

1

Introdução

Alguns fenômenos da natureza, tais como maremotos, terremotos, ventos e tornados, têm como característica marcante um grande número de condicionantes envolvidas que são difíceis de serem avaliadas e quantificadas adequadamente. Sendo assim, previsões de intensidade, duração, local e momento da ocorrência, por exemplo, ficam prejudicadas. Fenômenos com tais características são, naturalmente, considerados aleatórios.

Em conseqüência, as solicitações destes fenômenos sobre uma estrutura são, também, de caráter essencialmente aleatório. Além de randômicas, essas solicitações variam consideravelmente no tempo e, então, a estrutura responde dinamicamente.

A avaliação dos efeitos oriundos de tais fenômenos, sobre as mais variadas estruturas, seja um avião, um prédio, uma barragem ou uma usina nuclear, é um complexo desafio à engenharia estrutural, pois é imperativo que tais projetos sejam desenvolvidos de forma que a segurança do empreendimento seja preservada quando essas estruturas são submetidas aos efeitos dinâmicos e aleatórios dos fenômenos citados.

Uma das maneiras utilizadas para superar tal desafio consiste na aplicação de teorias probabilísticas à dinâmica estrutural. Tais teorias tratam, essencialmente, dos estudos das formas mais adequadas para avaliação das vibrações aleatórias produzidas por um terremoto, por exemplo, atuantes em uma estrutura qualquer e seus efeitos nesta mesma estrutura de forma a proceder ao seu adequado dimensionamento.

No caso dos projetos de usinas nucleares é de suma importância levar em consideração adequadamente as ações mais adversas atuantes nas estruturas, inclusive as oriundas de sismos, de forma que os critérios de segurança destas usinas sejam atendidos adequadamente.

1.1. Situação Geral

No setor de estruturas civis submetidas a cargas sísmicas, a forma mais difundida, no contexto mundial, de ser definido o movimento do terreno é, ainda, a de prescrever-se um espectro de resposta de projeto, ERP. Este pode ser usado diretamente em uma análise determinística modal espectral, ou para induzir a geração de uma série temporal da aceleração do terreno, isto é, um acelerograma, ou um conjunto destas funções para ser o ponto de partida para uma análise no domínio do tempo ou da frequência, com enfoque estatístico ou não.

No último caso, a geração de um acelerograma que possa reproduzir o ERP, com uma certa tolerância, não é um problema de solução unívoca, já que existe um número infinito dessas funções. Assim sendo, surge a dificuldade de escolher de um grupo de funções geradas qual ou quais as mais convenientes.

Em projetos de usinas nucleares no Brasil, atende-se ao recomendado por normas internacionais, entre as quais as da United States Nuclear Regulatory Commission (USNRC). O NUREG 0800 do USNRC/SRP [1] recomenda o emprego de uma função-objetivo para a densidade de espectro de potência unilateral (FDEPo), da série temporal da aceleração do movimento do terreno, abrangendo três níveis, de modo a assegurar um valor mínimo para a potência total da excitação e sua adequada distribuição ao longo da faixa de frequência de interesse. Assim sendo, existem três funções, Figura 1, com suas potencialidades postuladas [1].

Por outro lado, pode ser desejada a execução de uma análise não determinística, sobre modelo probabilístico, que conduza à avaliação da curva de fragilidade da estrutura em projeto, convenientemente fracionada em elementos ou em conjunto de elementos estruturais.

Em tal situação, pode ser desejável trabalhar-se com uma FDEP do movimento do terreno, que represente a sismicidade da região avaliada para o sítio do projeto, como ponto de partida para a análise probabilística.

