

AVALIAÇÃO DA FLAMBAGEM EM VASOS METÁLICOS DE CONTENÇÃO

Renato Campos da Silveira

Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP)

Miguel Mattar Neto

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN-CNEN/SP)

Resumo

A análise da flambagem é um dos aspectos mais importantes do projeto estrutural de vasos metálicos de contenção de centrais nucleares e, neste trabalho, é utilizado o *Code Case N-284-1* do Código ASME na avaliação dessas estruturas sujeitas a esse modo de falha. A partir de análises de tensões, efetuadas com o método dos elementos finitos em estruturas discretizadas com elementos de casca, os procedimentos do referido *Code Case* são aplicados na avaliação do vaso metálico de contenção da usina nuclear Angra 2 submetido a peso próprio, carregamentos sísmicos e subpressão em caso de acidente. Adicionalmente, para indicar a aplicabilidade da abordagem a outras estruturas, é também apresentado o estudo de vasos de pressão reforçados por anéis sob pressão externa. Conclusões e comentários são estabelecidos com base nos resultados obtidos.

Palavras-chave: Vaso de Pressão, Análise estrutural, Flambagem, Cascas, Método dos Elementos Finitos

1. INTRODUÇÃO

A análise da flambagem é um dos aspectos mais importantes do projeto estrutural de vasos metálicos de contenção de centrais nucleares. O dimensionamento de estruturas de cascas esbeltas, como é o caso desses vasos de contenção, sujeitas a carregamentos que podem provocar flambagem não é uma tarefa trivial com que se depara o projetista estrutural. Muitas investigações têm sido feitas sobre o assunto, que está longe de poder ser considerado como perfeitamente entendido. Há carência de subsídios que encaminhem o dimensionamento dessas estruturas de maneira clara e de fácil utilização.

O presente trabalho apresenta procedimentos de verificação baseados na utilização do *Code Case N-284-1 Metal Containment Shell Buckling Design Methods* do Código ASME (*The American Society of Mechanical Engineers*) (ASME, 1999). Esses procedimentos permitem a avaliação da flambagem a partir dos resultados de análise de tensões para os diversos carregamentos.

A abordagem descrita é aplicada na avaliação da flambagem localizada do vaso metálico de contenção da usina nuclear Angra 2 submetido a peso próprio, carregamentos sísmicos e subpressão em caso de acidente.

Embora o *Code Case N-284-1* tenha sido emitido com escopo de aplicação voltado para vasos metálicos de contenção, seu uso pode ser feito com vantagens em outras situações como, por exemplo, foi indicado em Weingart & Mikesell Jr. (1992) para um tanque de armazenamento de gasolina. Para demonstrar a aplicabilidade dos procedimentos, apresenta-se, também, a avaliação da flambagem localizada e global de vasos de pressão

cilíndricos reforçados por anéis sob pressão externa e uma comparação com resultados obtidos com critérios de projeto alemães para dimensionamento de casco resistente de submarinos (GL (1988) e Franitza (1989)).

Conclusões e comentários são estabelecidos a partir dos resultados apresentados.

2. ROTEIRO PARA UTILIZAÇÃO DO *CODE CASE N-284-1*

Dentro do chamado “Projeto por Análise” do Código ASME (ASME, 1999) e baseado em avaliações de flambagem de cascas sob carregamentos combinados (Cho & Frieze, 1988), o *Code Case N-284-1* apresenta procedimentos para verificação de diversas situações de geometria e carregamentos.

Satisfazendo às inequações de interação que levam em conta a combinação de carregamentos a que a casca pode estar submetida, a estrutura é considerada aprovada pelo *Code Case N-284-1*. Antes disso, porém, alguns passos têm que ser seguidos e estão mostrados a seguir, onde procurou-se manter a numeração do próprio *Code Case N-284-1*.

(Passo 1) um conjunto de componentes de tensão, σ_j , decorrente das cargas aplicadas, é calculado de acordo com –1300.

