

## Estudo da Sismicidade Brasileira e Proposta de Mudança da NBR 15.421:2006

Felipe de Vasconcelos Alves

Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro / Departamento de Estruturas / felipealves@poli.ufrj.br

### Resumo

Este trabalho apresenta um estudo da sismicidade brasileira através da análise probabilística de ameaça sísmica do Brasil, calculada com o programa R-CRISIS versão 20.1. Primeiro, dois trabalhos anteriores sobre o assunto foram reprocessados e as diferenças e similaridades com os resultados originais investigados. Posteriormente, procedeu-se a análise probabilística de ameaça sísmica do Brasil, tomando como base as áreas-fontes e as relações de Gutenberg-Richter concebidas por DOURADO (2014), porém lançando mão de GMPE híbridos concebidos neste trabalho, além de magnitudes mínimas maiores. Em seguida, os mapas de ameaça sísmica e espectros de ameaça uniforme resultantes são comparados aos da ABNT NBR 15421 - Projeto de estruturas resistentes a sismos - Procedimento e as diferenças observadas baseiam três propostas de atualização da mesma.

### Palavras-chave

mapa de ameaça sísmica; espectro de resposta; sismicidade brasileira; GMPE; região intraplaca; PSHA.

### Introdução

A previsão da construção de mais instalações nucleares no sudeste brasileiro, como a Usina Nuclear de Angra 3 e a Base de Submarinos de Propulsão Nuclear da Marinha do Brasil, e o recente problema com as barragens de rejeitos de minérios, explicitam uma crescente demanda por uma normatização mais detalhada a fim de proporcionar maior segurança à população. Nesse contexto, o presente trabalho visa fornecer dados e ferramentas que ajudem na avaliação de novas informações as quais podem contribuir para possíveis revisões da norma.

### Revisão de trabalhos anteriores

Os trabalhos de SILVA (2009) e SILVA (2018) foram revisados a partir do reprocessamento dos dados de entrada usados por eles, através do programa R-CRISIS. Esses dados foram configurados de tal forma a manter ao máximo os dados usados pelos autores, para que assim se evidenciassem as diferenças resultantes dos métodos distintos. O resumo dos dados de sismicidade das áreas-fontes consideradas nos modelos é mostrado na Tabela 1 e o resumo dos Parâmetros Globais na Tabela 2. O modelo de previsão de movimento do solo (*Ground Motion Prediction Model - GMPM*) usado é o de TORO *et al.* (1997) ajustado para escala de magnitude MLg e região 'Midcontinent'.

**Tabela 1 – Resumo dos dados de sismicidade das áreas-fonte de SILVA (2009) e SILVA (2018)**

Área-Fonte	Mmin	$\lambda_{\min}$	$\beta$	CoV de $\beta$	Quantidade de magnitudes	Mmax	Intervalo de incerteza de Mmax
SILVA (2009) Nordeste	3,5	0,24266	2,3256	0	7	7	0
SILVA (2009) Sudeste	3,5	0,912	2,9473	0	7	7	0
SILVA (2018) Zona Terrestre	3,0	1,156	3,0193	0,312	20	6	0,3
SILVA (2018) Zona Marítima	3,0	1,539	1,7568	0,223	20	7	0,3

