



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

A utilização de espectro de resposta para análise dinâmica de estruturas nucleares

Leonam dos Santos Valente, leonamvalente@gmail.com
Sergio Hampshire de Carvalho Santos, sergiohampshire@poli.ufrj.br
Silvio Souza Lima, sdesouzalima@gmail.com
Júlio Jerônimo Holtz Silva Filho, julioholtzfilho@yahoo.com.br

O presente artigo tem como objetivo demonstrar como se processa a geração do espectro de resposta, sua finalidade, e aplicação em exemplos que facilitem o entendimento e a utilização desse recurso. A aplicação dos exemplos se baseia nas normas da U.S.NRC (*United States Nuclear Regulatory Commission*).

A análise de uma estrutura nuclear requer cuidados especiais e a negligência nesse tipo de estrutura pode comprometer severamente o meio ambiente e por em risco a vida de muitas pessoas. Por isso é necessário uma análise mais complexa com a utilização de métodos que considerem efeitos dinâmicos, provocados pelos seguintes carregamentos, entre outros: efeitos sísmicos, de explosão e efeitos de tornados com impacto de mísseis.

Todos os exemplos listados anteriormente têm em comum a geração de um carregamento dinâmico do tipo aperiódico, ou seja, que varia em um determinado tempo, podendo ser transiente (sismo) ou impulsivo (explosão e míssil).

O espectro de resposta é a representação da resposta máxima, em função do período ou frequência, de um sistema com um grau de liberdade, para um determinado tipo de excitação.

A partir do espectro de resposta de carregamentos impulsivos (de curta duração de tempo) é possível gerar um gráfico do Fator de Amplificação Dinâmica (FAD) vs. t/T (tempo por Período), de fácil utilização e capaz de simplificar o processo de cálculo dinâmico para uma simples aplicação de um coeficiente que transforma o carregamento em um estático equivalente.

Palavras-chave:

Espectro de resposta; análise dinâmica; estrutura nuclear.



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

1. Introdução

Esse artigo apresenta a aplicação do conceito de espectro de resposta como ferramenta auxiliar na análise de uma estrutura de uma instalação ligada à indústria nuclear. Neste tipo de estrutura a questão da segurança é essencial, no sentido de levar a um mínimo o risco de extravasamento de material radioativo. Desta forma, neste projeto, são considerados carregamentos excepcionais, dentre eles, efeitos decorrentes da ocorrência de um tornado, sismo e uma explosão de TNT nas proximidades da estrutura.

Para a consideração dos efeitos dinâmicos, na ausência de normalização brasileira específica neste assunto, devem ser aplicadas normas estrangeiras, com as da USNRC (“U.S. Nuclear Regulatory Commission”).

Os efeitos dinâmicos estudados podem ser classificados como carregamento dinâmico do tipo aperiódico, ou seja, com variação arbitrária em um determinado tempo podendo, ou não, ser explicitamente definido por uma função. Estes carregamentos podem ser transientes (caso dos sismos) ou impulsivos (casos de explosões e impacto de míssil). Os efeitos impulsivos acontecem em um curto período de tempo, enquanto que, os do tipo transiente ocorrem por um período de tempo maior.

A solução do problema dinâmico para os carregamentos do tipo aperiódico muitas vezes não é encontrada analiticamente, fazendo-se necessária uma avaliação numérica. Assim, assume-se que a excitação seja representada em uma sucessão de intervalos de tempo.

Uma possibilidade de resolução numérica das equações é pela integração de Duhamel, obtendo-se os espectros de respostas.

2. Efeitos analisados

2.1. Efeito de tornado

Os efeitos causados pelo tornado podem gerar três carregamentos principais, a serem combinados entre si e com os carregamentos usualmente considerados na análise estrutural:

- Pressão devida à ação direta do tornado como vento na estrutura, que corresponde a uma análise de vento constante incidindo diretamente na estrutura;
- Efeito da variação de pressão atmosférica, também de efeito estático, que representa uma ação indireta do tornado, devida à variação de pressão entre o meio interno e externo da estrutura;
- Impacto de míssil carregado pelo tornado, que corresponde à colisão de um objeto com determinada massa na estrutura considerada.

Apesar da importância dos três efeitos sobre a estrutura, apenas o efeito do impacto do míssil será aqui considerado, por ser de natureza dinâmica. O valor do impulso correspondente só irá depender da massa arremessada e da velocidade com que essa massa intercepta a estrutura.



2.1.1 Definição do impulso do míssil

O impulso do míssil é definido a seguir, de acordo com VALENTE et al (2011) para um tornado de categoria F3, que é o correspondente às condições meteorológicas do Sudeste brasileiro:

$$I = M_m \times V_s = 28,3\text{kN.s} \quad (1)$$

Onde os valores de V_s e M_m são dados pelo REGULATORY GUIDE 1.91 (1978):

V_s = Velocidade com que a massa atinge o alvo (24 m/s);

M_m = Massa considerada para o míssil (1178 kg).

Adota-se para o impulso uma variação equivalente a um quarto de senóide, com frequência circular $\omega = 20 \text{ rad/s}$ e período $T = 2\pi/\omega = 0,214 \text{ s}$. A força máxima acontece a $T/4 = 0,0785 \text{ s}$. A função que representa a força aplicada é dado por:

$$F(t) = 565,5 \times \sin(20t) \quad (2)$$

A Figura 1 representa a função $F(t)$ (formula 2), variando de 0 a 0,0785s.

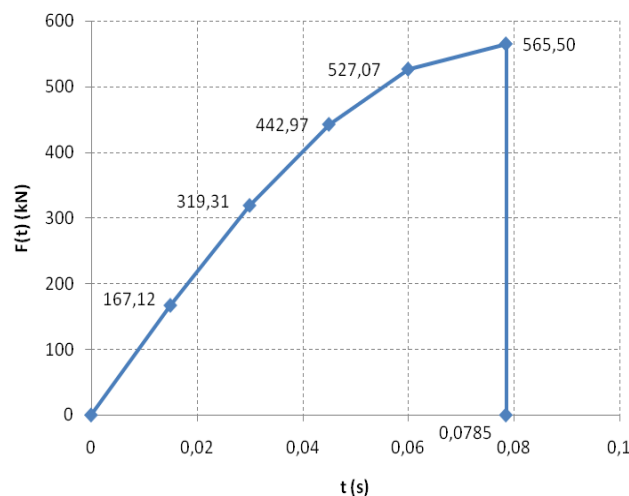


Figura 1 – Impulso gerado pelo impacto do míssil

2.2. Efeito de TNT

Nesse caso o efeito analisado corresponde a uma onda de choque gerada pela explosão acidental de uma carga de TNT, nas proximidades da estrutura a ser analisada.

