

5

Verificação do compromisso probabilístico entre as funções básicas, ERP e FDEPo, prescritas pela USNRC.

Neste momento, torna-se interessante comparar os ERUP obtidos estatisticamente da forma como é feito no presente trabalho e originados da FDEPo prescrita pela USNRC [1], com o espectro de resposta de projeto também definido pela USNRC [13].

Para tanto, é gerada mais uma família de sismos pertencente a um processo aleatório estacionário de segunda ordem definido pela FDEPo definida pela USNRC [1], com número crescente de elementos. A seguir, é utilizado o mesmo procedimento descrito nos itens 4.2 a 4.4, utilizando, nesta etapa, a FDEPo como entrada.

A seguir são apresentados o ERP [13] e a FDEPo [1], ambos prescritos pela USNRC, e os resultados mais relevantes da análise estatística realizada. São feitas, ainda: a comparação dos ER e ERUP obtidos, a comparação destes com o ERP da USNRC [13], as correspondentes análises dos resultados e suas conclusões.

5.1.

Par de funções ERP e FDEPo.

A Figura 32 mostra o ERP prescrito pela USNRC [13], esta função é normalizada para o módulo da aceleração máxima do sismo igual a 1,0g e definida na faixa de 0,25 a 33Hz.

A Figura 33 mostra a FDEPo prescrita pela USNRC [1], normalizada para o módulo da aceleração máxima do sismo igual a 1,0g.

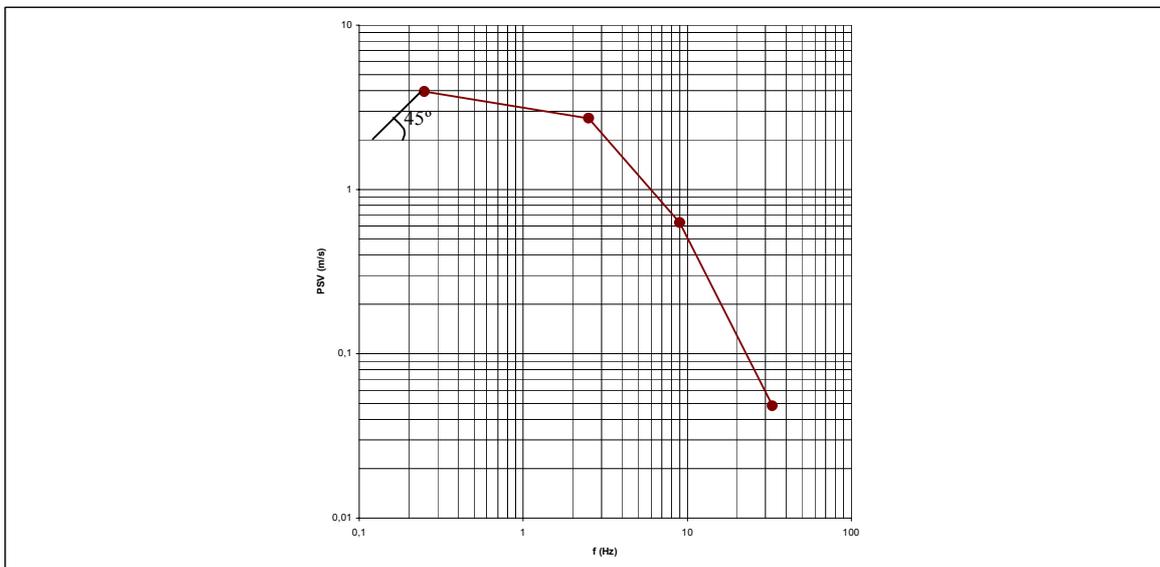


Figura 32 – Espectro de Resposta de Projeto da USNRC [13].