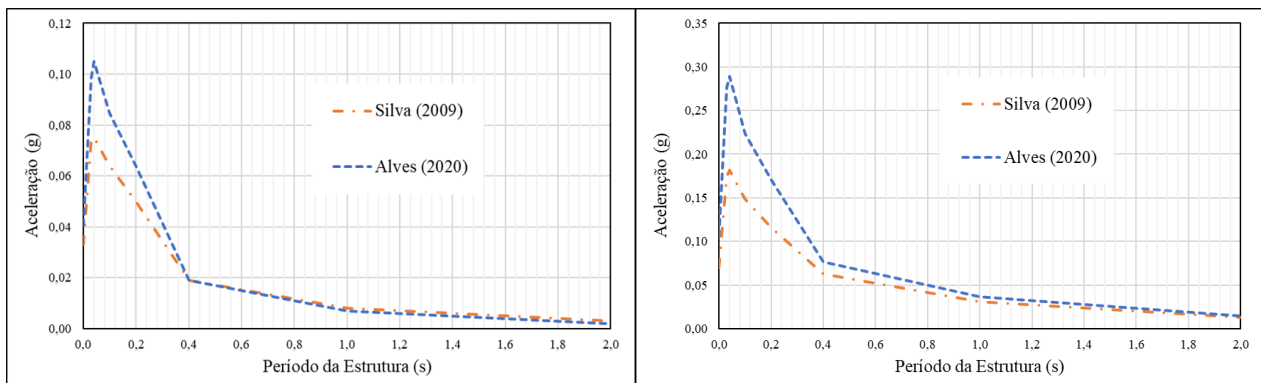


XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

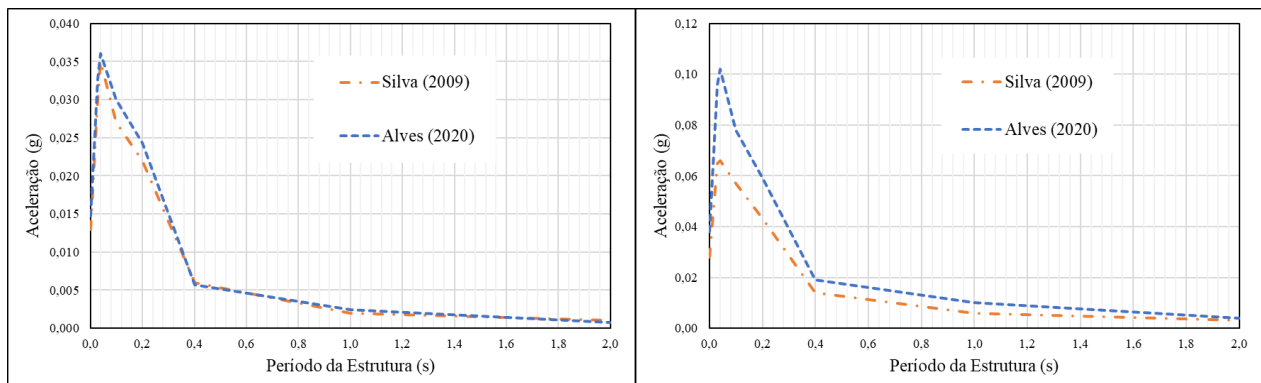
**Tabela 2 – Resumo dos Parâmetros Globais de SILVA (2009) e SILVA (2018)**

Autor	Distância máxima de integração (km)	Tamanho mínimo do triângulo (km)	Razão mínima Distância/Tamanho de triângulo	Janela temporal (anos)	Tempo de recorrência (anos)
Silva (2009)	500	10	7	50	475 e 2475
Silva (2018)	200	10	7	50	475 e 2475

Após o processamento no R-CRISIS dos dados de entrada, obtiveram-se os Espectro de Ameaça Uniforme (EAU) para o tempo de recorrência de 475 anos e 2475 anos, expostos nas Figuras 1 a 3



**Figura 1 - EAU da região nordeste de Silva (2009) para 475 anos (a) e 2475 anos (b)**



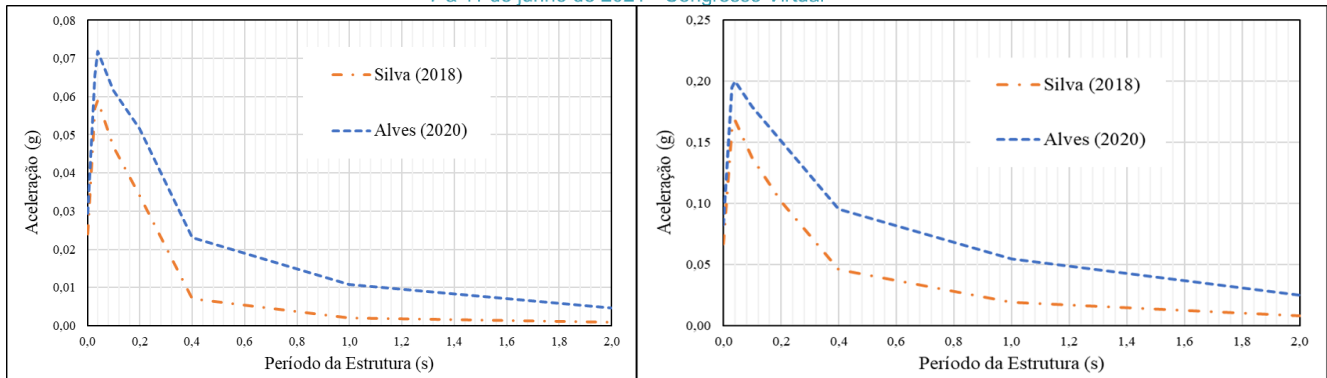
**Figura 2 - EAU da região sudeste de Silva (2009) para 475 anos (a) e 2475 anos (b)**

As diferenças de valores dos resultados de SILVA (2009) são justificadas, principalmente, pela contabilização de incertezas (aleatórias e epistêmicas) em todo o cálculo feito pelo R-CRISIS. As incertezas embutidas nos GMPM tendem a gerar maiores valores de aceleração perto do local estudado, uma vez que os dados de terremotos próximos, que ajudam a compor o GMPM, são mais raros TORO *et al.* (1997). Sendo assim, como estes sismos mais próximos contribuem mais para as acelerações em baixos períodos as acelerações espectrais nestes mesmos períodos são mais altas.



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS

7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



**Figura 3 - EAU da região sudeste de Silva (2018) para 475 anos (a) e 2475 anos (b)**

Os resultados obtidos a partir do trabalho de SILVA (2018) são maiores em todos os períodos, numa média de 0,010 g para 475 anos e 0,035 g para 2475 anos (onde g é a aceleração da gravidade,  $9,81 \text{ m/s}^2$ ). Esta diferença se distribui de forma quase simétrica ao longo do espectro, com valores pequenos no começo e no final e com seu pico próximo a  $T=0,4 \text{ s}$ . Provavelmente, o uso de um desvio padrão médio único para todos os períodos, incorreu na disparidade de valores observada. TORO *et al.* (1997) utiliza incertezas (contabilizadas como desvios padrões) variáveis que dependem da frequência, da magnitude e da distância, com um valor médio bem acima do adotado por SILVA (2018).