Essa onda de choque se expande radialmente a partir do ponto da explosão, atingindo a estrutura frontalmente com um impacto súbito, onde o carregamento é máximo para $t=0$, distribuído por toda a fachada. Para as paredes laterais, laje de cobertura e paredes de fundo o impacto inicial não é súbito, ou seja, o máximo acontece para t diferente de zero



Todas as paredes externas livres e laje de expostas ficam submetidas ao efeito dinâmico gerado pelo efeito de TNT.

A forma e o valor do impulso dependem das dimensões da estrutura, da distância até o ponto de explosão e da energia liberada.

2.2.1 Definição dos impulsos devido ao efeito de TNT

O cálculo dos impulsos devido ao efeito de TNT foi feito de acordo com UFC 3-340-02 (2008) e dependem de alguns fatores como, medidas da estrutura, distância entre a explosão e a edificação analisada e carga de explosão, é apresentado o seguinte exemplo:

Estrutura de dimensões medidas de 30x9 m em planta, com altura de 10 metros, localizado a 500m do ponto da explosão.

Peso da carga adotada de TNT = 230 kN de acordo com o REGULATORY GUIDE 1.91 (1987) e coeficiente de majoração de 1,2, têm-se:

$$W = 1,20 \times 230 = 276 \text{ kN} \quad (3)$$

A Figura 2 apresenta um detalhe esquemático da edificação, localização em relação ao ponto de explosão do TNT e as seções consideradas para o cálculo do impulso.

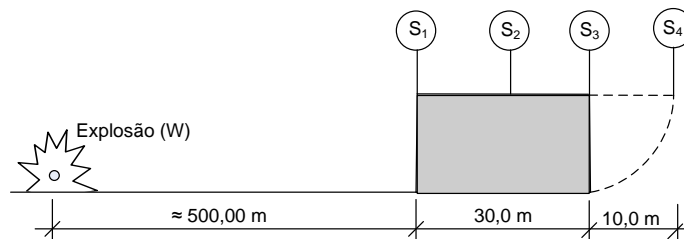


Figura 2 – Detalhe esquemático da edificação em relação ao ponto de explosão do TNT

Para a obtenção do impulso deve-se calcular o valor do parâmetro Z_g , para cada seção definida na Figura 2, através da seguinte fórmula:

$$Z_g = \frac{R_z}{W^{1/3}} \quad (4)$$

Em seguida obtêm-se os valores das demais variáveis, como mostrado na Tabela 1, a partir do ábaco reproduzido na Figura 3.



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

Tabela.1 – Variáveis de calculo para o efeito de TNT obtidos a partir da Figura 3

Seção	R_g (ft)	Z_g (ft/lb ^{1/3})	P_{so} (psi)	U (ft/ms)	$I_s/w^{1/3}$ (psi.ms/lb ^{1/3})	I_s (psi.ms)	$t_0/w^{1/3}$ (ms/lb ^{1/3})	t_0 (ms)
S1	1640,4	41,4	1,1	1,1	2,3	91,1	4,1	162,3
S2	1689,6	42,7	1,1	1,1	2,2	87,1	4,2	166,3
S3	1738,8	43,9	1,0	1,1	2,1	83,1	4,3	170,2
S4	1771,6	44,7	1,0	1,1	2,0	79,2	4,4	174,2

Seção	$t_a/w^{1/3}$ (ms/lb ^{1/3})	t_a (ms)	P_r (psi)	$I_r/w^{1/3}$ (psi.ms/lb ^{1/3})	I_r (psi.ms)	$L_w/w^{1/3}$ (ft/lb ^{1/3})	L_w (ft)
S1	30,0	1187,7	2,50	4,0	158,4	-	-
S2	31,0	1227,3	-	-	-	3,1	122,7
S3	33,0	1306,5	-	-	-	3,2	126,7
S4	34,0	1346,0	-	-	-	3,3	130,6

Onde:

P_{so} = Pico da pressão positiva incidente;

U = Velocidade da frente de choque;

$I_s/w^{1/3}$ = Fator de escala unitário do impulso positivo incidente;

$t_0/w^{1/3}$ = Fator de escala da duração da fase positiva;

$t_a/w^{1/3}$ = Fator de escala do tempo de chegada da onda;

P_r = Pico positivo da pressão normal refletida;

$I_r/w^{1/3}$ = Fator de escala unitário do impulso positivo normal refletido;

$L_w/w^{1/3}$ = Fator de escala positivo do comprimento de onda.

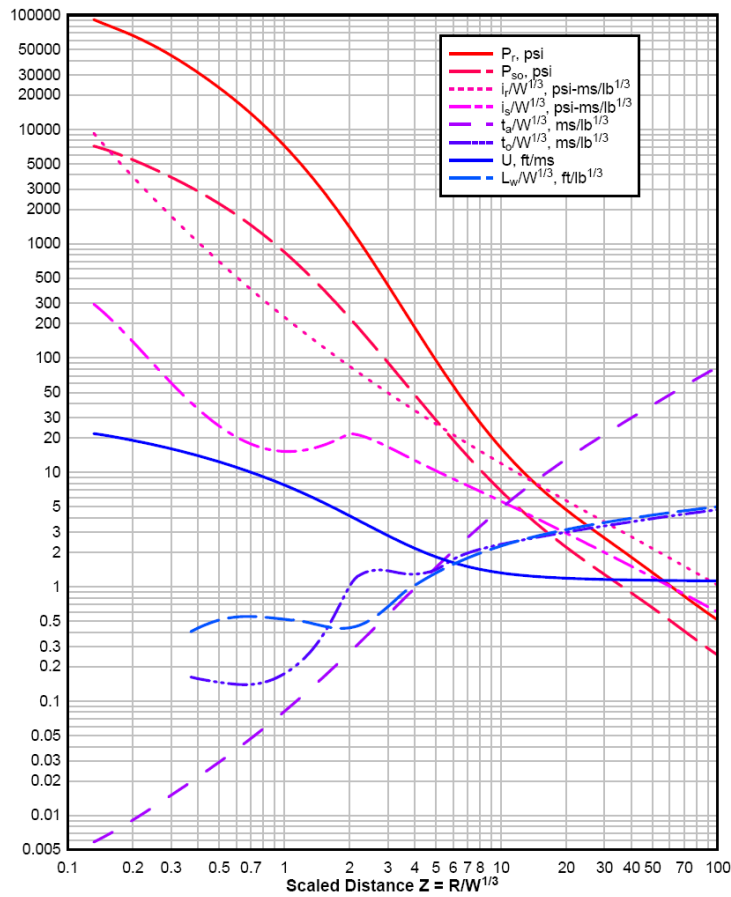


Figura 3 – Parâmetros positivo da onda de choque causado pelo efeito da explosão do TNT ao nível do mar (UFC, 2008).

