefação do solo ocorrida sob uma estrada em Saitama, Japão, por ocasião do terremoto de 11 de março de 2011.

Fonte: Saitama Shimbun/Associated Press/Kyodo News. Sítio http://www.boston.com/bigpicture/2011/03/massive_earthquake_hits_japan.html, visitado em 10/08/2011.

A suscetibilidade do solo à liquefação está relacionada a determinadas condições, sendo duas delas (DAY 2001):

- Os solos devem ser não coesivos, predominantemente compostos de areias finas a médias, com finos de baixa plasticidade, e
- O lençol freático deve estar próximo à superfície do terreno ou acima da camada do solo em estudo.

Análises de riscos e avaliação quantitativa para projetos

Um dos desafios dos projetos de engenharia que envolvem abalos sísmicos é identificar as características do local e analisar os riscos envolvidos (perigos), a fim de permitir o adequado dimensionamento das edificações. Neste sentido, o primeiro passo é a pesquisa da documentação técnica existente, a partir dos seguintes elementos:

- dados de projetos de engenharia estrutural e arquitetura anteriormente desenvolvidos,
- informações sobre a geologia do local,
- investigações geológicas e geotécnicas porventura efetuadas,
- dados de sismos ocorridos (período de vibração, aceleração, magnitude e intensidade),
- informações geográficas,
- registros da topografia da área, fotografias aéreas e mapas geológicos, e
- normas técnicas, códigos de obras locais e demais documentações técnicas pertinentes.

A avaliação quantitativa tem por finalidade obter informações quanto à natureza e à dimensão dos abalos sísmicos, para que, a partir dos estudos



pertinentes, seus efeitos sejam reduzidos ou até mesmo eliminados.

A avaliação quantitativa é composta pelos seguintes processos:

- reconhecimento geológico da área,
- exploração do subsolo, com retirada de amostras e o reconhecimento/identificação das camadas existentes,
- testes de laboratório para a determinação das características geotécnicas dos solos envolvidos, sobretudo aquelas necessárias ao estudo/análise de sismos, e
- determinação de parâmetros para análise de engenharia geotécnica de terremotos, tais como a aceleração de pico (*Peak Ground Acceleration - PGA*).

Instalações nucleares e subterrâneas

Na atual conjuntura, quando se menciona a construção de instalações nucleares “o mundo treme”, ainda mais quando associada à possibilidade da ocorrência de abalos sísmicos. Não é à toa tal preocupação, face aos últimos acontecimentos no Japão, sobretudo o ocorrido no dia 11 de março deste ano, quando um terremoto de magnitude 9,0, seguido de tsunami, atingiu e causou sérios danos à usina nuclear de Fukushima. A intensidade chegou a VII (**IMM**) na cidade de Kurihara, e o tsunami provocado trouxe uma verdadeira catástrofe ao país.

De fato, a análise de riscos sísmicos a ser procedida no projeto para implantação de uma instalação nuclear deve ser criteriosa. A metodologia atualmente adotada pelos engenheiros é probabilística, a qual se estima a probabilidade da ocorrência de diversos níveis de terremotos, responsáveis por movimentos no solo de fundação, que serão superados num determinado local e período de tempo (futuro).

São justamente as vibrações horizontais ou acelerações no solo de fundação provocadas pelo terremoto que geram as cargas e deslocamentos adicionais na estrutura, cabendo assim quantificá-las para o dimensionamento das instalações. Nas engenharias estrutural e geotécnica de terremotos utiliza-se o espectro de resposta para representar a influência de um tremor sobre uma determinada estrutura. Trata-se da variação das respostas máximas com a frequência natural de uma estrutura, ao longo do tempo, seja em termos de deslocamento, velocidade ou aceleração.

No Brasil, as usinas nucleares de Angra dos Reis-RJ, responsáveis por gerar cerca de 3% da energia do país, e de 50% do Estado do Rio de Janeiro, foram projetadas admitindo-se a ocorrência de terremotos que provocariam uma aceleração de 0,10g (10% da aceleração da gravidade) em rocha. Segundo especialistas da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e do Instituto de Astronomia e Geofísica da Universidade de São Paulo (IAG/USP), a probabilidade de ocorrer um abalo dessa proporção na referida área é de um a cada 50 mil anos. Nas últimas décadas, o maior tremor registrado na região Sudeste foi de magnitude 5,2, ocorrido em 22 de abril de 2008, com epicentro no Oceano Atlântico, a 215 km da cidade de São Vicente, no litoral paulista, e a 315 km da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAEA). Neste caso, a aceleração registrada na estação sismográfica de Angra dos Reis foi de 0,0017g, correspondendo a 2% do valor de projeto (ELETRONUCLEAR, 2011).

No caso específico de instalações no subsolo, como túneis, cabe ressaltar que estas são bem menos suscetíveis à ação de tremores ou de amplificação de vibrações do que as estruturas concebidas na superfície. Sabe-se também que quanto maior a profundidade, maiores serão os danos nos túneis, uma vez que a amplitude de vibração tende a reduzir.