### **Análise Probabilística da Ameaça Sísmica do Brasil**

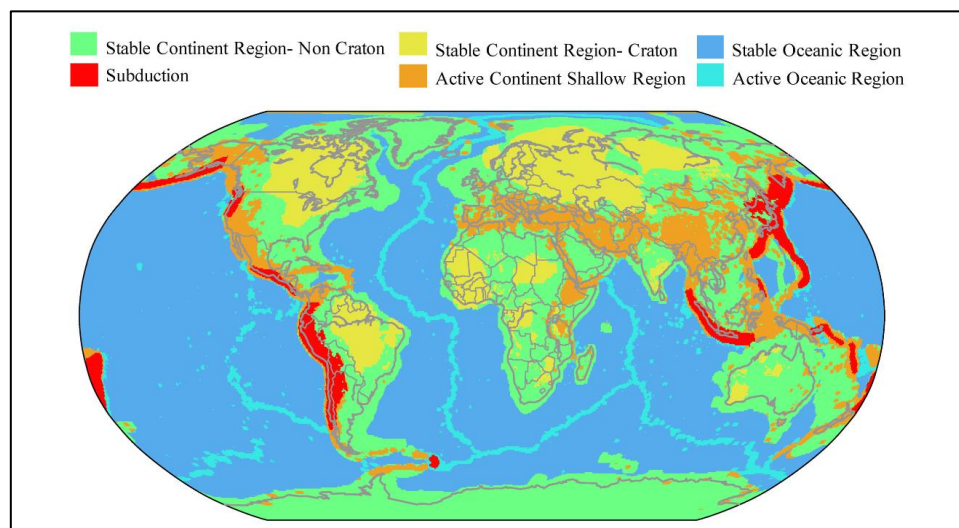
O estudo da sismicidade brasileira neste trabalho foi baseado no trabalho de DOURADO (2014), o qual estipula oito áreas-fontes localizadas em diversas regiões do Brasil com atividade sísmica significativa, além de suas respectivas relações de Gutenberg-Richter. A magnitude mínima foi alterada observando as considerações de BOMMER E CROWLER (2017), para 4 Mw. A partir desses dados foi possível processar alguns modelos no R-CRISIS a fim de traçar Espectros de Ameaça Uniforme (EAU) para alguns locais.

A escolha de um GMPM pode alterar muito o resultado da análise. A fim de dirimir este problema, adota-se comumente o método da árvore lógica e com isso engloba-se as incertezas epistêmicas dos diferentes modelos. Adotou-se neste trabalho uma versão simplificada de árvore lógica, onde se considerou apenas a ramificação devido aos diferentes GMPM. Isso foi possível ao se criar um GMPM híbrido, atribuindo pesos diferentes a cada GMPM que o compõe, o que segundo ORDAZ e SALGADO-GÁLVEZ (2019) apresenta os mesmos resultados que uma árvore lógica com apenas uma ramificação.

Como pode ser observado na Figura 4, grande parte do território brasileiro se localiza em porções da litosfera chamadas de Regiões Continentais Estáveis (*Stable Continental Regions - SCR*), portanto o GMPM híbrido adotado é composto apenas de GMPM do tipo SCR. Os modelos de previsão de movimentos do solo foram escolhidos baseados no trabalho de STEWART *et al.* (2015), o qual apresenta um procedimento para escolha de GMPM para o *Global Earthquake Model* (GEM) e um estudo comparativo bem detalhado das diversas características desses modelos.

Para regiões caracterizadas como SCR, STEWART *et al.* (2015) recomenda o uso dos modelos de PEZESHK *et al.* (2011), ATKINSON E BOORE (2006, 2011), SILVA *et al.* (2002) e TORO *et al.* (1997) revisado por TORO (2002). Na versão mais recente do R-CRISIS utilizada, os modelos de ATKINSON E BOORE (2011) e SILVA *et al.* (2002), além da revisão TORO (2002) não fazem parte da lista de modelos embutidos e,

portanto, somente os modelos TORO *et al.* (1997), ATKINSON E BOORE (2006) e PEZESHK *et al.* (2011) são utilizados na composição do modelo híbrido.



**Figura 4 – Mapa de regionalização tectônica do mundo. Fonte: CHEN *et al.* (2018).**

A Tabela 3 resume os pesos e percentagens estipulados para cada GMPM escolhido para compor o híbrido. Os nomes dos GMPM foram abreviados para melhor visualização.

**Tabela 3 - Composição do GMPM Híbrido**

GMPM	Peso	Peso (%)
TEA97	7	50
AB2006	4	29
PEA2011	3	21

O maior peso foi atribuído ao modelo de TORO *et al.* (1997), pois trabalha com uma escala de magnitude ajustada aos dados e é largamente usado na literatura brasileira sobre o assunto. O modelo de ATKINSON E BOORE (2006) recebeu um peso um pouco maior que (PEZESHK *et al.*, 2018), pois possibilitou o ajuste para terrenos tipo rocha, enquanto o segundo trabalhou com valores para rocha sã.

Os parâmetros globais adotados são os mesmos para todas as regiões. A distância máxima de integração considerada foi de 350 km. Além disso, os parâmetros de discretização da malha da fonte sísmica foram estipulados segundo os estudos de ALVES (2020) a fim de refinar os resultados sem aumentar muito o tempo de processamento. A Tabela 5 resume os valores utilizados e a Tabela 6 os pontos de interesse para os quais serão calculadas as acelerações espectrais.