O que governa a análise de flambagem de uma casca são as regiões de tensão de membrana de compressão, que aparecem devido à resposta estática ou dinâmica da casca aos carregamentos aplicados. O campo de tensões interno que controla a flambagem de uma casca consiste de tensões de membrana longitudinal, de membrana circunferencial e de cisalhamento. Cada uma dessas componentes pode aparecer isoladamente ou em combinação com as outras, dependendo do carregamento aplicado. De acordo com o *Code Case N-284-1*, somente estas três componentes de tensão são consideradas na análise de flambagem.

Na combinação dos efeitos de diferentes cargas aplicadas simultaneamente, cada uma das componentes de tensão é somada algebricamente. Se a soma das componentes longitudinal ou circunferencial resultar em tração, aquela componente pode ser feita igual a zero.

(Passo 2) um fator de segurança, FS, é determinado de acordo com –1400.

(a) Para Condições de Projeto e Limites de Serviço Níveis A e B, FS = 2,0.

(b) Para Limites de Serviço Nível C, FS = 1,67.

(c) Para Limites de Serviço Nível D, FS = 1,34.

As condições de projeto e os níveis de serviço A, B, C e D são definidos no próprio código ASME (ASME, 1999) de acordo com a severidade e o número de ocorrência dos carregamentos e as consequências das suas aplicações nas estruturas.

Os fatores de segurança dados acima são utilizados na avaliação de flambagem de –1700 e são os mínimos valores requeridos para flambagem local. Os critérios de flambagem dados em –1700 requerem que as tensões de flambagem correspondentes às falhas relacionadas com flambagem da casca com reforçadores leves e instabilidade global sejam no mínimo 20% maiores que as tensões de flambagem local.

(Passo 3) fatores de abatimento de capacidade, α_{ij} , são determinados de acordo com –1500.

Três modos de flambagem são considerados no *Code Case N-284-1*. Eles são:

(a) flambagem local, que é definida como a flambagem do painel de casca entre reforçadores.

(b) flambagem da casca com reforçadores leves, que é definida como a flambagem entre anéis circunferenciais da unidade de chapeamento juntamente com os reforçadores meridionais.

(c) instabilidade global, que é definida como o colapso total da casca.

Esses fatores de abatimento de capacidade podem ser usados para cascas interna ou externamente reforçadas e também para cascas sem reforçadores. Todos os reforçadores devem ser bem proporcionados para impedir a flambagem local da alma e do flange.

(Passo 4) fatores de abatimento de plasticidade, η_j , são determinados de acordo com –

1600.

As tensões de flambagem elástica para cascas fabricadas são dadas pelo produto das tensões de flambagem clássica (σ_{iej}) pelos fatores de abatimento de capacidade (α_{ij}), ou seja, $\alpha_{ij} * \sigma_{iej}$, onde o primeiro índice refere-se à direção da componente da tensão, o último refere-se ao modo de flambagem e o do meio é usado para ressaltar que se trata de tensão elástica. Quando esses valores excedem o limite de proporcionalidade do material, fatores de redução de plasticidade, η_j , são utilizados para levar em conta as propriedades não lineares do material, onde o índice refere-se à direção da componente da tensão. As tensões de flambagem inelástica são dadas, portanto, por $\eta_j * \alpha_{ij} * \sigma_{iej}$.

(Passo 5) é feita a avaliação de flambagem, de acordo com -1700.

Na avaliação de flambagem por fórmula, as componentes de tensão σ_j são inseridas nas equações de interação dadas em -1713. Equações simples são fornecidas em -1712 para a determinação das tensões teóricas de flambagem clássica de cascas em estados de tensão especiais, σ_{iej} . As tensões admissíveis de flambagem para os estados de tensão especiais são usadas nas equações de interação de -1713 na determinação das tensões admissíveis para os estados de tensões combinadas. Nas regiões de descontinuidades é aceitável utilizar a média dos valores de componentes de tensão de membrana até uma distância de \sqrt{Rt} , onde R é o raio e t a espessura da casca, a partir de um ponto de apoio ou $0,5\sqrt{Rt}$ de cada lado de uma descontinuidade na determinação de σ_j .

