

GERAÇÃO DE UM ACELEROGRAMA SÍSMICO ARTIFICIAL A PARTIR DE UMA FUNÇÃO DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA COMPATÍVEL COM UM ESPECTRO DE RESPOSTA DE PROJETO

DANIELA DALLA CHIESA¹; LETÍCIA FLECK FADEL MIGUEL²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – daniela.chiesa@ufrgs.br

²Universidade Federal do Rio Grande do Sul – letffm@ufrgs.br

1. INTRODUÇÃO

A maioria dos códigos sísmicos retrata a ação sísmica através de um espectro de resposta (ER), contudo, alguns deles, como o Eurocódigo 8 (EUROCODE8, 2004), permitem que o movimento do solo seja representado através de acelerogramas artificiais, de duração finita T_s , gerados a partir de amostras de um processo estocástico estacionário gaussiano de média zero, caracterizado por uma função densidade espectral de potência¹ (FDEP) de aceleração do solo compatível com um ER (CACCIOLA; COLAIANNI; MUSCOLINO, 2004) (NAVARRA; BARONE; IACOMO, 2013). Em virtude disso, o grande desafio que se apresenta a pesquisadores da área é a elaboração de procedimentos que sejam capazes de definir, da melhor forma possível, uma FDEP compatível com o ER em questão. Com essa finalidade, inúmeras técnicas foram desenvolvidas ou aperfeiçoadas ao longo dos anos e estão disponíveis na literatura para a utilização, os trabalhos de UNRUH (1981), PFAFFINGER (1983), CACCIOLA, COLAIANNI e MUSCOLINO (2004), PREUMONT (2008), NAVARRA, BARONE e IACOMO (2013) e BARONE et al. (2015) ilustram algumas dessas propostas, entretanto, dentre as várias alternativas, o método desenvolvido por NAVARRA, BARONE e IACOMO (2013) e aprimorado, recentemente, por BARONE et al. (2015) ganha destaque por não utilizar procedimentos iterativos e avaliações numéricas e dessa maneira contribuir para diminuir consideravelmente o custo computacional.

Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo utilizar o método proposto por BARONE et al. (2015) para a geração de uma FDEP compatível com um espectro de resposta de pseudo-aceleração e, a partir dessa FDEP, proceder à geração de um acelerograma sísmico artificial. Para ilustrar os efeitos do acelerograma sobre uma estrutura são, então, calculados os seus espectros de resposta. Todos os procedimentos são realizados no programa MATLAB.

2. FUNÇÃO DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA COMPATÍVEL COM UM ESPECTRO DE RESPOSTA DE PROJETO

O método de NAVARRA, BARONE e IACOMO (2013) e BARONE et al. (2015) propõem a criação de uma função analítica para definir uma FDEP compatível com um ER e pode ser utilizada em substituição ao ER de alguns códigos sísmicos, como o Código Internacional de Construção (Estados Unidos da América), Eurocódigo 8 (União Européia), NRS10 (Colômbia), INEN-5 (Equador), entre outros.

¹ Também denominada espectro de potência.

Para a definição de uma FDEP analítica foi observado que os espectros de potência resultantes, a partir da definição de um processo estocástico estacionário, retornavam a uma FDEP cuja estrutura matemática é relativamente simples e totalmente definida pelo conhecimento de poucos parâmetros. Partindo dessas constatações BARONE et al. (2015) propuseram a seguinte função analítica para a FDEP $G(\omega)$:

$$G(\omega) = \begin{cases} G_0 \left(\frac{\omega_D}{\omega_C} \right)^{e2} \left(\frac{\omega}{\omega_D} \right)^{e1}, & 0 \leq \omega \leq \omega_D \\ G_0 \left(\frac{\omega}{\omega_C} \right)^{e2}, & 0 < \omega \leq \omega_C \\ G_0 \left(\frac{\omega}{\omega_C} \right)^{e3}, & 0 < \omega \leq \omega_B \\ G_0 \left(\frac{\omega_B}{\omega_C} \right)^{e3} \left(\frac{\omega}{\omega_B} \right)^{e4}, & \omega > \omega_B \end{cases}$$

onde G_0 é o valor de pico da função em $\omega = \omega_C$, ω representa a frequência circular, ω_B , ω_C e ω_D são as frequências circulares que delimitam cada trecho do espectro e $e1$, $e2$, $e3$ e $e4$ são parâmetros a serem determinados (para mais detalhes consultar BARONE et al. (2015)). A equação acima foi desenvolvida para um ER de 4 trechos, mas a metodologia é estendida considerando ER de 2 e 3 trechos.