**Tabela 5 – Resumo dos Parâmetros Globais para processamento da regiões brasileiras**

Distância máxima de integração (km)	Tamanho mínimo do triângulo (km)	Razão mínima Distância/Tamanho de triângulo	Janela temporal (anos)	Tempo de recorrência (anos)
350	5	5	50	475

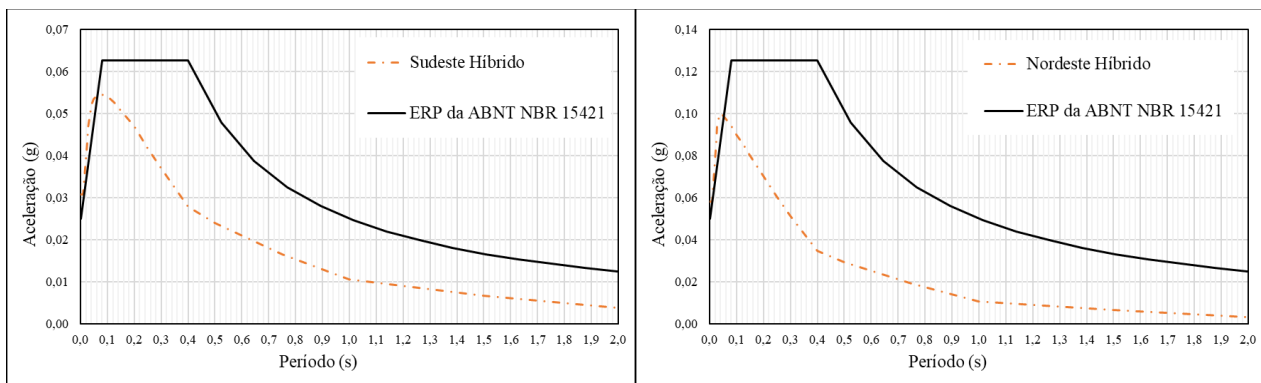


XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

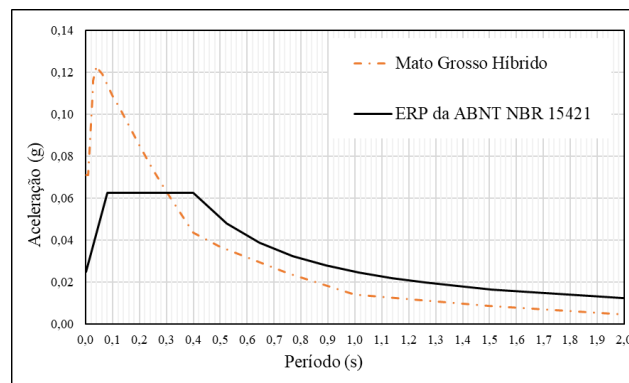
**Tabela 6 – Pontos de interesse de cada região**

Região	Nome	Longitude	Latitude
Sudeste	Ponto Crítico em terra	-42,00	-23,00
Nordeste	Ponto Crítico em terra	-37,00	-5,00
Centro-Oeste	Ponto Crítico	-49,50	-13,50
Mato Grosso	Ponto Crítico	-57,50	-12,00
Amazonas	Ponto Crítico	-61,50	-1,25

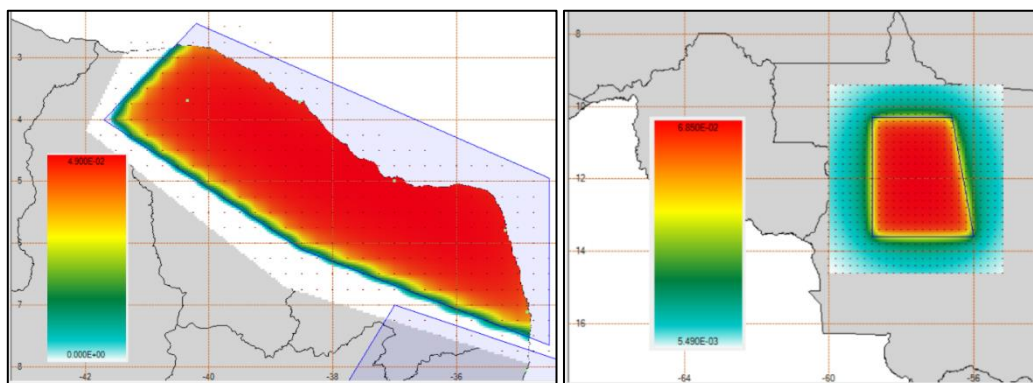
Após o processamento com R-CRISIS, obtiveram-se os valores de aceleração espectral nos pontos de interesse informados para cada região considerada. Na Figuras de 5 a 7 são mostrados os resultados mais pertinentes.



**Figura 5 - EAU para (a) região sudeste, (b) região nordeste**



**Figura 6 – EAU para região do Mato Grosso**



**Figura 7 – Mapa de Ameaça Sísmica no PGA, TR=475 anos, para (a) nordeste e (b) Mato Grosso**





Na região sudeste, considerou-se duas áreas-fontes no processamento e o espectro de resposta é relativo à cidade de Cabo Frio, considerado o ponto em terra mais crítico. Os espectros ultrapassam os valores da Zona 0 da NBR 15.421 (2006) na região de baixos períodos assim como no PGA, influenciados principalmente pela sismicidade da Plataforma Continental.