3. VERIFICAÇÃO DO VASO METÁLICO DE CONTENÇÃO DE ANGRA 2

3.1 Modelo, Geometria e Características do Material

A estrutura foi modelada como pode ser visto na Figura 1.

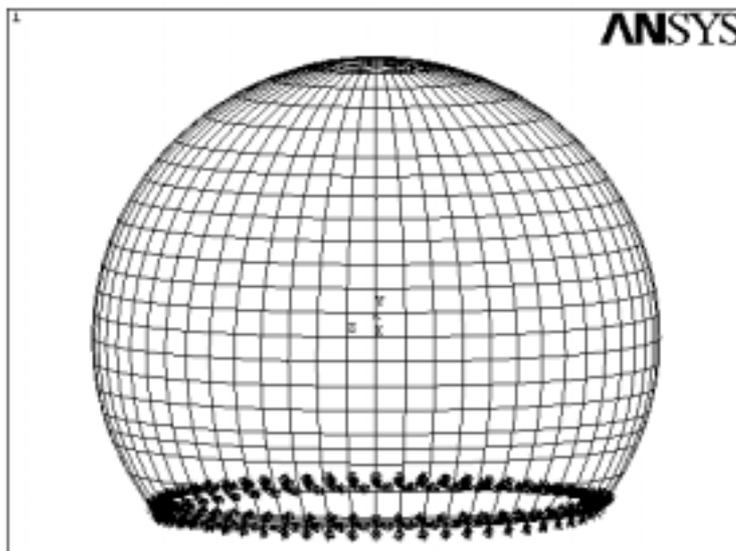


Figura 1. Modelo em elementos finitos do vaso metálico de contenção de Angra 2

As informações sobre a geometria e características do material da estrutura em avaliação foram obtidas de Nuclen (1984).

As características do material são: módulo de elasticidade $E = 1,95 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$ e massa específica $\gamma = 7850 \text{ kg/m}^3$.

As principais dimensões do vaso metálico são: raio $R = 28$ m, espessura $t = 30$ cm e distância do engastamento no concreto $d = 17$ m (a partir do centro da esfera).

O modelo foi discretizado com a utilização do programa ANSYS (ANSYS. Inc., 1999), tendo sido utilizado o elemento de casca facetado SHELL63, com 3 ou 4 nós e 6 graus de liberdade por nó.

3.2 Carregamentos

O peso próprio da casca esférica foi simulado através da aplicação da aceleração de 1 g ($9,8 \text{ m/s}^2$), atuando verticalmente para baixo em todos os elementos do modelo.

A subpressão de 30 mbar ($0,003 \text{ N/mm}^2$), cujo aparecimento está previsto após o acidente de perda de refrigerante chamado LOCA (*Loss of Coolant Accident*), foi simulada através da aplicação de pressão atuando de fora para dentro da casca esférica, em todos os elementos do modelo, como se fosse pressão externa.

O sismo foi simulado através de um carregamento estático equivalente, com a aplicação de aceleração em todos os elementos do modelo, como descrito a seguir. De acordo com o *Regulatory Guide 1.60* (USNRC,1973), para simular o carregamento sísmico com aceleração de período nulo do espectro de resposta de 1 g (aceleração da gravidade) deve-se aplicar 1 g nas duas direções horizontais (X e Z no modelo) e 2/3 de 1 g na direção vertical (Y no modelo). As direções X, Y e Z estão indicadas na Figura 1. Na direção Y, portanto, foi aplicada em todos os elementos do modelo a aceleração de $6,53 \text{ N/mm}^2$ (igual a 2/3 de $9,8 \text{ m/s}^2$), verticalmente para baixo, por ser esse o sentido que acarreta a pior situação para o caso estudado, que é o aparecimento de tensões de compressão. Para simular as acelerações horizontais ortogonais foi aplicada na direção X, em todos os elementos do modelo a aceleração de $13,86 \text{ N/mm}^2$ ($9,8\sqrt{2} \text{ N/mm}^2$).

