

1 Introdução

A importância dos projetos de usinas nucleares e a necessidade de que estas sejam projetadas para seguramente resistir às condições mais adversas, em particular aos sismos, tem motivado um grande esforço de pesquisa que contribui não somente para a indústria nuclear, mas para a engenharia de terremotos como um todo.

Uma das áreas que tem sido objeto de estudo é a relacionada ao projeto de sistemas secundários, ou seja, sistemas apêndices 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 no caso da ocorrência de um 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 a análise modal espectral. É um método de simples aplicação e entendimento, mas que incorpora uma série de pontos de conservadorismos na sua forma usual. Dentre estes pontos tem-se o acoplamento entre os sistemas principal e o secundário, o movimento relativo dos suportes, a consideração dos modos rígidos e a consideração de comportamento não linear. Devido a estes conservadorismos, os sistemas de tubulação, no presente, 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.

Trabalhos como os de Valverde (1998), Gastanaga (1998) e Sampaio (1999) atentam para estas considerações no âmbito das usinas nucleares brasileiras, incorporando os efeitos de acoplamento e do movimento relativo dos suportes à

rotina de obtenção de espectros de resposta. Seguindo uma outra linha, a de análise de risco sísmico, Diniz de Almeida (2002) avalia o compromisso probabilístico entre as ordenadas dos espectros de resposta de projeto e uma densidade de espectro de potência representativa da sismicidade da região. Em conjunto, estes trabalhos produzem um espectro de resposta acoplada de projeto uniformemente provável para sistemas secundários elásticos.

No entanto, ainda há a necessidade da consideração de comportamento inelástico dos sistemas secundários.

Tal assunto vem sendo discutido e estudos publicados (Adam e Fotiu, 2000; Aoki e Watanabe, 2000; Roehl, 1971 e Veletsos, 1965) apontam para uma redução nos picos das respostas, no caso de sistemas sintonizados, devido à absorção da energia de vibração pelo comportamento inelástico. E, em alguns casos de sistemas com vários graus de liberdade, o pico de aceleração na região de baixos períodos é amplificado, ao invés de ser reduzido, devido aos efeitos dos modos altos. Além de modificar a amplitude da resposta, o escoamento da estrutura também provoca alterações nas configurações modais e nas frequências naturais do sistema.

Segundo Slagis (1991) a consideração de ductilidade e da absorção de energia inelástica é necessária para projetar corretamente sistemas de tubulação sob efeitos sísmicos.

Além disso, os sistemas de tubulação são regularmente revisados para cargas novas ou modificadas que algumas vezes são maiores do que as que os sistemas foram originalmente dimensionados a resistir. Qualquer redução na resposta devido à ductilidade irá ter um impacto positivo nos processos de projeto e qualificação (Okeil e Tung, 1995).

Tem-se como objetivo, neste trabalho, estudar o problema de obtenção de espectros de resposta de projeto para sistemas secundários submetidos a cargas

sísmicas e desenvolver metodologia para sua obtenção. Incluir nos procedimentos recursos para a consideração de:

- Deslocamentos relativos entre pontos de apoio do SS no SP;
- Efeitos de interação dinâmica entre os sistemas secundário e principal;
- Interação solo estrutura
- Um compromisso probabilístico único entre as ordenadas do espectro de resposta de projeto e a função de densidade de espectro de potência representativo da sismicidade da região do sítio da obra.
- Não linearidades e inelasticidades no sistema secundário;

Desenvolve-se o trabalho em cinco capítulos:

- No Capítulo 2 a análise de sistemas secundários e, em particular, o método de análise modal espectral, são brevemente explorados, ressaltando-se seus aspectos mais relevantes;
- A metodologia para avaliação dos efeitos da consideração de sistemas secundários inelásticos é desenvolvida sobre um sistema secundário simplificado no Capítulo 3;
- No Capítulo 4 os resultados são apresentados e comentados e, exemplifica-se a metodologia de obtenção de espectro de resposta acoplada de projeto uniformemente provável para sistemas inelásticos;
- O Capítulo 5 é reservado às conclusões, contribuições e sugestões para prosseguimento da pesquisa.