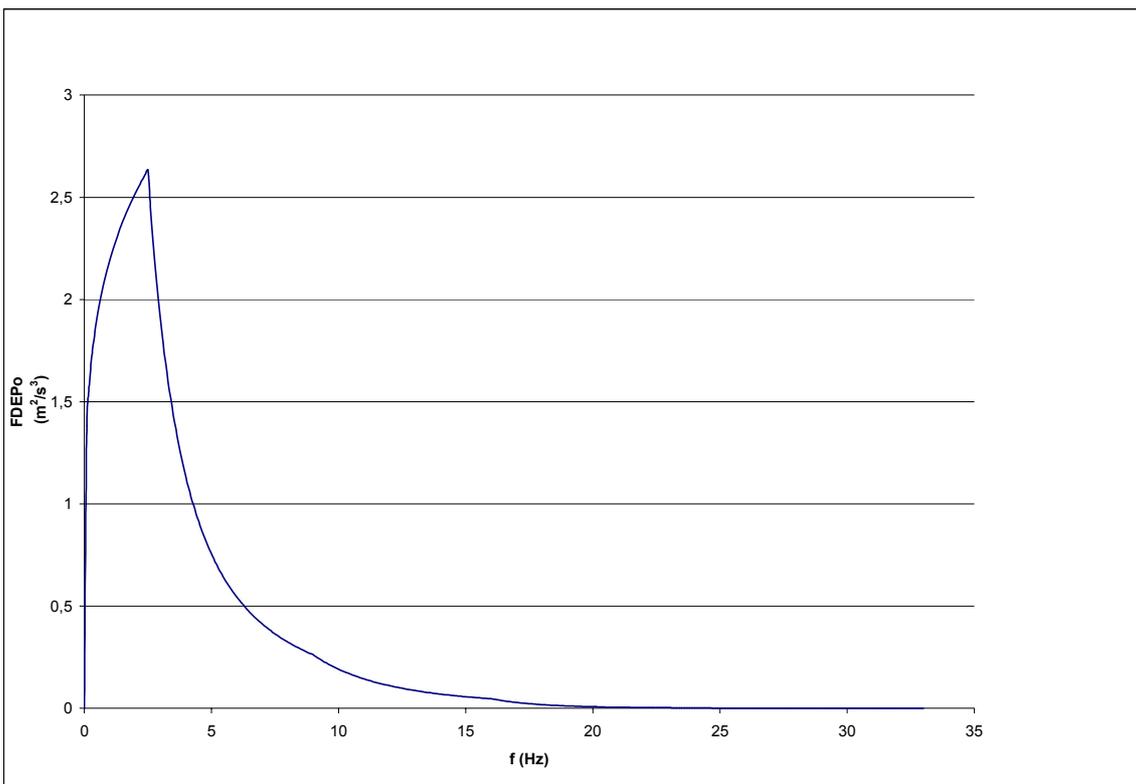


Figura 33 – Função Densidade de Espectro de Potência Objetivo, FDEPo, da USNRC [1].

5.2. Comparação entre ERUP oriundos da FDEPo e o ERP prescrito pela USNRC

A comparação do ERUP-50% e do ERUP-84%, ambos com $\xi = 2\%$, gerados a partir da FDEPo [1] com o ERP da USNRC [13], normalizado para 1,0g, também com $\xi = 2\%$, faz-se interessante por mostrar, em termos de probabilidade, e, de modo ilustrativo, como se comporta o ERP da USNRC [13].

Esta comparação é mostrada pela Figura 34 e pela Tabela 25.