A Figura 1a mostra a FDEP obtida, considerando um solo do tipo B e sismicidade do Tipo 1 do Eurocódigo 8. O valor da máxima aceleração do solo é $0,4g$ ($g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$) e a razão de amortecimento corresponde a 0,05.

3. GERAÇÃO DO ACELEROGRAMA SÍSMICO ARTIFICIAL

Um acelerograma sísmico artificial $\ddot{U}_g(t)$ pode ser gerado a partir da superposição de N harmônicas com ângulo de fase φ_j , cujos valores são escolhidos de forma aleatória e uniformemente distribuídos entre 0 e 2π :

$$\ddot{U}_g(t) = \psi(t) \sum_{j=1}^N \sqrt{2G(\omega)\Delta\omega} \cos(\omega_j t + \varphi_j),$$

onde t é o tempo, $\Delta\omega$ é o incremento de frequência e $\psi(t)$ é a função modulação, definida neste trabalho por JENNINGS, HOUSNER e TSA (1969).

A geração de acelerogramas artificiais pode resultar em velocidades e deslocamentos do solo que não condizem com a realidade, portanto, é necessário proceder com a correção do acelerograma. Com o objetivo de evitar esse tipo de fenômeno uma correção polinomial da linha de base da aceleração do solo proposta no trabalho de (CACCIOLA, 2010) é adotada. A Figura 1b mostra o acelerograma sísmico artificial gerado e a função modulação adotada.

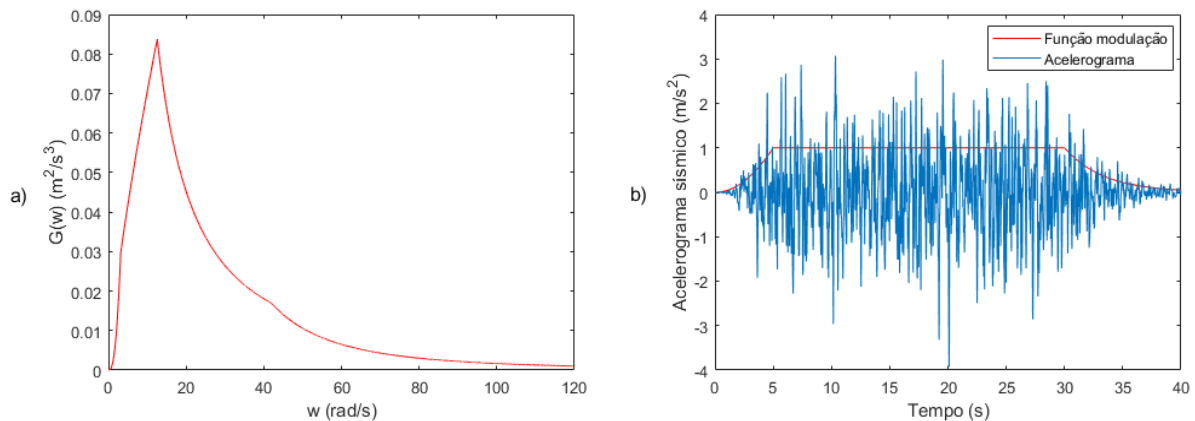


Figura 1: Espectro de potência (esquerda) e acelerograma sísmico artificial (direita).

Com o objetivo de ilustrar os efeitos do acelerograma sísmico artificial sobre uma estrutura, são apresentados, na Figura 2, os espectros de resposta de deslocamento, Figura 2a, pseudo-velocidade, Figura 2b, e pseudo-aceleração, Figura 2c.

