

AVANÇ
 2º SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE
 TUBULAÇÕES E VASOS DE PRESSÃO

2º SIMPÓSIO LATINO AMERICANO
 SOBRE TUBULAÇÕES E VASOS DE PRESSÃO

Granado, RS, Brasil
 25 a 28 de setembro de 1994



ANÁLISE DINÂMICA DE UM TANQUE REFORÇADO EM BASE
 COM CONSOLIDAÇÃO DA IMERSÃO FLUIDO-ESTRUTURA

Carlos Alexandre da T. Miranda
 IPEN-CNEN/SP-COFRSP
 Travessa P, 400. CEP 05508-900.
 Cid. Universitária, São Paulo - SP

RESUMO

Apresenta-se a análise sísmica de um tanque, sem reforçado-pes, parcialmente cheio de água, engastado no pavimento da base através de um espectro de resposta sísmico típico, com um modelo de elementos finitos harmônicos de casca e de fluido com considerações quanto a interface fluido-estrutura. Como as primeiras frequências da estrutura com água estão na faixa de excitação da uma excitação sísmica típica nota-se uma significativa amplificação dos resultados (tensões) obtidos, embora abaixo dos limites admissíveis.

SUMMARY

This work presents the seismic analysis of a tank partially filled with water and partially buried into the base, with no stiffeners. A harmonic axisymmetric shell and fluid finite element model was developed for this study with special attention to the shell-fluid interface. The frequencies of the fluid filled shell are in the seismic amplification zone for a seismic excitation. The analysis, with a typical acceleration response spectra, was performed and the results show a strong amplification of the stresses although remaining within the allowable limits.

1. Introdução

Na refer. (1) foi feito um estudo de frequências naturais em um cilindro de paredes com partes finas e partes espessas, imerso em água confinada, com modelos finitos axisimétricos harmônicos com um levantamento Bibliográfico sobre o assunto, inclusive com recomendações quanto a modelagem a ser adotada. Na refer. (2) o tanque ora analisado foi discretizado de forma semelhante à aqui apresentada e foram obtidas as primeiras frequências do mesmo em um estudo comparativo entre modelos "sem" e "com" água, além da consideração de formulações analíticas obtidas em literatura específica (4) e avaliação da frequência de "splashig". No presente trabalho complementa-se o estudo anterior (2) com a análise sísmica do tanque aplicando-se um espectro de resposta típico, em termos de aceleração, além da consideração da pressão interna postulada e do peso próprio.

O tanque, considerado sem reforços nesta fase do trabalho, é formado por uma calota superior hemisférica de 9.6 m de raio conectada por um trecho cilíndrico a outra calota hemisférica semi-enterrada no pavimento, cada trecho com um valor diferente de espessura. O nível da superfície livre da água é considerado a cerca de 13. m acima do pavimento.

Tendo em vista que os modos significativos, para a análise sísmica, tem frequências espaçadas de mais de 10% adotou-se o método SRSS (Raiz Quadrada da Soma dos Quadrados) para obter a composição das componentes modais. O mesmo método SRSS foi utilizado para a composição das componentes espaciais (uma horizontal e outra vertical).

2. Modelo

Na modelagem e nas análises foi utilizado o programa ANSYS (4) tendo sido desenvolvido um modelo axisimétrico básico com elementos harmônicos de casca (de 2 nós e 4 graus de liberdade (gdL) por nó - UX (radial), UY (vertical), UZ (circunferencial), ROT3) e de fluido (de 4 nós e 3 gdL por nó: UX, UY e UZ), denominado modelo "Com Água". Procurou-se obter os elementos de fluido com a forma mais "regular" possível. As principais propriedades adotadas são apresentadas em (2) tendo sido

considerados valores típicos para o aço e para a água. Algumas análises foram realizadas, com um modelo "Sem Água", onde os elementos de fluido foram desativados, para os carregamentos de pressão interna e aceleração lateral.