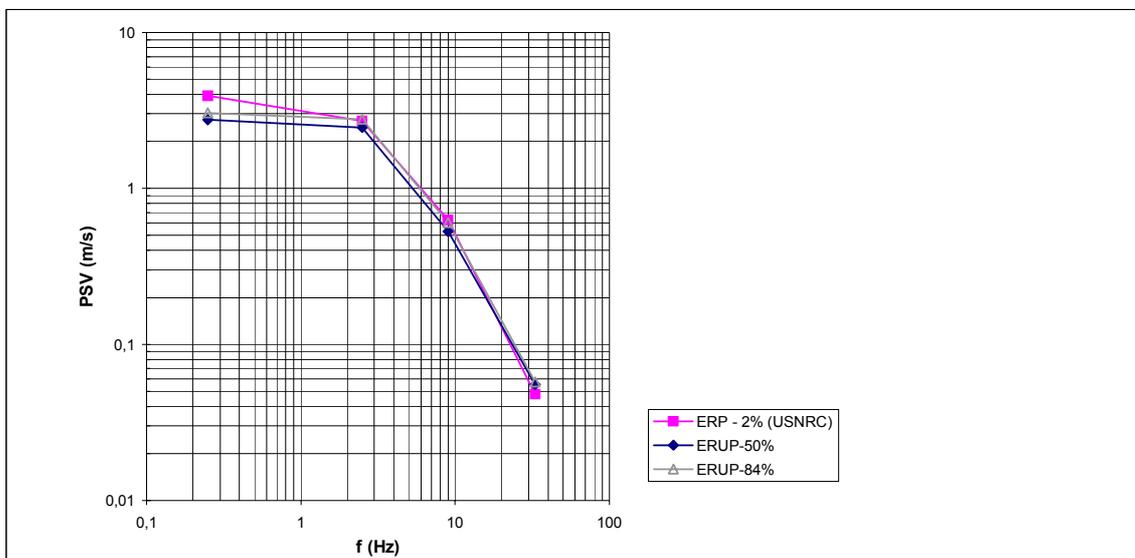


Figura 34 - Comparação do ERUP-50% e do ERUP-84% com o ERP da USNRC [13]

FREQÜÊNCIA	ERP - 2% (USNRC)	ERUP-50%	ERUP-84%
0,25	3,927	2,757	3,051
2,5	2,706	2,449	2,767
9	0,626	0,531	0,602
33	0,048	0,055	0,058

Tabela 25 - Valores de PSV do ERUP-50%, do ERUP-84% e do ERP da USNRC.

Os valores de PSV do ERUP-50%, originados a partir da FDEPo, mostram-se, conforme o esperado, abaixo dos valores do ERP da NRC [13], exceto para o valor correspondente a 33Hz. Isso demonstra que os valores de PSV, dos ER correspondentes a sismos gerados a partir da FDEPo da USNRC [1], têm mais de 50% de chances de permanecerem com valores inferiores aos do ERP da USNRC [13].

No caso da comparação com o ERUP-84% pode-se verificar que os valores de PSV correspondentes às frequências iguais a 2,5 e 33Hz estão, respectivamente, 2% e 20% acima dos valores do ERP da NRC [13]. Já os valores de PSV correspondentes às frequências iguais a 0,25 e a 9Hz estão, respectivamente, 22% e 4% abaixo dos seus correspondentes no ERP [13]. Dessa maneira pode-se afirmar que as ordenadas dos ER de sismos gerados artificialmente de acordo com a FDEPo da USNRC [1], têm, aproximadamente, 84% de chance de serem inferiores aos correspondentes valores do ERP [13].

5.3.

Avaliação do critério, recomendado pela USNRC, para atribuição de nível e distribuição de potência ao sismo de projeto

É também interessante verificar se o preconizado pela USNRC [1], conforme mostrado no item 1.1, Figura 1, é atendido pelos ER e/ou pelos ERUP gerados estatisticamente, a partir da FDEPo da USNRC [1].

O NUREG-0800 [1], sugere que qualquer sismo artificial gerado com base no ER estabelecido pelo “*Regulatory Guide 1.60*” [13], deve ter uma adequada distribuição de potência pelas frequências e uma potência total mínima de forma a ser considerado apropriado para utilização em um projeto, especialmente nos casos em que se deseja utilizar um número reduzido de acelerogramas na análise sísmica das estruturas. Para atender a este propósito recomenda que se considere como paradigma a FDEPo da Figura 33.

Na definição dessa função, FDEPo, são usadas ainda as seguintes propriedades:

1. A FDEPo, Figura 33, está normalizada para aceleração máxima do terreno de 1,0g;
2. Um sismo gerado atendendo à FDEPo, com seu acelerograma “clipped” em 1g, deve produzir espectro de resposta que se aproxime com precisão do ERP definido no “*Regulatory Guide 1.60*” [13] com 2% de amortecimento, para todas as frequências acima de 0,25Hz;
3. Um sismo gerado atendendo à 0,8FDEPo terá seu correspondente espectro de resposta envolvido pelo ERP com 2% de amortecimento;

4. Um sismo gerado atendendo à $1,3FDEPo$, com seu acelerograma “clipped” em $1g$, deverá ter seu correspondente espectro de resposta envolvendo de forma conservativa o ERP com 2% de amortecimento.