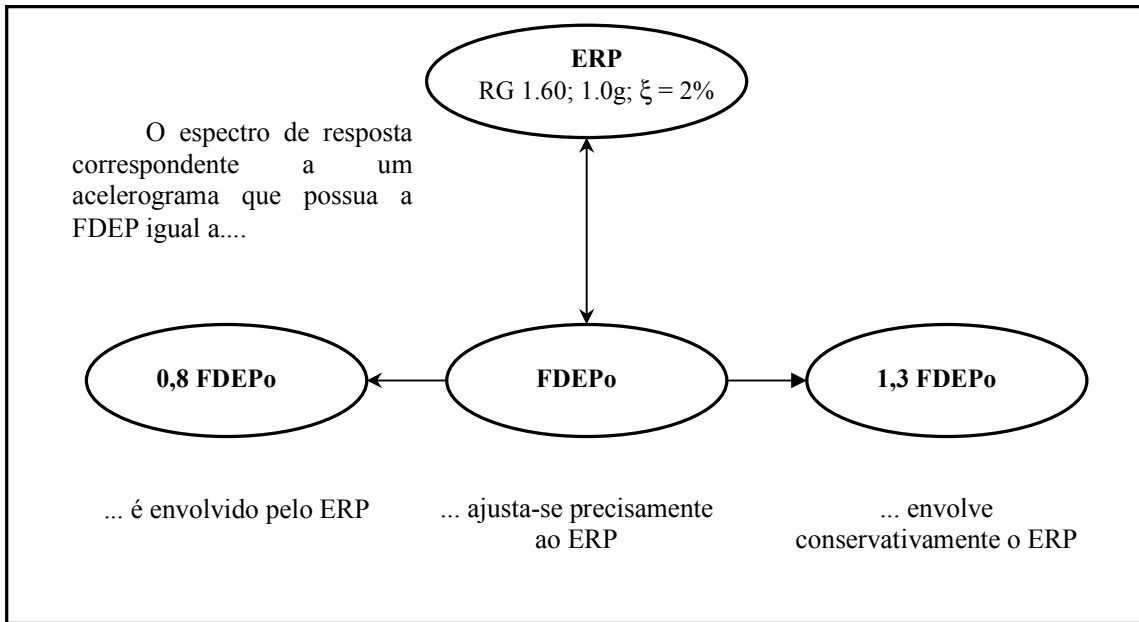


Figura 1 - Compromisso entre FDEPo e ERP.

Nesta altura, é conveniente uma reflexão sobre o papel das duas funções, ERP e FDEP, em termos da sismicidade de uma região referida a um sítio.

Historicamente, o espectro de resposta de projeto (ERP) tem sido usado como o recurso principal para definir a excitação sísmica para um sítio, o que ainda é praticado nos dias atuais. Assim sendo, infere-se que o ERP é um elemento definidor da sismicidade de uma região referida a um sítio e que representa a envoltória espectral da resposta máxima de um sistema com um grau de liberdade localizado no sítio, com frequência natural e amortecimento variáveis, submetido a todos os prováveis sismos da região; este espaço amostral pode também ser representado pelo conjunto dos sismos já ocorridos no passado, convenientemente analisados e reunidos em um catálogo de eventos cuja completeza seja também demonstrada.

Por sua vez, a FDEP representa o espaço amostral dos sismos de uma região referidos a um sítio, que integram um processo fracamente estacionário com potência total máxima correspondente à área sob essa mesma curva, a qual fornece também a distribuição dessa potência, tudo ao longo da faixa de frequências de interesse. Existindo um catálogo de sismos, como mencionado no parágrafo anterior, pode-se gerar uma FDEP envoltória para o sítio que, naturalmente, representará um espaço amostral mais numeroso que o dos

sismos realmente ocorridos. Tal FDEP pode ser assim denominada de função-objetivo, FDEP_o, e admitir diversificação em outros níveis, como feito no NUREG 0800 [1].

A situação ideal seria aquela em que a quantidade de dados sobre a sismicidade da região fosse suficiente, de modo a permitir a proposta simultânea do ERP e da FDEP_o, do movimento do terreno sobre o mesmo conjunto de informações. Então, o usuário poderia escolher a sua opção de análise, determinística ou não, sem a preocupação com a consistência dos dados sísmicos. Infelizmente, isto não acontece de maneira geral, e, em particular no Brasil, onde as informações sobre a sismicidade são bastante limitadas. Diniz, [2].

1.2. Situação Particular

Esta problemática, ERP X FDEP_o, é analisada por Diniz [2], que propõe uma metodologia, baseada na distribuição da probabilidade de uma função integrante de um processo aleatório fracamente estacionário, definido por uma função densidade de espectro potência, ultrapassar pela primeira vez um nível de barreira determinado (Vanmarcke [3]). Por essa proposta é possível, a partir de um ERP e de uma FDEP, determinar para cada frequência ω do espectro, a probabilidade da resposta de um sismo qualquer com densidade de espectro de potência igual à fornecida, não ultrapassar a barreira representada pela ordenada do ERP na mesma posição do espectro. Desta forma, é estabelecido um compromisso probabilístico entre as ordenadas do ERP e as da FDEP.

No prosseguimento da mesma proposta, a autora resolve o problema inverso: adota uma probabilidade de não ultrapassar constante para todos os valores de frequências, e calcula as correspondentes barreiras normalizadas que passam a representar, após convenientemente dimensionadas, as ordenadas de um ERP as quais mantêm um compromisso probabilístico único com a FDEP_o. Este espectro de resposta de projeto é chamado de uniformemente provável (ERUP). Este procedimento está apresentado, esquematicamente na Figura 2.