2.2.1.1 Determinação do impulso da parede frontal (Front Wall Loading)

O tempo de impacto é calculado como:

$$t_c = \frac{4.S}{(1 + R).C_r} \tag{5}$$

onde:

t_c = tempo do impacto sem interferência da pressão de reflexão (ms);

C_r = Velocidade do som refletida sobre pressão (1,13 ft.ms) – (Figura 4);

Sendo:

$$R = \frac{S}{G} \tag{6}$$

$$S \leq \begin{cases} H = 10,0 m \ (32,8 ft) \\ \frac{b}{2} = \frac{9,0}{2} = 4,5 m \ (14,8 ft) \end{cases} ; G \geq \begin{cases} H = 32,8 ft \\ \frac{b}{2} = 14,8 ft \end{cases} \tag{7}$$



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

logo:

$$t_c = \frac{4.S}{\left(1 + \frac{S}{G}\right).C_r} = \frac{4.14,8}{\left(1 + \frac{14,8}{32,8}\right).1,13} = 36,1ms$$

Como o valor de $P_{so}=1,1$ (psi) não atinge o mínimo da curva do pico da pressão dinâmico, o valor adotado foi $P_{so}=0,1$ Psi (ver Figura 4).

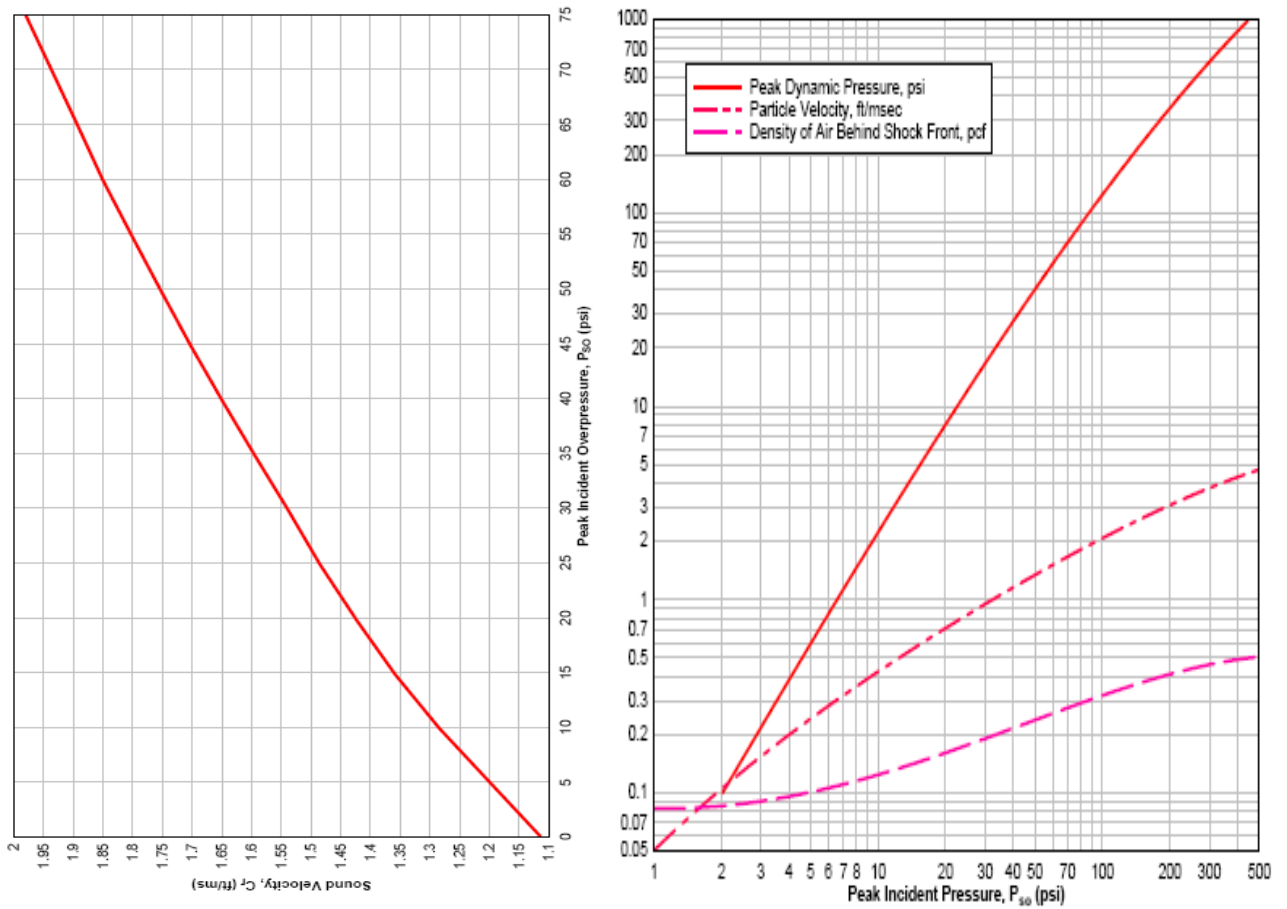


Figura 4 – Gráficos para obtenção dos coeficientes C_r e P_{so} , respectivamente (UFC, 2008).

logo:

$$t_{of} = \frac{2.I_s}{P_{so}} = 165,64ms, \text{ onde } t_{of} \text{ é o tempo final do impulso frontal.}$$

$$p_a = P_{so} + C_d.q_o = 1,2Psi \text{ (8,27kPa)}$$

$$p_r = 2,5Psi \text{ (17,90kPa)}$$

Onde $C_d=1,0$



A Figura 5, a seguir, representa o impulso causado pela onda de choque na parede frontal da estrutura adotada.