Para tal, seria necessário gerar sismos artificiais com base em duas outras FDEP: uma que seja igual a 80% da FDEPo e a outra igual a 130% da FDEPo, para, em seguida, proceder a obtenção de ER e dos ERUP.

Entretanto, não é preciso fazer isto.

Para obter-se o ER correspondente a um sismo gerado pela FDEPo multiplicada por um valor β (No caso $\beta = 0,8$ e $\beta = 1,3$), basta considerar que: de acordo com a expressão (4.17), admitindo-se naturalmente que o vetor de ângulos randômicos seja o mesmo, multiplicar a FDEPo por um fator β equivale a realizar a mesma operação por $\sqrt{\beta}$ sobre o acelerograma do sismo gerado e, em consequência, sobre o ER. Sendo assim, basta aplicar o fator $\sqrt{\beta}$ sobre os valores de PSV dos ER gerados com base na FDEPo.

A seguir, são mostrados os resultados obtidos e efetuadas as comparações destes com o ERP [13].

5.3.1.

Comparação do ERUP - 50% e do ERUP – 84%, para 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP prescrito pela USNRC

Complementando o item 5.2 de forma a atender o descrito no item 5.3. a Figura 35 e a Tabela 26 mostram a comparação do ERUP-50%, originado a partir da 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP da USNRC [13], normalizado para $1,0g$, com $\xi = 2\%$.

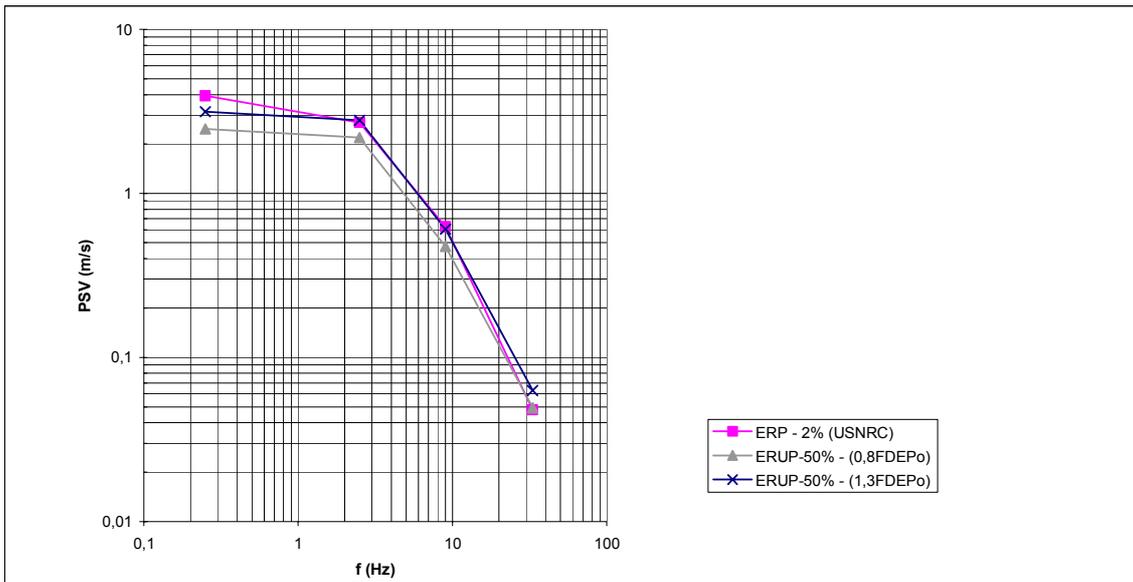


Figura 35 - Comparação dos ERUP-50%, para 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP da USNRC [13].

FREQÜÊNCIA	ERP - 2% (USNRC)	ERUP-50% - (0,8FDEPo)	ERUP-50% - (1,3FDEPo)
0,25	3,927	2,466	3,144
2,5	2,706	2,190	2,792
9	0,626	0,475	0,606
33	0,048	0,049	0,063

Tabela 26 - Valores dos ERUP-50%, para 0,8 e 1,3FDEPo, e os do ERP da USNRC [13].