3.3 Avaliação dos Resultados de Acordo com o Code Case N-284-1

Os carregamentos descritos acima foram combinados em dois casos de carregamento CC1 e CC2. O CC1 é composto de peso próprio + sismo SBO, que é o Sismo Básico de Operação. O SBO é previsto para ser suportado pela estrutura até 10 vezes e por isso faz parte da condição de projeto da instalação. O CC2 é composto de peso próprio + subpressão + sismo SDS, que é o Sismo de Desligamento Seguro. O SDS tem que ser suportado pela estrutura uma única vez e por isso faz parte da condição de acidente da instalação, assim como a subpressão.

A notação utilizada é a mesma do *Code Case N-284-1* e não será descrita novamente, aqui. Os passos seguidos foram:

(Passo 1) Determinação das Componentes de Tensão

As componentes de tensão utilizadas na aplicação do *Code Case N-284-1* a cascas esféricas são as tensões principais σ_1 e σ_2 , sendo σ_1 a mais negativa delas. Serão retiradas do modelo de elementos finitos descrito anteriormente. Tem que ser feita uma investigação quando da utilização das fórmulas de interação para que seja determinada a condição mais desfavorável de $\sigma_1 + \sigma_2$.

(Passo 2) Determinação do Fator de Segurança

Para CC1, FS = 2,0 e para CC2, FS = 1,34.

(Passo 3) Determinação dos Fatores de Abatimento de Capacidade α_{ij} .

(a) Compressão Uniaxial

$$M_{\theta} = \frac{l_{\theta}}{\sqrt{Rt}} = \frac{2\pi R}{\sqrt{Rt}} = \frac{2\pi * 28000}{\sqrt{28000 * 30}} = 191,95$$

$$\rightarrow \alpha_{2L} = 0,124$$

$$\rightarrow \alpha_{\phi L} = \alpha_{\theta L} = \alpha_{1L} = \frac{\alpha_{2L}}{0,6} = 0,206$$

(b) Tensão de Compressão Biaxial Igual

$$\alpha_{2L} = 0,124 \quad (M > 23,6)$$

$$\alpha_{\phi L} = \alpha_{\theta L} = \alpha_{2L} = 0,124$$

(Passo 5) Avaliação de Flambagem Elástica

(Passo 5a) Determinação do Valores Teóricos de Flambagem

(a) Tensão de Compressão Biaxial Igual

$$C = 0,605 \quad (M \geq 1,73)$$

$$\rightarrow \sigma_{\phi eL} = C Et/R = 0,605 * 206000 * 30 / 28000$$

$$\rightarrow \sigma_{\phi eL} = 133,53 \text{ N/mm}^2$$

(Passo 5b) Equações de Interação para Flambagem Local

$$\sigma_{1a} = \frac{\alpha_{1L} * \sigma_{\phi eL}}{FS} = \frac{0,206 * 133,53}{FS} = \frac{27,51}{FS}$$

$$\sigma_{2a} = \frac{\alpha_{2L} * \sigma_{\phi eL}}{FS} = \frac{0,124 * 133,53}{FS} = \frac{16,56}{FS}$$

As fórmulas de interação que têm que ser satisfeitas são:

(a) Compressão Uniaxial

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{1a}} \leq 1,0$$

(b) Compressão Biaxial

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_{1a}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{2a}} \leq 1,0$$

A avaliação das inequações acima foi feita com a utilização de duas macros, desenvolvidas dentro da sessão interativa do programa ANSYS. A primeira faz a avaliação através das tensões principais atuantes nos nós da região selecionada. A segunda faz a avaliação através de uma média das tensões atuantes nos elementos da região selecionada e só deve ser utilizada na regiões próximas de descontinuidades, como permite o *Code Case N-284-1*.