Apesar dos valores maiores do que os da norma, destacadamente no PGA, tal fato sozinho não justifica uma mudança de zoneamento sísmico na região. O período correspondente ao PGA em cada GMPM varia e influencia diretamente os valores de aceleração encontrados nesta abscissa. O próprio Espectro de Resposta de Projeto (ERP) da norma apresenta uma diferença de 0,005 g entre o seu  $T=0$ s (PGA) e  $T=0,01$  s. Portanto, uma comparação mais honesta pode ser feita em  $T=0,01$  s, período para o qual todos os GMPM possuem valores ajustados e ainda considerá-lo um “PGA virtual”. Nesse sentido, ao comparar o valor da aceleração horizontal neste período, observa-se uma diferença positiva mínima de 0,001g. Tal diferença pode ser considerada desprezível uma vez que as incertezas associadas à análise englobam o seu valor, o que corrobora para a não alteração da zona sísmica.

Entretanto, apesar de não se justificar uma mudança no zoneamento sísmico, a diferença das formas funcionais do EAU obtido para o ERP de norma indica uma necessidade de alteração no seu formato. Essa diferença é evidenciada em dois aspectos principais: os valores máximos ocorrem em  $T$  próximo a 0,04 s ao invés de  $T=0,08$  s de norma; e a queda de valores após o máximo ocorre bem antes do  $T=0,4$  s de norma.

Na região nordeste, também se considerou duas áreas-fontes no processamento (Nordeste 1 e Nordeste 2) e o espectro de resposta é relativo ao Ponto Crítico 1, ponto em terra do Nordeste 1 mais desfavorável. Os valores de aceleração do GMPM Híbrido ultrapassam ligeiramente os valores do limite da Zona 1 da NBR 15421 (2006) na região de baixos períodos, influenciados principalmente pela sismicidade da área-fonte Nordeste 1. Assim como na região sudeste, o valor da aceleração horizontal no PGA é maior do que 0,05g de norma, porém ao compararmos as acelerações em  $T=0,01$ s, observa-se também uma diferença mínima, neste caso negativa, de 0,001g. Nesta região também se observa a mesma diferença das formas funcionais da região sudeste e reforça a indicação de alteração no formato do ERP da norma.

Outro ponto a ser destacado na região nordeste, como pode ser observado na Figura 7a, é a presença de valores maiores que 0,040 g em trechos próximos ao limite físico da área-fonte Nordeste 1, isto é, essa região apresenta valores maiores que os estabelecidos por norma nestes pontos. Tal fato, portanto, indica a necessidade de aumentar os valores de aceleração horizontal previstos por norma nestes locais.

Na região do Mato Grosso foram obtidos os valores mais discrepantes em relação à norma. Atualmente, a região é considerada como Zona 0, entretanto os valores encontrados apontam para mudança em seu zoneamento para Zona 2. Além desta mudança, a mesma diferença de forma observada nas duas regiões anteriores também pode ser observada nesta região e, portanto, também indica uma alteração no seu formato.

Nas regiões do centro-oeste e do Amazonas, os espectros se mantiveram dentro do limite da Zona 0 e não indicaram nenhuma mudança pertinente à norma.

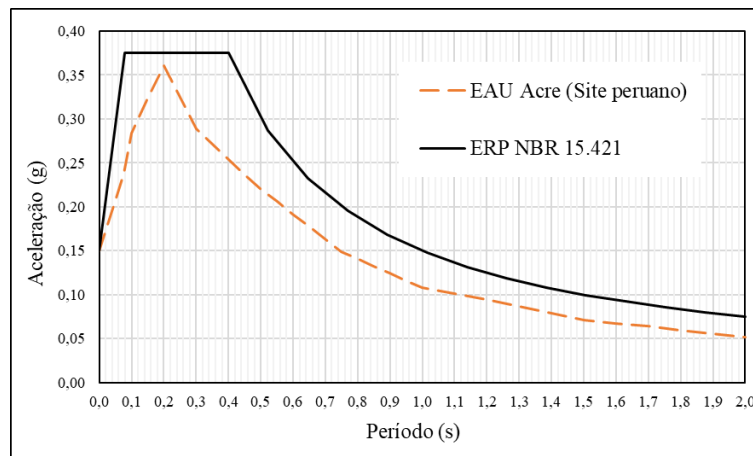
Vale ressaltar que a escolha dos pontos críticos, como os casos mais desfavoráveis, não implica em que essas localizações sejam de fato as mais afetadas em caso de terremoto. Para uma melhor regionalização das acelerações possíveis, o método utilizado exige uma quantidade maior de áreas-fontes, como feito por RONCAL CASTRO (2017) em seu trabalho. Ao usar somente uma ou duas áreas-fontes, essa

regionalização fica deficiente e, conseqüentemente, os pontos escolhidos para a análise podem ser entendidos, na verdade, como o cenário mais crítico possível nas regiões consideradas.

### Estudo Indireto da Sismicidade do Acre

A região do Acre não foi contemplada na análise probabilística anterior, pois os estudos de DOURADO (2014) não contemplaram a realidade sísmica da região. Os dados sísmicos considerados pelo autor, que constam no Catálogo Sísmico Brasileiro, não englobam alguns sismos profundos ocorridos na região que são mostrados, por exemplo, no catálogo do *International Seismological Center* (ISC-GEM), considerado por PIRCHINER (2014). Além disso, a área-fonte escolhida não é a única que contribui para a sismicidade do local. De maneira semelhante ao que acontece com o Sudeste, onde a sismicidade da Plataforma Continental influi substancialmente nas acelerações previstas para a porção em terra, os sismos ocorridos nos países vizinhos podem influir na sismicidade do território brasileiro.