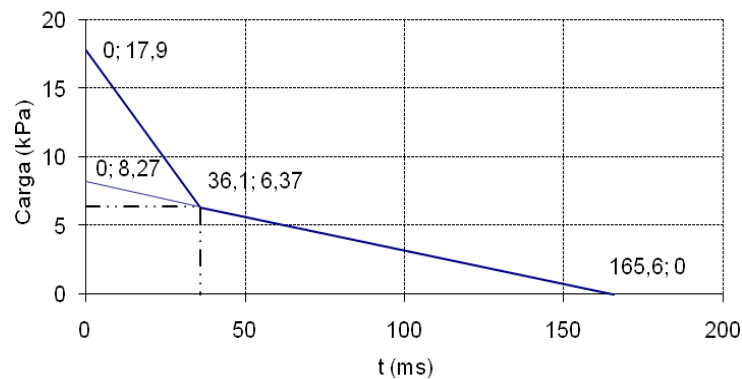


Figura 5 – Impulso Frontal (Front Wall Loading)

2.2.1.2 Determinação do impulso da parede lateral (Side Wall Loading)

Considerando uma faixa unitária de parede, temos.

$$\frac{L_w}{L} = \frac{122,7}{49,2} = 2,5$$

onde:

$$L = \text{distância de S1 a S2} = 30,0/2 \text{ (m)} = 49,2 \text{ ft}$$

Os valores de C_e , $\frac{t_d}{W^{1/3}}$ e $\frac{t_{of}}{W^{1/3}}$ são obtidos na Figura 6, respectivamente. O segundo e terceiro gráfico são de dupla entrada (L_w/L e P_{so}).

De onde se obteve os seguintes valores:

$$C_e = 0,73 \Rightarrow C_e \cdot P_{sof} = 0,73 \cdot 1,1 = 0,80;$$

$$\frac{t_d}{W^{1/3}} = 1,50 \Rightarrow t_d = 59,38 \text{ ms};$$

$$\frac{t_{of}}{W^{1/3}} = 5,60 \Rightarrow t_{of} = 221,70 \text{ ms}.$$



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

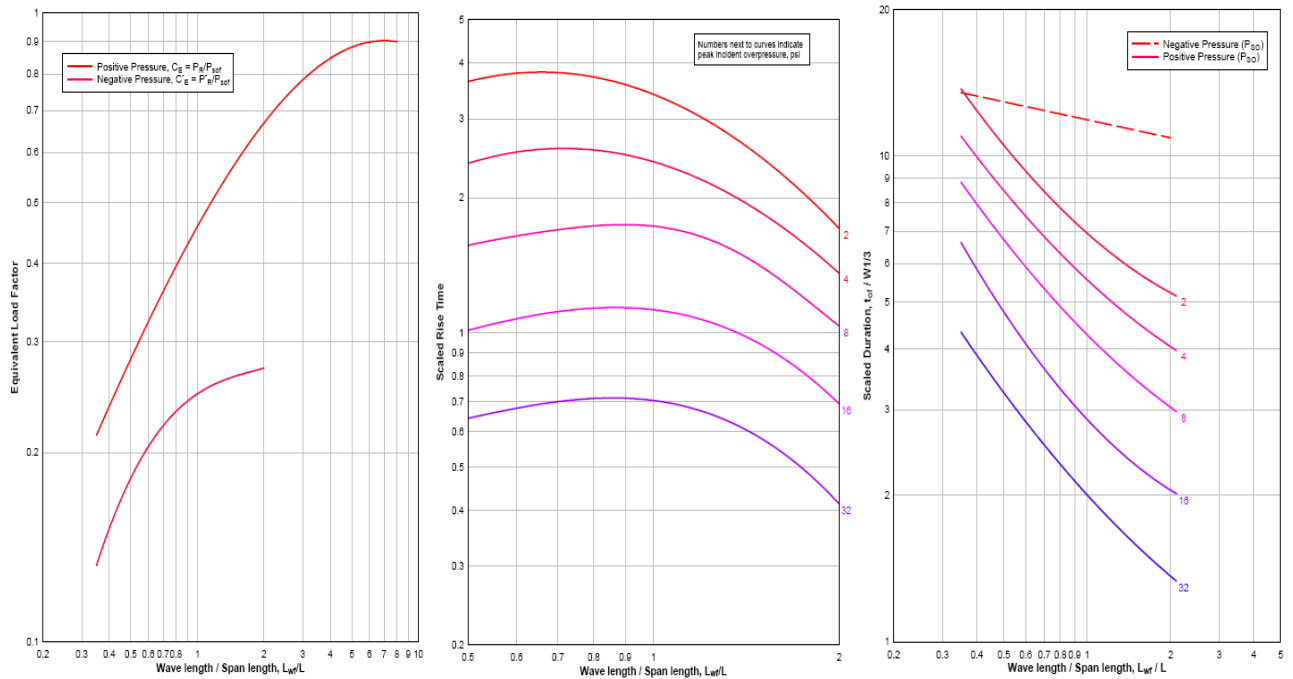


Figura 6 – Coeficientes C_e , $\frac{t_d}{W^{1/3}}$ e $\frac{t_{of}}{W^{1/3}}$ (UFC, 2008).

O valor de q_0 é obtido da Figura 4.

Como o valor de $P_{so} = C_e \cdot P_{sof}$ não atingiu o mínimo da curva do pico da pressão dinâmica, o valor adotado foi de $P_{so} = 0,1$ Psi.

C_d (Coeficiente de arrasto) = -0,40;

$P_{sa} = C_e \cdot P_{sof} + C_d \cdot q_0 = 0,80 - 0,4 \cdot 0,1 = 0,76$ Psi (5,24kPa).

A Figura 7 apresenta o impulso causado pela onda de choque nas paredes laterais da estrutura adotada.