Com o modelo "com água", apresentado na figura 1, visa-se efetuar as análises da estrutura (considerando diretamente a influência da água no interior do tanque) sob os carregamentos postulados: Pressão Interna, Peso Próprio e Sismo. Existem 2 situações distintas: 1) carregamento axisimétrico (MODE=0, onde MODE é o número de ondas circunferenciais) - Peso Próprio, Pressão Interna e componente do Sismo na direção Y Vertical e 2) carregamento não axisimétrico com MODE=1 (i.é.: com 1 onda circunferencial) - Sismo Horizontal.

Na deformada modal, os deslocamentos radiais e os verticais se desenvolvem em $\cos(\theta\phi)$ e os deslocamentos circunferenciais em $\sin(\theta\phi)$, sendo $\theta=MODE$, a partir dos deslocamentos impostos na câmara a $\theta=0$. Idem para os esforços e as tensões. Maiores detalhes sobre o assunto, modelo axisimétrico com carregamento não axisimétrico (harmônico), podem ser vistos na refer. [3].

Interface Fluido-Estrutura:

Para a correta consideração desta interface foram criadas 2 camadas de nós coincidentes: uma do lado da água e outra do lado da casca. Estes nós coincidentes foram girados para que, em seus sistemas de coordenadas, a direção X coincidissem com a perpendicular à mencionada interface e, posteriormente, foram acoplados nas suas direções X. Desta forma é permitido o deslocamento tangencial relativo.

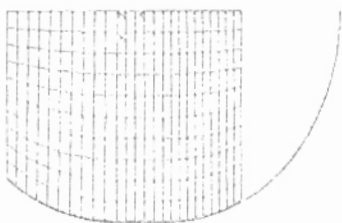


Figura 1: Modelo "Com Água"
Malha

Condições de Contorno:

As condições de contorno dependem do parâmetro MODE definido.

Caso axisimétrico (MODE=0) - foram consideradas, para a casca, as condições de axisimetria: $UX=UZ=ROTZ=0$ no ápice da resma e engaste total no nó da base. Para a água foram consideradas: $UY=0$ nos nós da base e $UX=0$ no eixo de simetria.

Caso com MODE=1 - foram considerados, para a casca: $UY=0$ no ápice da casca e engaste total na base. Para a água: $UY=0$ para os nós da base e para os nós sobre o eixo de simetria. Adicionalmente foram criados vínculos tais que, para os nós do fluido sobre o eixo de simetria, tenha-se $UX=UZ$ [3]. Com estes vínculos, não adotados na refer. [2], elimina-se o modo de frequência 3.89 Hz que não produz resultados significativos sobre a estrutura uma vez que é praticamente nula a massa associada ao mesmo. Os demais modos não se alteram, em relação ao apresentado na refer. [2].

Para a extração das frequências foi adotado o método de Householder reduzido definido-se UX e UY de todos os nós da casca como graus de liberdade (gdl) masters. Com este procedimento capta-se apenas os modos da casca evitando, assim, captar modos associados com a água ("sloshing", da ordem de 0.3 Hz [2]).

3) Carregamentos

Foi adotado o valor de 1.0 Bar (0.1 MPa) para a pressão interna. Para a consideração do sismo foi adotado, conservadoramente, um espectro de resposta envolvente, a partir dos valores máximos dos espectros típicos adotados, para as direções X, Y e Z, associados a 2% de amortecimento crítico, conforme apresentado na figura 2. Para o peso próprio foi adotado uma aceleração $1g=9.81$ m/s².

4) Resultados

Inicialmente são apresentados os principais modos axisimétricos (MODE=0) e não-axisimétricos (MODE=1). Em seguida são apresentadas as distribuições de tensões de membrana e nas superfícies da casca (externa-TOP e interna-BOT) para cada carregamento isolado (e em cada modo, no caso de carregamento definido como espectro de resposta).