Portanto, como alternativa à análise direta da sismicidade, buscou-se no sítio eletrônico de dados sísmicos do governo peruano (<<http://page.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=331>>), o EAU para um ponto da fronteira entre Brasil (Acre) e Peru com o valor de 0,15 g para o PGA. Este EAU pôde ser comparado então ao ERP da ABNT NBR 15421 (2006) para zona 4, como mostra a Figura 8.



**Figura 8 – EAU para região do Mato Grosso**

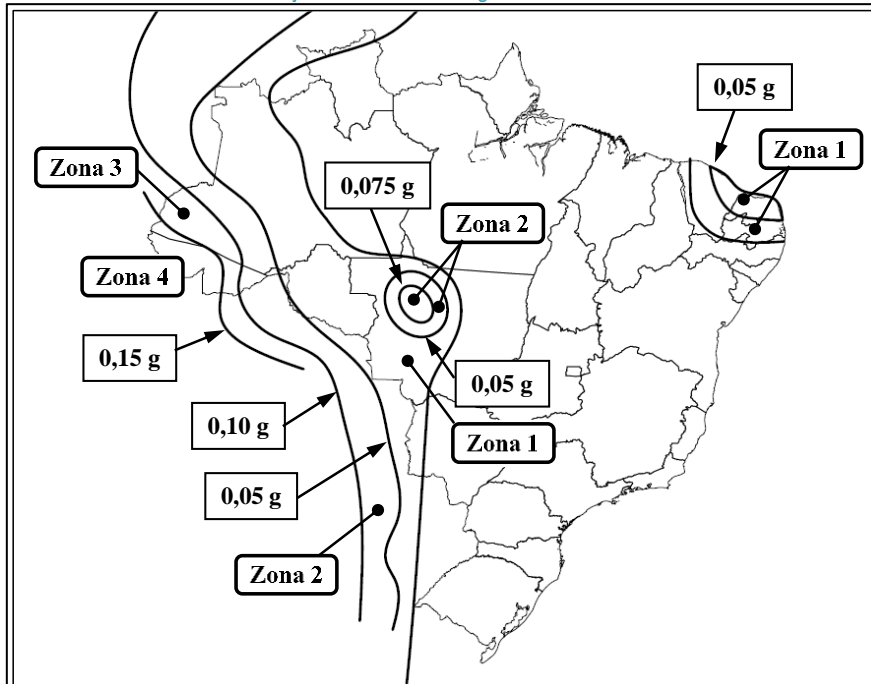
O EAU mostrado na se comporta bem e permanece sempre abaixo do ERP de norma e, em contraste com o que foi observado nas demais regiões analisadas, o ERP da norma se adequa bem ao EAU para a localidade. Seu formato se diferencia dos demais EAU encontrados na análise, com pico um pouco mais tarde ( $T=0,2$  s) e valores altos em toda sua extensão. Este tipo de espectro corresponde a regiões de alta sismicidade como é a região andina.

### Propostas de revisão da NBR 15421

Após a análise dos dados em cada região do Brasil e sua comparação ao zoneamento sísmico e ao ERP da ABNT NBR 15421 (2006), observaram-se três principais discrepâncias: zoneamento sísmico do Nordeste e da região do Mato Grosso e o formato do ERP. A fim de sanar tais discrepâncias, propõem-se as alterações apresentadas a seguir.



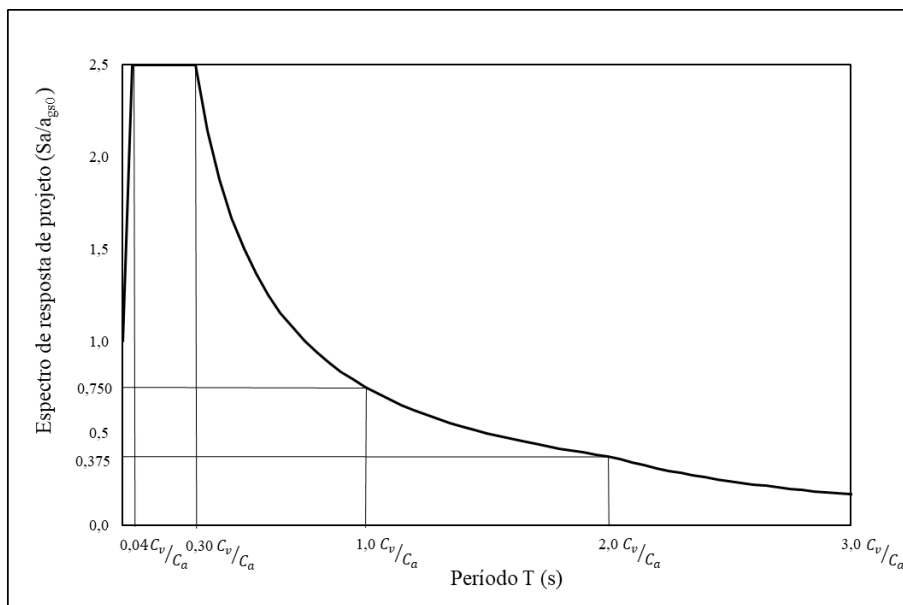
XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual



**Figura 9 – Proposta de zoneamento sísmico para ABNT NBR 15421.**

Os valores de aceleração no PGA do Nordeste são muito próximos ao limite entre as Zonas 1 e 2, além disso há um comportamento de patamar mostrado na Figura 7a. Portanto, a proposta de mapeamento das acelerações para esta região consiste em aumentar o patamar, já existente, de aceleração constante de 0,05 g, conforme mostrado na Figura 9.