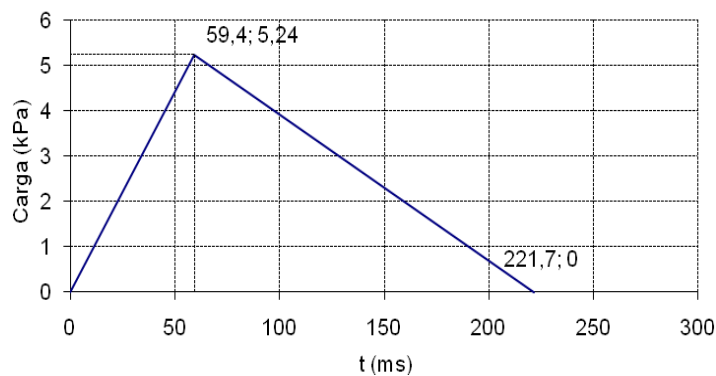


Figura 7 – Impulso da parede lateral (Side Wall Loading)



2.2.1.3 Determinação do impulso da laje de cobertura (Roof Loading)

Considerando uma faixa unitária de laje, temos.

$$\frac{L_{wb}}{L} = \frac{126,70}{98,4} = 1,3 \text{ ft}$$

onde:

L = distância de S1 a S3 = 30,0m = 98,4 ft

Os valores de C_e , $\frac{t_d}{W^{1/3}}$ e $\frac{t_{of}}{W^{1/3}}$ são retirados das Figuras 6, onde:

$$C_e = 0,48 \Rightarrow C_e \cdot P_{sof} = 0,48 \cdot 1,1 = 0,53;$$

$$\frac{t_d}{W^{1/3}} = 3,0 \Rightarrow t_d = 118,8 \text{ ms};$$

$$\frac{t_{of}}{W^{1/3}} = 7,4 \Rightarrow t_{of} = 293,0 \text{ ms};$$

$$P_{so} = 0,1 \text{ Psi};$$

$$C_d = -0,40.$$

$$P_{sa} = C_e \cdot P_{sof} + C_d \cdot q_0 = 0,53 - 0,4 \cdot 0,1 = 0,49 \text{ Psi (3,38 kPa)}.$$

A Figura 8 apresenta o impulso causado pela onda de choque na laje de cobertura da estrutura adotada.

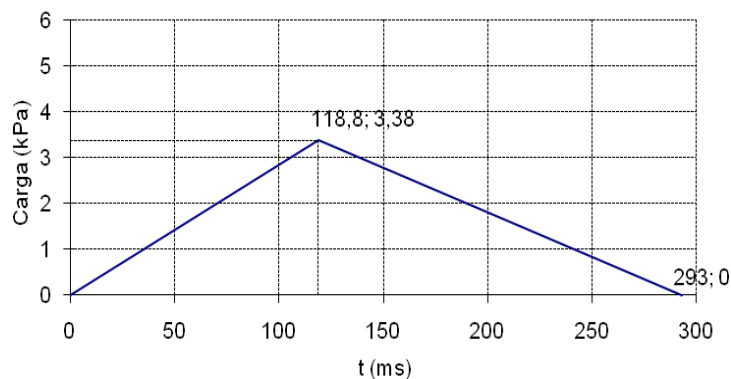


Figura 8 – Impulso da laje de cobertura (Roof Loading)

2.2.1.4 Determinação do impulso da parede de fundo (Real Wall Loading)

Considerando uma faixa unitária de laje, temos.

$$\frac{L_{wf}}{L} = \frac{130,60}{32,8} = 4,0 \text{ ft}$$

onde;

L = distância de S3 a S4 = 10,0m = 32,8 ft



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

Os valores de C_e , $\frac{t_d}{W^{1/3}}$ e $\frac{t_{of}}{W^{1/3}}$ são retirados das Figuras 6, onde:

$$C_e = 0,84 \Rightarrow C_e \cdot P_{sof} = 0,84 \cdot 1,0 = 0,84;$$

$$\frac{t_d}{W^{1/3}} = 0,50 \Rightarrow t_d = 19,79 \text{ ms};$$

$$\frac{t_{of}}{W^{1/3}} = 5,20 \Rightarrow t_{of} = 205,87 \text{ ms};$$

$$P_{so} = 0,1 \text{ Psi};$$

$$C_d = -0,40.$$

$$P_{sa} = C_e \cdot P_{sof} + C_d \cdot q_0 = 0,84 - 0,40 \cdot 0,1 = 0,80 \text{ Psi (5,52 kPa)}$$

A Figura 9 apresenta o impulso causado pela onda de choque na parede traseira da estrutura adotada.

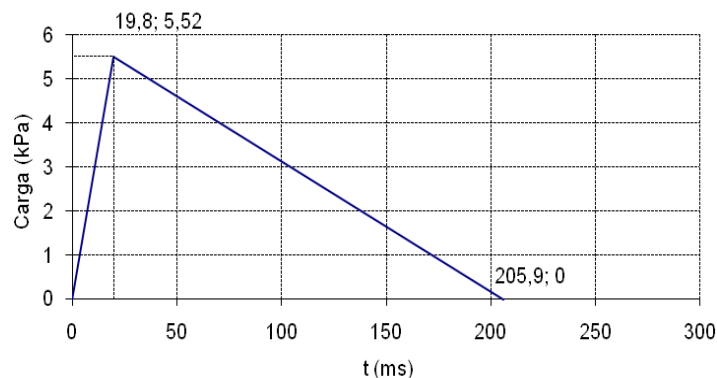


Figura 9 – Impulso da laje de cobertura (Roof Loading)

2.3. Efeito dos sismos

Por se tratar de em efeito natural a análise de sismo é feita a partir de registros anteriores e em termos probabilísticos, buscando considerar os riscos de colapso dentro de níveis aceitáveis pela sociedade.

Os sismos são medidos de forma absoluta pela quantidade de energia que liberam e categorizados de acordo com a escala Richter de Magnitude, apresentada por C. F. Richter em 1935.

Na Tabela 2 esta indicada os intervalos de frequência para o cálculo do espectro de resposta sugerido pelo REGULATORY GUIDE 1.122 (1978).



Tabela 2 – Intervalos de frequência para o cálculo do espectro de resposta (REGULATORY GUIDE 1.122, 1978).

Intervalo de frequência (Hz)	Incremento (Hz)
0,2 - 3,0	0,10
3,0 - 3,6	0,15
3,6 - 5,0	0,20
5,0 - 8,0	0,25
8,0 - 15,0	0,50
15,0 - 18,0	1,00
18,0 - 22,0	2,00
22,0 - 34,0	3,00

REGULATORY GUIDE 1.122 (1978) recomenda um alargamento $\pm 15\%$ da frequência para cada direção em que o sismo encontra-se atuante.

A Figura 10 representa a aceleração produzida por um terremoto muito conhecido, o de El Centro, que foi adotado como parâmetro de cálculo da carga dinâmica.