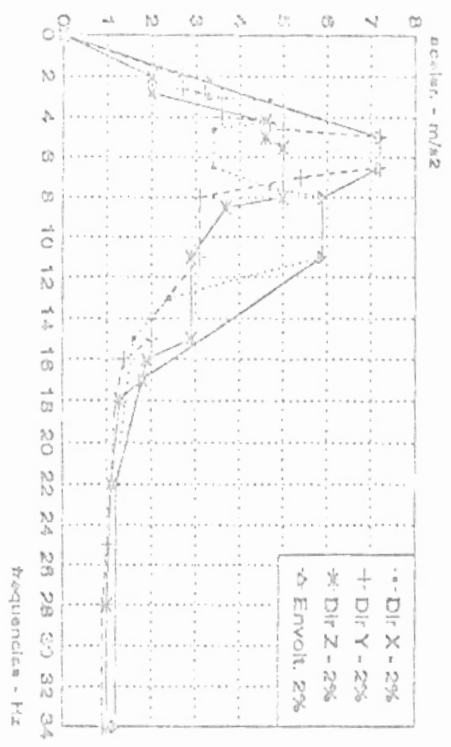


Figura 2: Espectro de Resposta 'Envoltório' Adotado

Frequências:

As primeiras 4 frequências associadas aos parâmetros MODF=0 e MODF=1 são apresentadas na tabela 2. Nas figuras 3 e 4 são mostrados, respectivamente, os primeiros 4 modos axisimétricos (MODF=0) e os 4 primeiros modos não axisimétricos, associados ao parâmetro MODF=1. Observa-se, a partir da tabela 2 que os modos 1 e 2 são os únicos significativos.

Tabela 2 - Frequências em Hz

FREQUÊNCIAS	FAIXA DE MASSA ASSOCIADA (t)	
	MODE 0	MODE 1
1	7.61	4.1
2	16.4	7.0
3	22.5	15.
4	25.9	22.
MODE 0		em X
MODE 1		em Y

Tensões:

A seguir são apresentados os resultados, em termos de tensões SI (Stress Intensity - definida como o dobro da máxima tensão tangencial) para cada carregamento. Na tabela 3 são apresentadas os valores máximos indicados nas figuras 5 a 8 com os resultados

das diversas análises efetuadas. Tais máximos não ocorrem todos nos mesmos pontos.
 Pressão Interna - a análise foi efetuada com o modelo "SEM ÁGUA" (axisimétrico - MODF=0) e os resultados estão na fig. 5.a.
 A título comparativo, na figura 5.b são apresentados, os resultados para aceleração lateral constante, aplicada nas direções X e -Z locais (= 1g, com o parâmetro MODF=1),