Do resultado desta comparação pode-se observar que existe mais de cinquenta por cento de probabilidade dos valores de PSV do ER, originados por um sismo artificial que atenda a 0,8FDEPo, permaneçam abaixo dos valores do ERP [13].

Dos valores de PSV do ER, originados por um sismo artificial que atenda a 1,3FDEPo, somente o correspondente à frequência de 33Hz fica acima do valor do ERP [13]. Isto mostra que há 50% de probabilidade dos ER de sismos gerados atendendo a 1,3FDEPo não ultrapassarem os valores do ERP o que contraria a propriedade quatro da FDEPo, transcrita no item 5.3, pág. 73.

Na Figura 36 e na Tabela 27, é mostrada a comparação do ERUP-84%, originado a partir da FDEPo, para 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP da USNRC [13], normalizado para 1,0g, com $\xi = 2\%$.

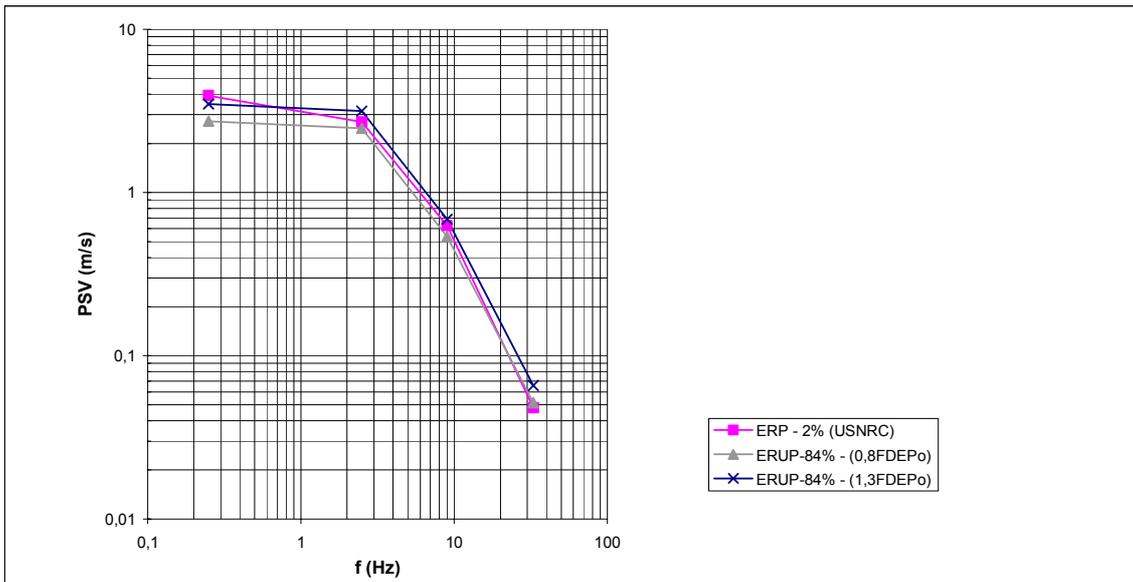


Figura 36 - Comparação dos ERUP-84%, para 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP da USNRC [13].

FREQUÊNCIA	ERP - 2% (USNRC)	ERUP-84% - (0,8FDEPo)	ERUP-84% - (1,3FDEPo)
0,25	3,927	2,729	3,478
2,5	2,706	2,475	3,155
9	0,626	0,538	0,686
33	0,048	0,052	0,066

Tabela 27 - Valores dos ERUP-84%, para 0,8 e 1,3FDEPo, e do ERP da USNRC [13].

De acordo com a propriedade três, enunciada no item 5.3, todos os valores de PSV de um ER qualquer, originado por um sismo artificial gerado a partir da 0,8FDEPo da USNRC [1], devem ser inferiores aos do ERP desta mesma USNRC [13]. Isto acontece, com 84% de probabilidade, para todos os PSV, exceto para a correspondente à frequência de 33Hz.