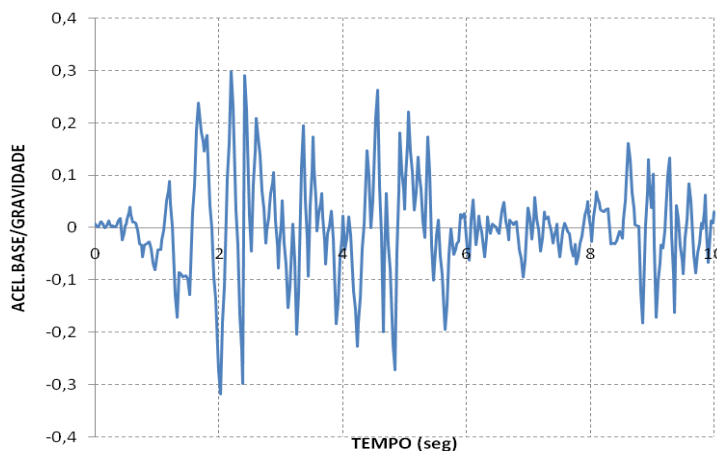


Figura 10 – Aceleração do El Centro para os primeiros 10 segundos.

Para essa análise será considerada uma base de equipamento apoiada no solo, com grande rigidez capaz de transmitir toda a ação provocada pelo sismo diretamente ao equipamento que se encontra apoiado sobre ela.

3. Cálculo dos Fatores de Amplificação Dinâmica

Os espectros de resposta para o sismo de El Centro foram calculados pela integral de Duhamel, como descrito por SOUZA LIMA et SANTOS (2008).

O REGULATORY GUIDE 1.61 (2006) prevê os seguintes valores, indicados na Tabela 3, para o amortecimento que deve ser considerado em uma análise dinâmica para a estrutura se comportando elasticamente. Os valores de amortecimento de desligamento se referem aos limites de amortecimento que uma estrutura pode atingir quando os sistemas operacionais



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

internos da instalação devem ser desativados na ocorrência de um sismo extremo. Os valores de amortecimento de operação referem-se aos valores de amortecimento máximo adotados para uma instalação que deve continuar operando após um sismo mais brando.

Tabela 3 – Amortecimento Viscoso das estruturas

Material	Amortecimento de desligamento	Amortecimento de operação
Concreto Armado	7%	4%
Alvenaria Armada	7%	4%
Concreto protendido	5%	3%
Aço soldadas ou Aço aparafusadas com conexões de Atrito	4%	3%
Aço com conexões aparafusadas	7%	5%

Esses valores são referidos a uma análise sísmica em estruturas nucleares. Por falta de material de referência, estes valores foram também adotados nas análises aqui apresentadas para os demais carregamentos.

Colocando os espectros de resposta em função do fator de amplificação dinâmica (FAD) e da relação entre o tempo final da aplicação do carregamento (t) e o período (T) obtêm se gráficos adimensionais capazes de serem comparados. Essa abordagem foi adotada por CLOUGH et PENZIEN (1975).

O fator de amplificação dinâmica é, por definição, a relação entre a amplitude do deslocamento da durante a análise dinâmica ($\Delta_{dinamico}$), e o mesmo deslocamento obtido em uma análise puramente estática ($\Delta_{estático}$).

$$FAD = \frac{\Delta_{dinamico}}{\Delta_{estático}} \quad (8)$$

A Figura 11 representa a variação do Fator de Amplificação Dinâmica (FAD) em função de t/T , calculada a partir do espectro de resposta do impulso dado na Figura 1, onde:

t = tempo máximo do impulso ($t=0,0875$ seg.);

T = Período da estrutura em que o impacto será aplicado (seg).

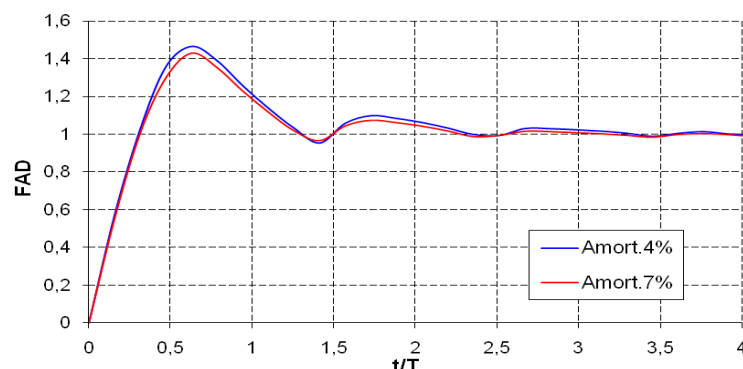


Figura 11 – Fator de Amplificação Dinâmica do míssil



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

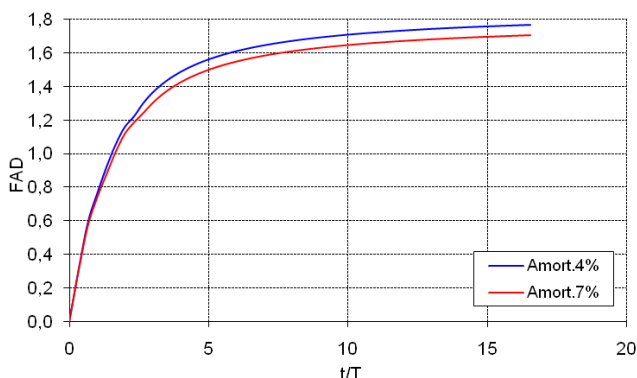
REALIZAÇÃO:



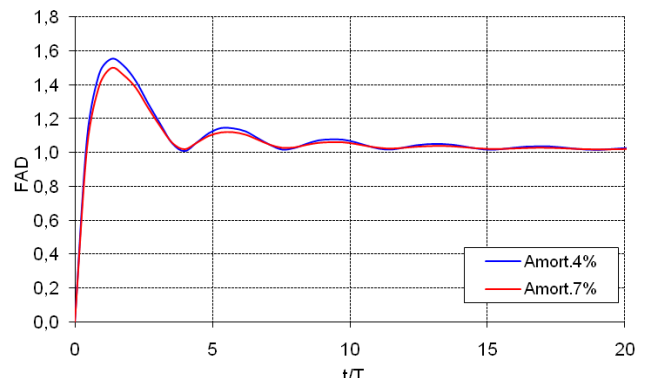
SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

A Figura 12 apresenta a variação do Fator de Amplificação Dinâmica (FAD) em função de t/T , calculadas a partir dos espectros de resposta dos impulsos dados nas Figuras 5, 7, 8 e 9 onde os valores da pressão estática (q_{est}) e os intervalos de tempo (t) adotados para cada um dos gráficos foram:

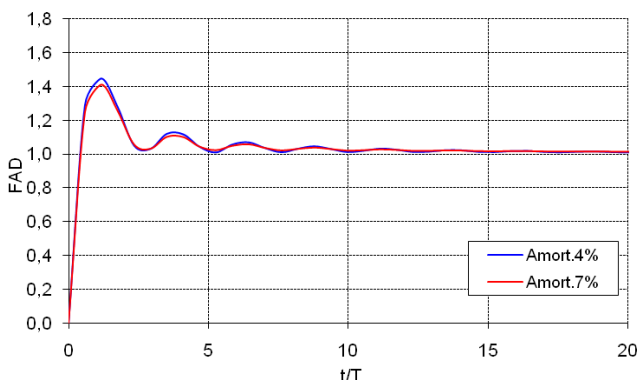
- (1) Impulso frontal (Front Wall Loading) = $\begin{cases} q_{est} = 17,90 \text{ kN/m}^2 \\ t = 165,6 \text{ ms} \end{cases}$
- (2) Impulso lateral (Side Wall Loading) = $\begin{cases} q_{est} = 5,24 \text{ kN/m}^2 \\ t = 221,7 \text{ ms} \end{cases}$
- (3) Impulso da laje de cobertura (Roof Loading) = $\begin{cases} q_{est} = 3,38 \text{ kN/m}^2 \\ t = 293,0 \text{ ms} \end{cases}$
- (4) Impulso traseiro (Real Wall Loading) = $\begin{cases} q_{est} = 5,52 \text{ kN/m}^2 \\ t = 205,9 \text{ ms} \end{cases}$



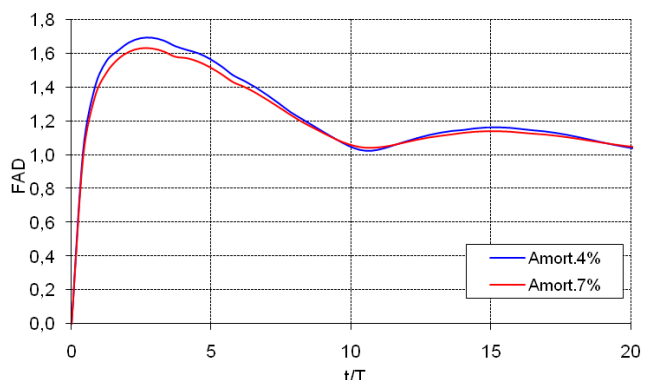
(1) Impulso Frontal (Front Wall Loading)



(2) Impulso da parede lateral (Side Wall Loading)



(3) Impulso da laje de cobertura (Roof Loading)

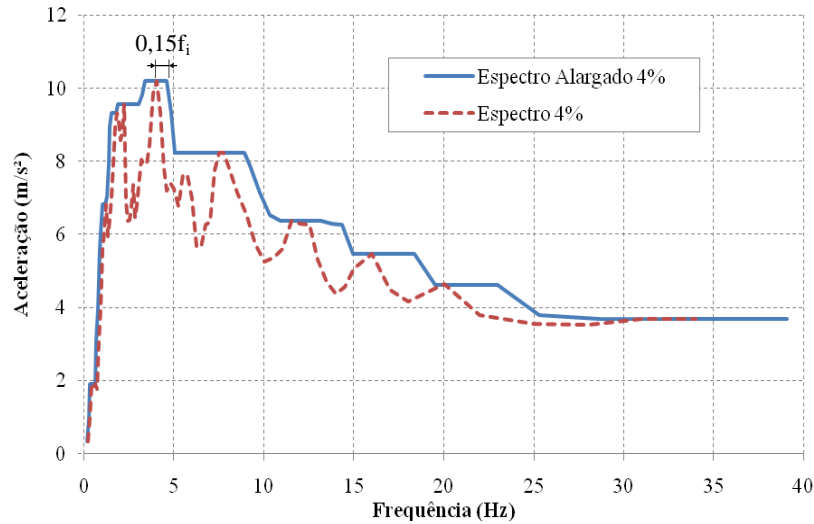


(4) Impulso da laje de cobertura (Roof Loading)

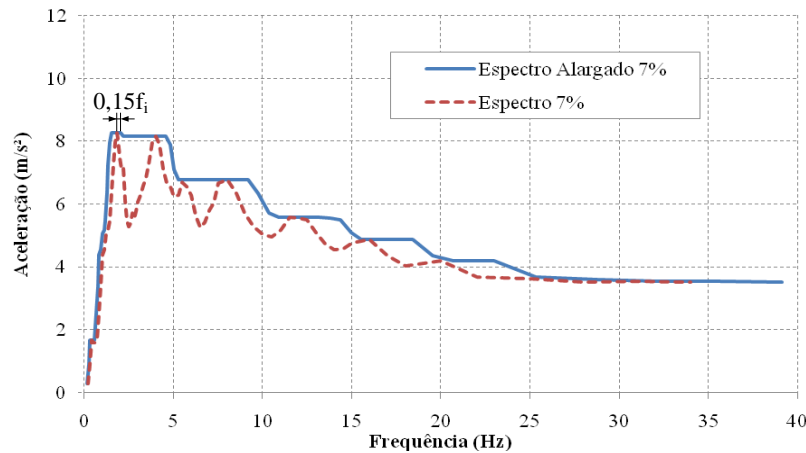
Figura 12 – Fatores de Amplificação Dinâmica do TNT



A Figura 13 representa o espectro de resposta com amortecimento de 4% e 7% com e sem o alargamento, sugerido pelo REGULATORY GUIDE 1.122 (1978), calculados a partir do acelerograma do sismo do El Centro.



(1) Amortecimento 4%



(2) Amortecimento 7%

Figura 13 – Espectro de resposta – Amortecimentos de 4% (1) e 7% (2).

Como o intervalo de tempo (t) é muito grande e não se trata de uma carga impulsiva, não foi possível tornar os valores adimensionais através da criação de um gráfico FAD vs. t/T . Neste caso o valor do carregamento corresponde a aceleração obtida diretamente da Figura 13.



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

4. Efeitos locais vs. efeitos globais

Os efeitos locais e globais para uma estrutura submetida ao efeito de míssil, TNT e sismo podem ser obtidos através dos gráficos das Figuras 11, 12 e 13, respectivamente.