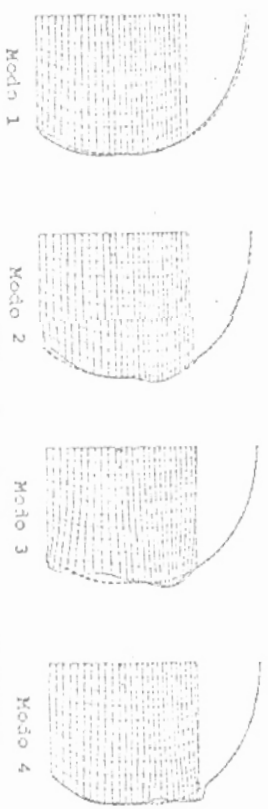


Figura 3: Modos de Vibração Axisimétricos - MODF=0

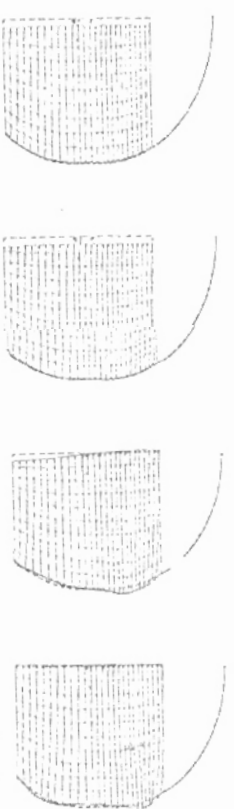


Figura 4: Modos de Vibração - MODE = 1

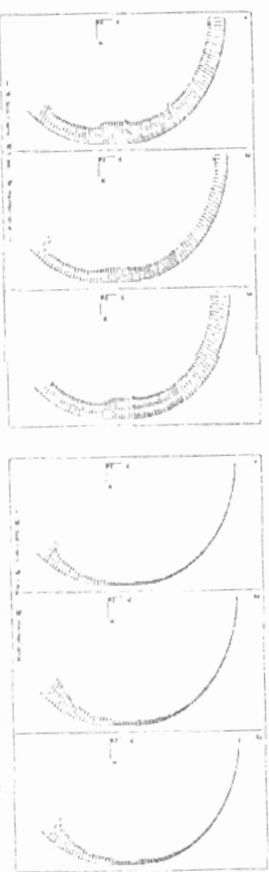


Figura 5 : Tensões SI - Modelo sem Água

Note-se que, além de outros fatores, como descontinuidades estruturais, a variação das tensões ao longo da altura é devido, também, aos diferentes valores de espessuras adotadas para cada parte da casca (25 mm, 38 mm e 19 mm respectivamente para a calota inferior, parte cilíndrica e calota superior, cujas respectivas valores de tensão SI nominais devidos a pressão, em MPa, são: 19,6; 25,8; 25,8).

Tabela 3: Valores das Tensões SI Máximas (não ocorrem nos mesmos pontos)

Altura	SISMO	SISMO	SISMO	Obs.
5,4	28,5	40,9	27,8	Pressão
5,4	15,2	17,1	14,1	Água
6	44,2	45,3	39,8	P. Próprio
7	4,8	15,3	17,8	Modo 1
8	11,1	145	181	Modo 2 (espectro)
	45	40,1	59,6	Modo 2 (espectro)

Os resultados apresentados a seguir foram obtidos com o modelo "com água", isto é, com os elementos de fluido ativados.

Peso Próprio - Na figura 6 mostra-se os resultados da análise onde o carregamento associado ao peso próprio foi aplicado como uma aceleração 1g na direção Y (MODE=0, Axissimétrico). Observa-se que, desta forma, também se considera o efeito da pressão hidrostática sobre o tanque.

Sismo - Nas figuras 7 e 8 com-se os resultados, respectivamente, para o espectro de resposta associado ao sismo vertical e para o espectro de resposta associado ao sismo horizontal.

Observa-se que, para o caso da componente horizontal do sismo (figura 8) há um pico de tensões no nível da superfície livre da água no tanque, em ambos os modos significativos.

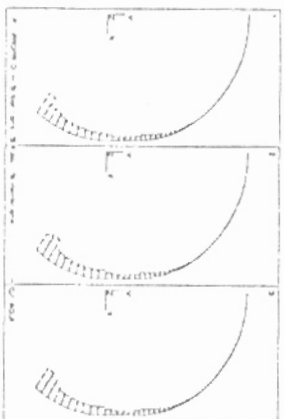


Figura 6: Tensões SI - Modelo com Água - P. PRÓPRIO

Este comportamento é compatível com formulações apresentadas em referências, veja-se [5], onde se observa que há uma parte da massa que 'acompanha' a estrutura e outra que oscila, na parte superior da água, com frequências diferentes da casca.