Outrossim, os valores de aceleração no PGA da região do Mato Grosso, correspondem à Zona 2. Portanto, a proposta de mapeamento das acelerações para esta região apresenta a Zona 2 centralizada na área-fonte correspondente, cercada pela Zona 1, a qual foi incorporada ao traçado já existente. Além disso, conforme mostrado Figura 9 apresenta-se um patamar central em 0,075 g seguindo a tendência mostrada na Figura 7b.



**Figura 10 – Proposta de Espectro de Resposta de Projeto para ABNT NBR 15421.**





XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

$$\begin{aligned} S_a(T) &= a_{gs0} \left( 37,5 \cdot T \cdot C_a/C_v + 1 \right), & \text{para } 0 \leq T < C_v/C_a \cdot 0,04 \\ S_a(T) &= 2,5 \cdot a_{gs0}, & \text{para } C_v/C_a \cdot 0,04 \leq T < C_v/C_a \cdot 0,30 \\ S_a(T) &= 0,75 \cdot (a_{gs1}/T), & \text{para } C_v/C_a \cdot 0,30 \leq T < C_v/C_a \cdot 2,0 \\ S_a(T) &= 1,50 \cdot C_v/C_a \cdot (a_{gs1}/T^2), & \text{para } T \geq C_v/C_a \cdot 2,0 \end{aligned}$$

A proposta de mudança do ERP da ABNT NBR 15421 (2006), exposta e consiste em se adotar o ERP Tipo 2 para terrenos tipo A do EUROCÓDIGO 8, com as seguintes alterações:

- 1) Antecipação do valor do período do início do patamar de acelerações constantes (chamado de  $T_B$  no EUROCÓDIGO 8) para  $T=0,04$  s. Como foi visto anteriormente, a maioria dos GMPM do tipo SCR estudados apresenta valores máximos em  $T=0,04$  s. Portanto, julgou-se importante que o ERP também apresentasse os valores máximos para esta abscissa, mesmo que o valor adotado pelo ERP Tipo 2 em  $T=0,05$  s já fosse suficiente para cobrir os EAU obtidos;
- 2) Aumento do valor de período do final do patamar de aceleração constante (chamado de  $T_C$  no EUROCÓDIGO 8) para  $T=0,30$  s. Partindo da premissa que será definido apenas um ERP para todo o território nacional, o mesmo deve atender às regiões de baixa sismicidade e também às regiões de média e alta sismicidade, como aquelas próximas aos Andes. Todavia, o espectro Tipo 2 do EUROCÓDIGO 8 não se adequa ao EAU característico do segundo caso, no trecho de longos períodos. Portanto, adotou-se um valor um pouco maior para o período de fim do patamar a fim de se considerar a segurança das estruturas nestas regiões (Acre e adjacências), porém menor que o valor atual ( $T=0,40$  s) visando uma consequente economia das estruturas nas demais regiões brasileiras alheias à influência da sismicidade andina;
- 3) Definição do valor de período do início do trecho de deslocamentos espectrais constantes (chamado de  $T_D$  no EUROCÓDIGO 8) para  $T=2,0$  s. Não foi possível, através dos estudos realizados, chegar a uma conclusão sobre o valor do período para o território brasileiro onde este trecho se inicia, mas observou-se em vários comparativos feitos neste capítulo que o valor do Tipo 2 do EUROCÓDIGO 8 de  $T=1,2$  s não é conservador. Assim, na carência de mais informações sobre o assunto, optou-se pelo maior valor disponível nos Quadros 3.2 e 3.3 do EUROCÓDIGO 8 para  $T_D$ .

## Conclusão

Neste trabalho foi possível verificar e entender melhor o método utilizado pelo R-CRISIS ao compará-lo a trabalhos anteriores e então, a partir disso, construir um modelo sísmico brasileiro mais coerente com a realidade. Obteve-se como resultado um mapa de ameaça sísmica e um EAU para cada região considerada, aos quais apontaram três principais discrepâncias, quando comparados à ABNT NBR 15421 (2006): zoneamento sísmico do Nordeste e da região do Mato Grosso e formato do ERP. Desta feita, foram apresentadas as propostas de alteração no mapa sísmico brasileiro: aumentando para 0,05 g o valor de aceleração no PGA, em algumas regiões do Nordeste e introduzindo uma nova região sísmica relevante no norte do Mato Grosso, com acelerações no PGA até 0,075 g, além da mudança do ERP para um formato característico de região de baixa sismicidade, semelhante ao Tipo 2 para terrenos tipo A do EUROCÓDIGO 8, com adaptações baseadas nos resultados encontrados.