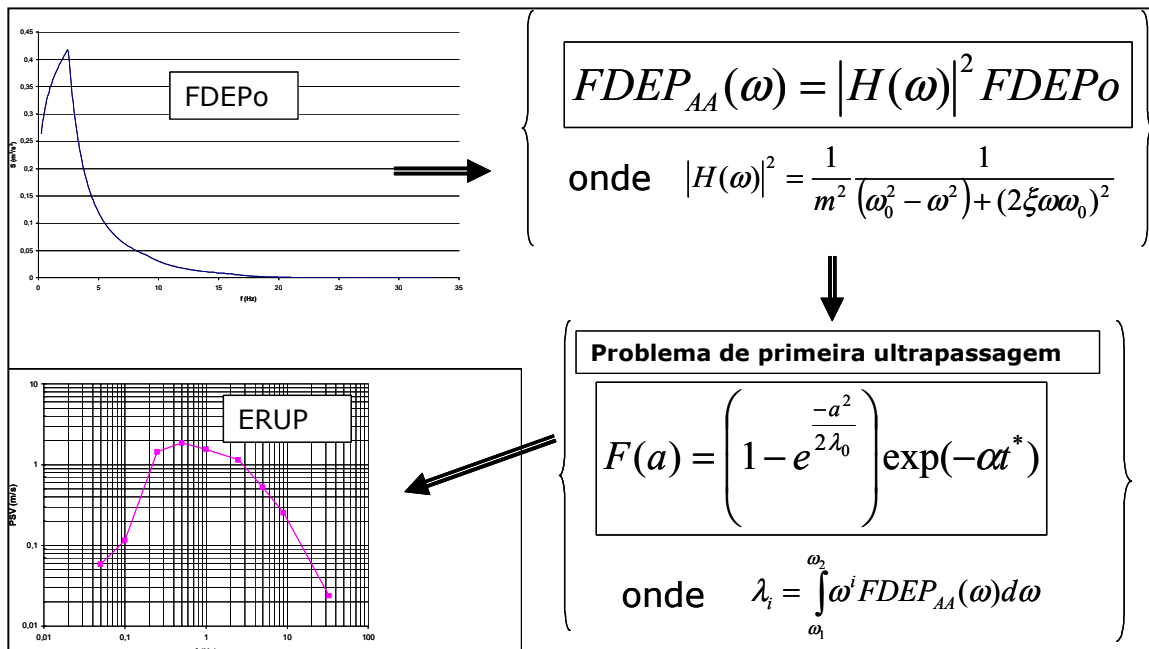


Figura 2 – Esquema de obtenção de ERUP, proposto por Diniz [2]

Os ERUP, têm grande importância na análise de sistemas secundários de Usinas Nucleares, conforme descrito por Sampaio [3]:

“Uma das áreas particulares que tem sido objeto de estudo é a relacionada ao projeto de sistemas secundários, ou seja, sistemas apêndice à estrutura principal e que recebem, através desta, a excitação, tais como tubulações e equipamentos. Estes são sistemas vitais para um desligamento seguro de usinas nucleares em caso de terremoto. Além disso, apresentam-se com grande número de graus de liberdade e em diversidade, características que dificultam sua modelagem e que acabam por determinar o método de análise a ser utilizado.

A metodologia corrente na análise de sistemas secundários de instalações de usinas nucleares é ainda a análise modal espectral. É um método de simples aplicação e entendimento, mas que incorpora uma série de pontos de conservadorismo na sua forma usual. Dentre estes pontos tem-se o desacoplamento entre os sistemas principal e secundário, o movimento relativo dos suportes, a consideração dos modos rígidos e a consideração de comportamento não linear. Devido a estas incertezas, os sistemas de tubulação, atualmente, são projetados para cargas elevadas que determinam um grande número de suportes, o que onera ainda mais o projeto, a inspeção e a manutenção destes sistemas.”

A aplicação de ERUP no projeto dos sistemas secundários de instalações industriais sensíveis às cargas sísmicas torna-se, assim, uma solução prática e econômica. Prática por usar somente a FDEP do sismo. E econômica por permitir a obtenção dos espectros de resposta acoplada, com consideração do deslocamento relativo dos suportes do Sistema

Secundário (SS) no Sistema Principal (SP) e cujas ordenadas mantêm um compromisso probabilístico único com as ordenadas da FDEP.

Neste quadro, surge a conveniência de ser verificada a precisão do método proposto para obtenção dos ERUP e da sua implementação utilizando um procedimento com formulação estatística.

1.3. Objetivo

O objetivo principal consiste na avaliação numérica estatística da metodologia proposta por Diniz [2], para obtenção de espectros de resposta uniformemente prováveis, e fundamentada na determinação da distribuição de probabilidade dos valores extremos da resposta de um sistema com um grau de liberdade, submetido a movimentos de terreno oriundos de terremotos. Tais movimentos são caracterizados por funções de densidade de espectro de potência, cada uma das quais representando uma família de sismos.

Como objetivo secundário é feita uma comparação dos ERUP obtidos estatisticamente, originados da FDEPo prescrita pela USNRC [1], com o espectro de resposta de projeto também definido pela USNRC [13] de forma a verificar o compromisso entre o ERP e a FDEPo.