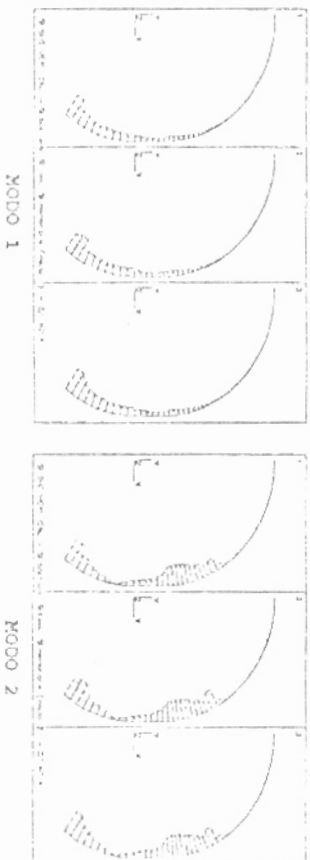


Figura 7: Tensões SI - Modelo com Água - SISMO Vertical

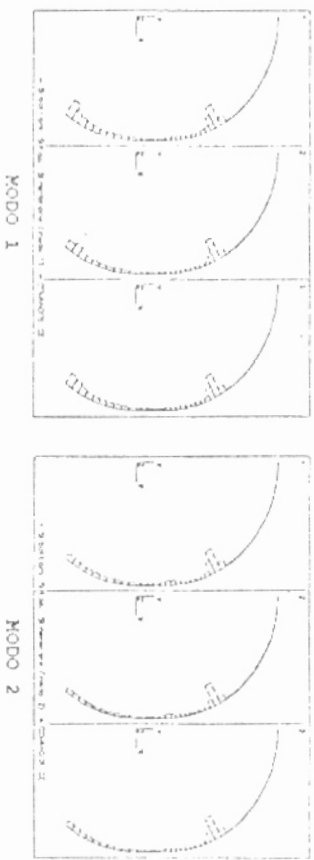


Figura 8: Tensões SI - Modelo com Água - SISMO Horizontal

Comparando-se os resultados da figura 5.b com aqueles da figura 8, e respectivos valores máximos indicados na tabela 3, observa-se que a presença da água, além de induzir uma significativa redução nas frequências da estrutura [2], também induz um forte incremento nas tensões devido a excitação horizontal.

5. VERIFICAÇÃO

Para a verificação da integridade da estrutura sob os carregamentos postulados considera-se que a tensão máxima seja limitada pela tensão de escoamento S_y do material da casca, a qual vale 260. MPa. Não se pretende fazer considerações quanto a ductilidade da estrutura sob a ação das cargas definidas uma vez que foge ao escopo deste trabalho.

A combinação dos resultados para a análise sísmica é realizada por meio do método SRSS para as componentes modais e, também, para as componentes espaciais do sismo. Assim as tensões sísmicas em cada direção (Horizontal e Vertical) são obtidas como sendo $\sqrt{(Modo 1)^2 + (Modo 2)^2}$. Desta forma a resposta global pode ser obtida, conservadoramente, fazendo-se, em cada ponto da estrutura, a soma em módulo:

$$\text{Peso Próprio} + \text{Pressão} + \sqrt{(\text{Sismo Horizontal})^2 + (\text{Sismo Vertical})^2}$$

Assim aplicando-se este raciocínio, ainda mais conservadoramente, aos valores máximos indicados na tabela 3 obtêm-se:

$$48.3 + 40.9 + \sqrt{(149.0^2 + 50.1^2 + 18.3^2 + 10^2)} = 251. \text{ MPa}$$

que é inferior ao valor admissível.

6) CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na refer. [2] mostram que as primeiras 4 frequências da estrutura no modelo "sem água" estão entre 36. e 75. Hz enquanto que no modelo "com água" estes valores caem para cerca de 4. a 16. Hz e, portanto estão na faixa de amplificação de uma excitação sísmica típica. Foi realizada uma análise sísmica considerando-se um espectro de resposta conservador (envoltório dos espectros nas 3 direções X, Y e Z, e para 2 θ de amortecimento crítico) para garantir a integridade do tanque. Observa-se que há, nos modos significativos, um pico de tensões devido ao carregamento sísmico horizontal, no nível da superfície livre da água. Os resultados obtidos no presente trabalho mostram que as

tensões combinadas, devido ao sismo (horizontal e vertical), peso próprio e pressão interna são elevadas na base (engaste com o concreto) e no nível da superfície livre, embora inferiores aos limites estabelecidos, sendo fazendo-se uma combinação bastante conservadora dos mesmos.

REFERÊNCIAS

- [1] Miranda, C. A. J. - "Interação Fluido-Estrutura - Estudo Comparativo Entre Modelos com Elementos de Casca com "Added Mass" e Modelos com Elementos Finitos Sólidos e de Fluido 2-D Axisimétricos". XI Congresso Latino-Americano Sobre Métodos Computacionais Para Engenharia, OUT/90.
- [2] Miranda, C. A. J. - "Análise de Frequências de um Tanque Engastado na Base com Consideração da Interação Fluido-Estrutura e Sloshing". V CGEN - Congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, ACO/94.
- [3] ANSYS, Versão 4.4A, "User's Manual" - Desalvo, G.J. e Dorman, R.W., 1989
- [4] Bleivins, R. - "Formulas for Natural Frequency and Mode Shape" - Van Nostrand R. Co., New York, 1979.
- [5] Bleivins, R. - "Flow Induced Vibration" - Van Nostrand R. Co., New York, 1977.