## Referências

ALVES, F., Estudo de sismicidade do Brasil para revisão da ABNT NBR 15421. Dissertação (Mestrado em Projeto de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://www.dissertacoes.poli.ufjf.br/dissertacoes/dissertpoli2885.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.



XII CONGRESSO BRASILEIRO  
de PONTES e ESTRUTURAS  
7 a 11 de junho de 2021 - Congresso Virtual

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), NBR 15.421, Projeto de Estruturas Resistentes a Sismos – Procedimento. Rio de Janeiro, 2006.
- ATKINSON, G.M. and BOORE, D.M., Earthquake ground-motion prediction equations for Eastern North America. *Bulletin of the Seismological Society of America*. v.96, n.6, p.2181-2205, 2006. DOI: 10.1785/0120050245.
- ATKINSON, G. M. and BOORE, D. M., Modifications to existing ground-motion prediction equations in light of new data. *Bulletin of the Seismological Society of America*. v.101, n.3, p. 1121-1135, 2011. DOI: 10.1785/0120100270.
- BOMMER, J. J.; CROWLEY, H., The Purpose and Definition of the Minimum Magnitude Limit in PSHA Calculations. *Seismological Research Letters*. v. 88, n. 4, p. 1097-1106, 2017. DOI: 10.1785/0220170015
- BUDNITZ, R. J.; APOSTOLAKIS, G.; COPPERSMITH, K.; MORRIS, P. A., Recommendations for Probabilistic Seismic Hazard Analysis: Guidance on Uncertainty and Use for Experts: NUREG/CR-6372. v. 1. Livermore, EUA: Lawrence Livermore National Laboratory, 1997. 185 p. Disponível em: <https://www.nrc.gov/docs/ML0800/ML080090003.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- CHEN, Y. S., WEATHERILL, G., PAGANI, M., COTTON, F., A transparent and data-driven global tectonic regionalisation model for seismic hazard assessment. *Geophysical Journal International*. v. 213, n. 2, p. 1263-1280, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1093/gji/ggy005>
- DOURADO, J. C., Mapa de Ameaça Sísmica do Brasil: Versão Inicial. 52 slides, Salvador, 2014. Palestra apresentada no 47º Congresso Brasileiro de Geologia.
- EUROCÓDIGO 8 - Projecto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1: Regras Gerais, ações sísmicas e regras para edifícios. Bruxelas: Comitê Europeu de Normalização, 2010. Versão portuguesa da EN 1998-1:2004 + AC: 2009.
- ORDAZ, M.; SALGADO-GÁLVEZ M. A., R-CRISIS Validation and Verification Document. ERN Technical Report. Mexico City, Mexico, 2019. Disponível em: [http://www.r-crisis.com/Content/files/R-CRISIS%20Documentation\\_All\\_chapters.pdf](http://www.r-crisis.com/Content/files/R-CRISIS%20Documentation_All_chapters.pdf). Acesso em: 01 dez. 2020.
- PEZESHK, S.; ZANDIEH, A.; TAVAKOLI, B., Hybrid empirical ground-motion prediction equations for Eastern North America using NGA models and updated seismological parameters. *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 101, n. 4, p. 1859-1870, 2011. DOI: 10.1785/0120100144.
- PEZESHK, S.; ZANDIEH, A.; CAMPBELL, K. W.; TAVAKOLI, B., Ground-motion prediction equations for Central and Eastern North America using the hybrid empirical method and NGA-West2 empirical ground-motion models. *Bulletin of the Seismological Society of America*, v. 108, n. 4, p. 2278-2304, 2018. DOI: 10.1785/0120170179.
- RONCAL CASTRO, M. A., Determinación del Peligro Sísmico en el Territorio Nacional y Elaboración de Aplicativo WEB. Tesis de Grado - Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2017. Disponível em: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/12214>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- SILVA, F. C. M., Avaliação do Risco Sísmico nas Regiões Nordeste e Sudeste do Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10007123.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- SILVA, R. H. M., Estudo da Ameaça Sísmica na Região Sudeste do Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <http://www.monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10026443.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2021.
- STEWART, J. P.; DOUGLAS, J.; JAVANBARG, M.; BOZORGNIA, Y.; ABRAHAMSON, N. A.; BOORE, D. M.; CAMPBELL, K. W.; DELAUAUD, E.; ERDIK, M.; STAFFORD, P. J., Selection of Ground Motion Prediction Equations for the Global Earthquake Model. *Earthquake Spectra*, v. 31, n. 1, p. 19–45, 2015. DOI: 10.1193/013013EQS017M.
- TORO, G. R., Modification of the Toro et al. (1997) attenuation equations for large magnitudes and short distances. [S.l.:s.n.], 2002. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237314089\\_Modification\\_of\\_the\\_Toro\\_et\\_al1997\\_attenuation\\_equations\\_for\\_large\\_magnitudes\\_and\\_short\\_distances](https://www.researchgate.net/publication/237314089_Modification_of_the_Toro_et_al1997_attenuation_equations_for_large_magnitudes_and_short_distances). Acesso em: 26 mar. 2021.
- TORO, G. R., ABRAHAMSON, N. A., SCHNEIDER, J. F., A model of strong ground motions from earthquakes in Central and Eastern North America: Best estimates and uncertainties. *Seismological Research Letters*, v. 68, n. 1, p. 41-57, 1997. DOI: 10.1785/gssrl.68.1.41.