O esforço que a estrutura estará submetida é obtido através da frequência própria predominante da direção analisada, esses esforços são os de efeito global.

Além das cargas globais que solicitam a estrutura como um todo, os elementos estruturais possuem efeitos localizados com frequências próprias e independentes para cada elemento estrutural, normais ao seu plano.

A diferença entre as acelerações locais e as globais podem ser responsáveis por um acréscimo de carga distribuída nos elementos estruturais. Para o caso das acelerações locais que possuem valores menores que as acelerações globais não ocorre acréscimo de cargas.

Enquanto o efeito do míssil deve ser avaliado apenas localmente para algumas paredes, aquelas capazes de receber o impacto do míssil a uma altura de até 9,14m, para um tornado de categoria F3 (REGULATORY GUIDE 1.76, 2006), o efeito de TNT pede uma análise global e local para todas as paredes expostas e perpendiculares ao impacto de cada espectro, o efeito de sismo exige uma análise, tanto global como local para todas as paredes estruturais, internas e externas à edificação.

Exemplo: Considerando que a estrutura descrita no item 2.2.1 tem uma frequência própria atuando na direção Y (lateral ao efeito dinâmico do TNT) relativo ao primeiro modo de vibração de 90Hz, para 80% da massa ativa, logo:

$$t/T = 2,217(s) \cdot 90(\text{Hz}) = 199,5;$$

logo, de acordo com a Figura 12.2 \rightarrow FAD = 1,00;

Isso quer dizer que a força distribuída da face frontal do prédio será de:

$$f_{\text{global}} = \text{FAD} \cdot q_{\text{est}} = 1,00 \cdot 5,24 = 5,24 \text{ kN/m}^2.$$

Agora, imaginado que essa face possua apenas um pano de parede com espessura 10cm e cuja frequência seja de 3Hz, tem-se que:

$$t/T = 2,217(s) \cdot 3(\text{Hz}) = 6,7;$$

logo, de acordo com a Figura 12.2 \rightarrow FAD = 1,10;

Isso quer dizer que a força distribuída da face frontal do prédio será de:

$$f_{\text{local}} = \text{FAD} \cdot q_{\text{est}} = 1,10 \cdot 5,24 = 5,76 \text{ kN/m}^2.$$

e a parede deverá receber além de f_{global} um acréscimo de:

$$F_{\text{aplicado}} = f_{\text{local}} - f_{\text{global}} = 0,52 \text{ kN/m}^2.$$



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

5. Conclusão

A elaboração do espectro de resposta ou gráfico do tipo FAD vs. t/T , serve para auxiliar o dimensionamento das estruturas, substituindo a aplicação direta do impulso, que embora seja o método mais seguro, também apresenta um custo de processamento maior.

Após a geração do espectro de resposta ou gráfico do tipo FAD vs. t/T para determinada edificação, a aplicação do carregamento fica reduzida apenas a avaliação da(s) frequência(s) para os elementos afetados pelo carregamento, e pelo tipo de carregamento.

A aplicação desse tipo de análise não é exclusiva apenas a estes carregamentos descritos, podendo ser mais abrangentes, como por exemplo, um deslocamento de terra ou pedra que intercepta determinada estrutura, ou análise de tubos e pipe racks.

Observando os gráfico do tipo FAD vs. t/T , elaborado nesse artigo e comparando-os ao elaborados por CLOUGH et PENZIEN (1975), é possível perceber que o impulso cuja força inicial seja diferente de zero converge para o máximo da amplificação dinâmica, enquanto que, se o impulso inicia suavemente seu carregamento, começando em zero, este tende a convergir para uma amplificação dinâmica igual a 1.

A elaboração do espectro de resposta exige um cuidado maior, devido à incerteza dos efeitos sísmicos, por isso o REGULATORY GUIDE 1.122 (1978) tem especificações particulares para esse tipo de acidente postulado.

Por se tratar de um carregamento transiente e não impulsivo, não foi possível elaborar um gráfico do tipo FAD vs. t/T .

7. Referências

- ASCE 7 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers, 2005.
- BECHTEL POWER CORPORATION. Topical Report BC TOP-3-A, Revision 3 – Tornado and Extreme Wind Design Criteria for Nuclear Power Plants, August 1974.
- BECHTEL POWER CORPORATION. Topical Report BC TOP-9-A, Revision 2 – Design of Structures for Missile Impact, September 1974.
- CLOUGH, R.W. e PENZIEN, P. Dynamics of Structures. McGraw-Hill, 1975.
- CHOPRA, A.K. Dynamics of Structures. Prentice Hall, 1995.
- GTSTRUDL, “site”: <http://www.gtstrudl.gatech.edu/> (2011).
- NBR 6118:2007, Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2007.
- SANTOS, S.H.C. Fundação de Máquinas. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- SOUZA LIMA, S., e SANTOS, S.H.C. Análise Dinâmica de Estruturas. Editora Ciência Moderna, 2008.
- REGULATORY GUIDE 1.76, Design Basic Tornado for Nuclear Power Plants. U.S. Nuclear Regulatory Commission, March 2007.
- REGULATORY GUIDE 1.61, Damping Values For Seismic Design of Nuclear Power. U.S. Nuclear Regulatory Commission, October 2006.



V CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS

REALIZAÇÃO:



SOLUÇÕES INOVADORAS PARA PROJETO, EXECUÇÃO E MANUTENÇÃO | RIO DE JANEIRO | 6 A 8 DE JUNHO DE 2012

REGULATORY GUIDE 1.91, Foundations of Explosions Postulated to Occur on Transportation Routes Near Nuclear Power Plants – February 1978.

REGULATORY GUIDE 1.122, Development of Floor Design Response Spectra for Seismic Design of Floor-Supported Equipment or Components – February 1978.

REGULATORY GUIDE 4461, Tornado Climatology of the Contiguous United States. U.S. Nuclear Regulatory Commission, March 2007.

UFC 3-340-02, Structures to resist the effects of accidental explosions – December 2008.

VALENTE, L.S., SANTOS, S.H.C., SOUZA LIMA, S., Análise dinâmica de uma estrutura industrial para efeitos de cargas de tornado. XXXII Congresso Ibero Latino Americano de Métodos Computacionais em Engenharia (Cilamce), 2011.

WOLF, J.P., Foundation Vibration Analysis Using Simple Physical Models, Prentice Hall, 1994.