No caso dos ER gerados por sismos artificiais originados pela 1,3FDEPo, todos os valores de PSV devem estar acima dos correspondentes do ERP da USNRC [13]. Isto ocorre, com 84% de probabilidade para as frequências iguais a 2,5, 9 e 33Hz. Para a frequência igual a 0,25Hz, o valor de PSV, com 84% de probabilidade de não ser ultrapassado, mostra-se inferior à PSV do ERP [13].

Para esclarecer melhor estes resultados, torna-se conveniente avaliar como se comportam os valores de PSV das envoltórias mínima e máxima, quando utilizados as 0,8 e 1,3FDEPo.

É o que se apresenta no item seguinte.

5.3.2.

Comparação da Envoltória Mínima dos Espectros de Resposta obtidos estatisticamente, para 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP prescrito pela USNRC

Na Figura 37 e na Tabela 28 é feita a comparação dos valores da envoltória mínima dos espectros de resposta (ENV-MIN-2%), para 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP da USNRC [13], normalizado para 1,0g, com $\xi = 2\%$.

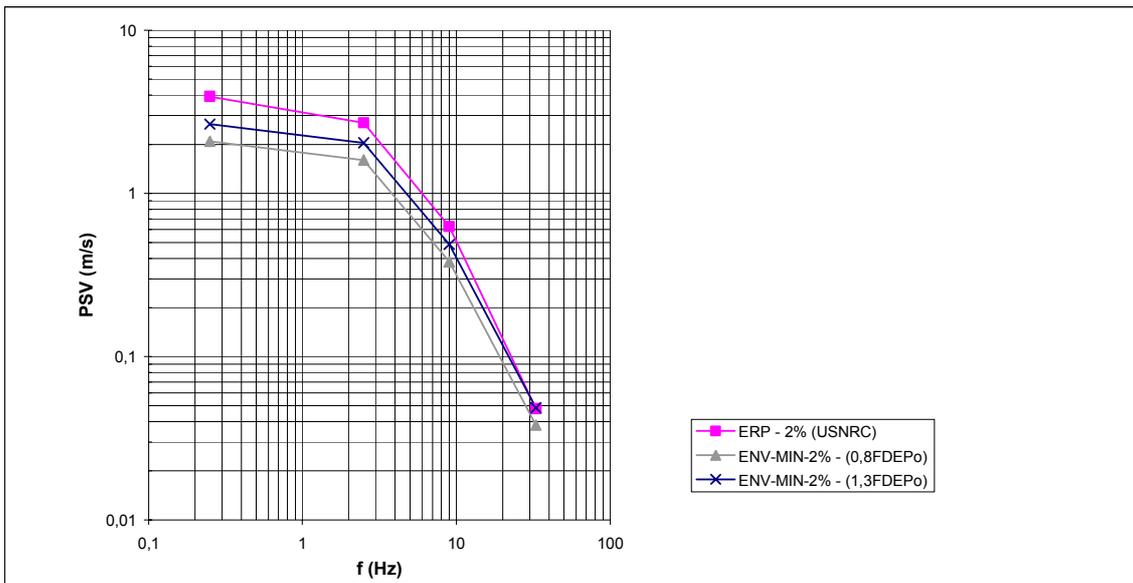


Figura 1 - Comparação de ENV-MIN-2%, para 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP da USNRC [13].

FREQÜÊNCIA	ERP - 2% (USNRC)	ENV-MIN-2% - (0,8FDEPo)	ENV-MIN-2% - (1,3FDEPo)
0,25	3,927	2,085	2,658
2,5	2,706	1,601	2,041
9	0,626	0,381	0,486
33	0,048	0,038	0,049

Tabela 28 - Valores de ENV-MIN-2%, para 0,8 e 1,3FDEPo, e do ERP da USNRC [13].

Os valores de PSV da envoltória mínima, originado a partir de 0,8FDEPo, ficam abaixo dos valores de PSV do ERP [13], conforme a propriedade três do item 5.3., pág. 72.

De acordo com a propriedade quatro, apresentada no mesmo item, o ER de um sismo artificial gerado a partir da 1,3FDEPo deve envolver conservativamente o ERP [13]. Porém, todos os valores de PSV apresentados, exceto o correspondente à frequência igual a 33Hz, ficam abaixo deste ERP [13].