Porém, apesar de serem estruturas que apresentam aparente solidez, os túneis devem ser projetados levando-se em consideração alguns aspectos que podem indicar a possibilidade de danos durante um abalo sísmico. São eles:

- a existência de falhas ou fraturas interceptando o túnel,
- a existência de deslizamentos de taludes que interfiram na estrutura do túnel,
- a ocorrência de solos sujeitos à liquefação nas imediações do túnel, e
- a ocorrência de patologias em alguma estrutura próxima, decorrentes de vibrações no solo.

Embora pouco comum, deve ser também levada em consideração a existência de outra estrutura subterrânea próxima, como outro túnel. Neste caso, devem ser efetuadas análises detalhadas do comportamento dos materiais envolvidos (tensões e deformações, entre outros), com o auxílio, inclusive, de *softwares* de análise em elementos finitos, hoje facilmente encontrados no mercado.



Figura 7 - Vista da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA), em Angra dos Reis-RJ.
Fonte: Galeria de Imagens do sítio <http://www.eletronuclear.gov.br>, visitado em 10/08/2011.



Conclusão

Grandes cientistas dedicaram parte de suas vidas buscando entender o comportamento da natureza para, na medida do possível, controlá-la. Neste sentido, surgiram através da história inúmeras ferramentas e técnicas de previsão de catástrofes e teorias para explicar como ou por que elas ocorrem.

Embora controlar ou dominar a natureza esteja bem distante da nossa realidade, no que diz respeito à previsão de catástrofes e à redução dos seus efeitos, os primeiros passos já foram dados. Hoje podemos dizer que os sistemas de alerta, em alguns casos, podem evitar maiores danos às pessoas e materiais, a partir da divulgação antecipada de informações quanto à ocorrência de fenômenos naturais, tais como tempestades, furacões, possibilidades de tsunamis e probabilidade de tremores de terra. Também em países como o Japão e os Estados Unidos, a engenharia estrutural vem se desenvolvendo bastante, contribuindo de forma significativa na pesquisa de técnicas construtivas que amenizam os efeitos dos terremotos nas edificações.

Independente da sorte de não se ter que pensar em terremotos, algumas instalações são obrigatoriamente dimensionadas admitindo-se a possibilidade, mesmo que bastante remota, da ocorrência de abalos sísmicos que possam causar danos com graves consequências negativas ao ambiente. Este é o caso das instalações nucleares, as quais, sem dúvida, representam um grande avanço tecnológico para uma nação, mas que necessitam do emprego da boa técnica e do conhecimento científico contemporâneo aplicáveis aos seus dimensionamentos para uma utilização segura.

Assim, as pesquisas relacionadas ao entendimento dos fenômenos naturais que possam abalar ou danificar as estruturas, pondo em risco o ambiente, devem ser incentivadas, uma vez que estas são o ponto de partida na busca de soluções técnicas que minimizem ou mesmo anulem a possibilidade de consequências catastróficas. Neste caso, a engenharia geotécnica de terremotos vem fazendo a sua parte.

Referências bibliográficas

- CHEN, WAY-FAH and SCAWTHORN, C. Earthquake Engineering Handbook. USA: CRC Press LLC, 2003.
- DAY, R. W. Geotechnical Earthquake Engineering Handbook. USA: McGraw-Hill Professional, 2001.
- ELETRONUCLEAR. Critérios de segurança adotados para as usinas nucleares Angra 1, Angra 2 e Angra 3. Rio de Janeiro: ELETRONUCLEAR, 2011.
- GUTTENBERG, B., RICHTER, C. F. On Seismic Waves. Gerlands Beitrage zur Geophysik. Vol. 47, pp. 73-131. 1936.
- GUTTENBERG, B., RICHTER, C. F. Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration, Bulletin of the Seismology Society of America, vol. 47, pp. 73-131, 1956.
- IDRISS, I.M., BOULANGER, R. W. Semi-empirical Procedures for Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes. 11th International Conference on Soil Dynamics & Earthquake Engineering, The 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering. Berkeley, CA, 2004.
- INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (IAG-USP). Introdução à Sismologia (apostila do curso de verão). São Paulo: IAG-USP, 2011.
- KAYEN, R. E., MITCHELL, J. K., SEED, R. B., LODGE, A., NISHIO, S. and COTINHO, R. Evaluation of SPT-CPT, and shear wave-based methods for liquefaction potential assessment using Loma Prieta data. Proceedings, 4th U.S. – Japan Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction. vol. 1, pp. 177-204, 1992.
- KOLYMBAS, D. Tunneling and Tunnel Mechanics: A Rational Approach to Tunneling. Heidelberg-Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.
- KRAMER, S. L. Geotechnical Earthquake Engineering. New Jersey: Prentice-Hall, 1996.
- RICHTER, C. F. An Instrumental Earthquake Magnitude Scale. Bulletin of the Seismological Society of America. vol.25, pp. 1-32, 1935.
- SCHNAID, F. Ensaios de Campo e suas Aplicações à Engenharia de Fundações. São Paulo: Oficina de Textos, 2000.
- TEIXEIRA, W., FAIRCHILD, T. R., TOLEDO, M.C.M., TAIOLI, F. Decifrando a Terra, 2aed., São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2009.
- VELLOSO, D. A., LOPES, F. R. Fundações. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 1996.