O cálculo para a determinação dos valores de máximo e dos pontos onde ocorrem é iterativo, porque não se sabe para qual valor do carregamento esses valores irão ocorrer. Alterando a participação do carregamento sísmico dentro das condições de carregamento descritas anteriormente até que o valor para o lado esquerdo das inequações fosse igual a 1,0, foram obtidos os valores admissíveis em termos de aceleração de período nulo do espectro de resposta para o carregamento sísmico dados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores Admissíveis para o Carregamento Sísmico em termos de Aceleração de Período Nulo do Espectro de Resposta

Posição	SBO	SDS
engastamento	0,51 g	0,82 g
raio máximo	2,87 g	3,80 g
entre raio máximo e topo	2,35 g	3,12 g
topo	2,57 g	3,50 g

g – aceleração da gravidade (9,8 m/s²)

4. VERIFICAÇÃO DE VASO DE PRESSÃO CILÍNDRICO REFORÇADO POR ANÉIS SOB PRESSÃO EXTERNA

A maior parte do casco resistente dos submarinos modernos é composta de uma casca cilíndrica reforçada por anéis circunferenciais denominados cavernas. Regiões menores nas extremidades do cilindro têm normalmente forma esférica, com a existência ou não de cones para fazer a transição geométrica.

O carregamento mais importante no dimensionamento da estrutura dessa casca resistente é a pressão hidrostática. Essa configuração, casca fina submetida a pressão externa, é o típico caso para a ocorrência da flambagem. É esse o fator determinante no dimensionamento do casco resistente de submarinos.

Tomando dimensões de submarinos atuais, duas configurações de cilindro reforçado foram estudadas: a primeira representando um casco de um submarino pequeno e a segunda um casco de um submarino grande. Para ambas as configurações foram assumidos: módulo de elasticidade $E = 206000 \text{ N/mm}^2$, limite de escoamento $\sigma_y = 550 \text{ N/mm}^2$, limite de proporcionalidade de 440 N/mm^2 , coeficiente de Poisson $\nu = 0,3$, falta de circularidade de 0.3% do raio e ângulo de empenamento (*tilting*) de 4° .

Para o primeiro casco foram assumidos: pressão de cálculo de 5 N/mm^2 , raio de 3250 mm (diâmetro de 6500 mm), espaçamento de cavernas de 450 mm e espaçamento de anteparas de 9000 mm. Para o segundo casco foram assumidos: pressão de cálculo de 7 N/mm^2 , raio de 5000 mm (diâmetro de 10000 mm), espaçamento de cavernas de 750 mm e espaçamento de anteparas de 12500 mm

Primeiramente foram utilizados critérios de projeto alemães (GL (1988) e Franitza (1989)) na obtenção da estrutura mais eficiente, ou seja, na determinação das dimensões da caverna e espessura do cilindro que levasse à configuração geométrica mais leve, atendendo aos requisitos de projeto. Essa tarefa é trabalhosa por tratar-se de um cálculo iterativo. Uma configuração inicial casco e cavernas é assumida e para ela são determinados os resultados, que devem ser comparados com os requisitos. Modificações vão sendo feitas até que os resultados mostrem-se satisfatórios.

Da configuração final selecionada foram retiradas as tensões máximas para que fosse feita a avaliação de flambagem de acordo com o *Code Case N-284-1*.