5.3.3.

Comparação da Envoltória Máxima dos Espectros de Resposta obtidos estatisticamente, para 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP prescrito pela USNRC

Na Figura 38 e na Tabela 29 é feita a comparação do ENV-MAX-2%, para 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP da USNRC [13], normalizado para 1,0g, com $\xi = 2\%$.

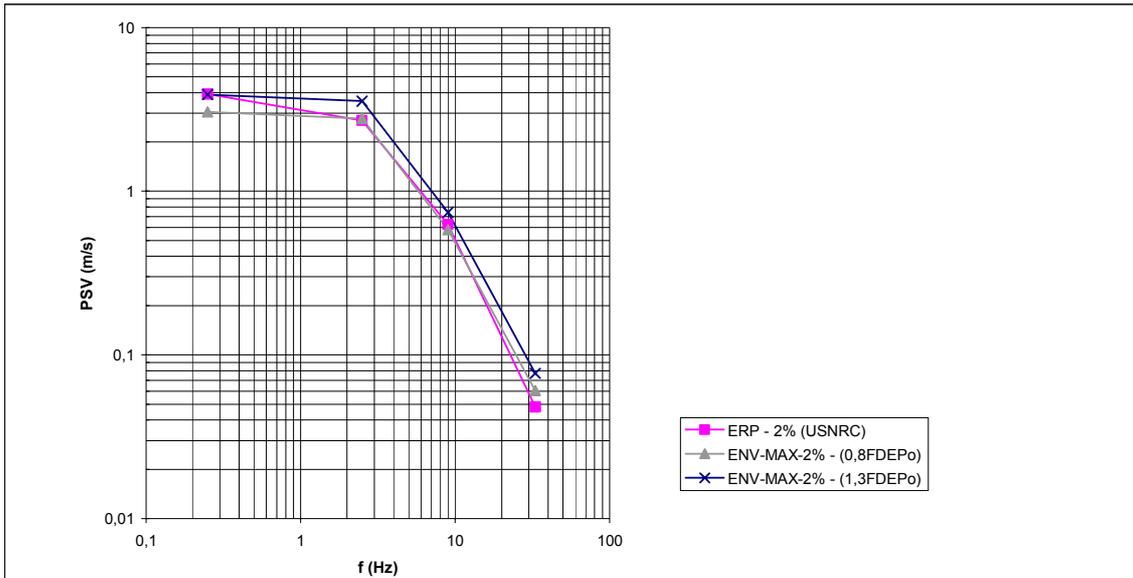


Figura 38 - Comparação de ENV-MAX-2%, para 0,8 e 1,3FDEPo, com o ERP da USNRC [13].

FREQÜÊNCIA	ERP - 2% (USNRC)	ENV-MAX-2% - (0,8FDEPo)	ENV-MAX-2% - (1,3FDEPo)
0,25	3,927	3,056	3,895
2,5	2,706	2,782	3,547
9	0,626	0,583	0,743
33	0,048	0,061	0,077

Tabela 29 - Valores de ENV-MAX-2%, para 0,8 e 1,3FDEPo, e do ERP da USNRC [13].

Como a envoltória máxima das PSV representa os máximos valores obtidos no ER do conjunto de sismo gerados, é esperado que estes valores obedeçam as propriedades três e 4 assinaladas no item 5.3. Porém, no que concerne à propriedade três, os PSV correspondentes às frequências 2,5 e 33Hz não obedecem este critério. No caso da verificação da propriedade quatro, pode-se observar que a PSV correspondente à frequência 0,25Hz também não atende este requisito.

5.4. Conclusão

Torna-se evidente que o espectro de resposta de qualquer sismo artificial gerado atendendo à FDEPo do NUREG-0800 [1], quando comparado com o espectro de resposta de projeto do “*Regulatory Guide 1.60*” [13], muitas vezes não atende as relações prescritas. Desta maneira, cabe ser afirmado que as propriedades da FDEPo estão enunciadas de forma imprecisa no próprio NUREG-0800 [1].