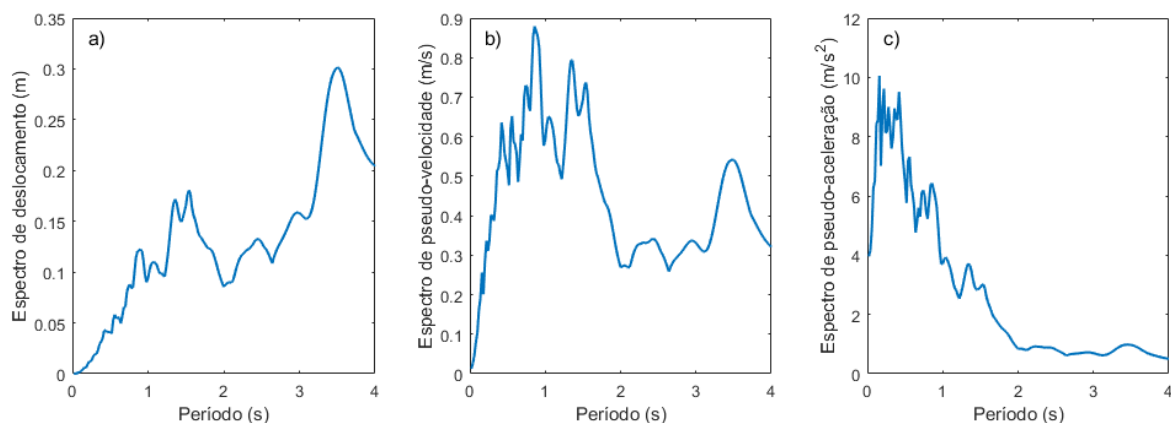


Figura 2: Espectros de respostas referentes ao sinal gerado.

4. CONCLUSÕES

Este estudo mostra como é possível gerar acelerogramas sísmicos artificiais que possam ser utilizados em substituição ao ER de vários códigos de construções. A geração do acelerograma, a partir de um espectro de potência compatível com um espectro de resposta de pseudo-aceleração, representa um avanço em termos de elaboração de projetos estruturais. Entretanto, é importante destacar que uma correção na sua linha de base é necessária a fim de se obter um sismo com características reais.

O estudo apresentado corresponde a um dos primeiros passos para a simulação de eventos sísmicos. Objetiva-se, ainda, a melhora do modelo para a geração do acelerograma, considerando um processo estocástico não estacionário, que é o objetivo principal a ser alcançado.

AGRADECIMENTOS: As autoras agradecem a CAPES e o CNPq pelo suporte financeiro.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARD, **EUROCODE8: Design of structures for earthquake resistance Part1: General rules, seismic actions and rules for buildings**. Brussels, Belgium: 2004. Acessado em 23 set. 2017. Online. Disponível em: <http://files.isec.pt/DOCUMENTOS/SERVICOS/BIBLIO/Documentos%20de%20acesso%20remoto/Eurocode-8-1-Earthquakes-general.pdf>

UNRUH, J. F.; KANA, D. D. An iterative procedure for the generation of consistent power/response spectrum. **Nuclear Engineering and Design**, v. 66, n. 3, p. 427–435, 1981.

NAVARRA, G.; BARONE, G.; IACOMO, F. L. Stochastic seismic analysis by using an analytical model of psd consistent with response spectra. In: **VIENNA CONGRESS ON RECENT ADVANCES IN EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS 2013 (VEESD 2013)**. Vienna, Austria: 2013. A-1, p. 1–10.

CACCIOLA, P.; COLAIANNI, P.; MUSCOLINO, G. Combination of modal responses consistent with seismic input representation. **Journal of Structural Engineering**, v. 1, n. 130, p. 47–55, 2004.

PREUMONT, A. A method for the generation of artificial earthquake accelerograms. **Nuclear Engineering and Design**, v. 59, n. 2, p. 357–368, 1980.

PFAFFINGER, D. D. Calculation of power spectra from response spectra. **Journal of Engineering Mechanics**, v. 109, n. 1, p. 357–372, 1983.

BARONE, G. et al. A novel analytical model of power spectral density function coherent with earthquake response spectra. In: **PROCEEDINGS OF UNCECOMP 2015: THE 1ST ECCOMAS THEMATIC CONFERENCE ON UNCERTAINTY QUANTIFICATION IN COMPUTATIONAL SCIENCES AND ENGINEERING**. Crete, Greece: 2015. p. 1–13.

JENNINGS, P.; HOUSNER, G.; TSA, C. Simulated earthquake motions for design purpose. In: **PROCEEDINGS OF THE 4TH WORLD CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING**. Santiago, Chile: 1969. p. 145–160.

CACCIOLA, P. A stochastic approach for generating spectrum compatible fully nonstationary earthquakes. **Computers and Structures**, v. 88, n. 15-16, p. 889–901, 2010.