4.1 Os Critério de Projeto Alemães

Os critérios de projeto alemães para o dimensionamento do casco resistente de submarinos, no que diz respeito ao cilindro reforçado, podem ser resumidos da maneira como segue:

- (a) são determinadas as tensões atuantes. Como a configuração é simples (cilindro reforçado por anéis, submetido a pressão constante) existe formulação analítica para a determinação das tensões. A formulação utilizada encontra-se em Pulos & Salerno (1961).
- (b) são determinadas as pressões críticas de flambagem local, utilizando as tensões calculadas anteriormente. Aqui são feitas duas investigações; a primeira para a verificação da flambagem axissimétrica e a segunda para a flambagem com a formação de lóbulos (ou assimétrica). É utilizada Lurchick (1961) para o caso simétrico e Reynolds (1960) para o não simétrico. Para trazer os resultados teóricos mais para perto da realidade são utilizados fatores de abatimento, determinados a partir de testes com modelos, de acordo com Pulos & Krenzke (1965).
- (c) é feita a verificação para a flambagem global, onde entram fatores que dependem da capacidade construtiva do estaleiro, como falta de circularidade e ângulo de empenamento (*tilting*) das cavernas.

4.2 Casco de Raio 3250 mm

Os cálculos das tensões foram feitos de acordo com Pulos & Salerno (1961), Lunchick (1961), Reynolds (1960) e Pulos & Krenzke (1965). Ao invés de determinar um FS para que fosse feita a avaliação de flambagem, foi feita a avaliação de flambagem para determinar qual o FS que se aplica ao caso. Seguindo todos os passos indicados anteriormente, depois de satisfeitas as inequações, os FS resultantes para as várias investigações de flambagem estão listados abaixo:

	elástica	inelástica
Localizada	0,985	0,631
Global	1,456	0,846

O valor que deve ser considerado, portanto, é FS = 0,631.

4.3 Casco de Raio 5000 mm

Da mesma maneira que para o casco de raio 3250 mm, foram efetuadas todas as etapas para o casco de raio 5000 mm. Os FS para as várias investigações de flambagem estão listados abaixo:

	elástica	inelástica
Localizada	1,244	0,651
Global	1,785	0,870

O valor que deve ser considerado, portanto, é FS = 0,651.

5. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS

Do ponto de vista de utilização, os procedimentos do *Code Case* N-284-1 constituem uma alternativa interessante tecnicamente por permitirem a aplicação direta de resultados de análises de tensões, feitas analiticamente ou numericamente, na avaliação da flambagem. Esse aspecto é muito importante na fase de síntese estrutural onde as análises de flambagem numéricas complexas, com não linearidades geométricas e dos materiais, ou experimentais são, em geral, inviáveis frente a quantidade de configurações e condições de carregamento que devem ser avaliadas.

Há algumas vantagens econômicas, também, na utilização do *Code Case* N-284-1 que permite a eliminação de conservadorismos ao considerar as tensões de tração como nulas na avaliação de flambagem. Isso foi observado Weingart & Mikesell Jr. (1992) para um tanque de armazenamento de gasolina.

Para o vaso metálico de contenção de Angra 2, pode-se estimar que os níveis de aceleração sísmicas atuantes em termos de aceleração de período nulo do espectro de resposta sejam, para o SOB, da ordem de até 0,15 g, para a cota do engaste do vaso metálico no concreto, e amplificados para até 0,60 g, no topo. No caso do SDS, os valores estimados são da ordem de até 0,25 g e 1,0 g, respectivamente. Pode-se notar, portanto, que os valores admissíveis dados na Tabela 1 são maiores que os atuantes, indicando que o vaso metálico de contenção de Angra 2 está adequadamente dimensionado quanto à flambagem, para as combinações de carregamento consideradas.

No caso de cilindros reforçados por anéis sob pressão externa, duas configurações estruturais foram avaliadas. Foram dimensionadas com a utilização do critério de projeto alemães para submarinos (GL, 1988 e Franitza, 1989), para o qual se chegou a uma estrutura bastante otimizada (FS = 1,0, de acordo com esses critérios). Quando avaliadas pelo *Code Case* N-284-1, obteve-se FS da ordem de 0,65, ou seja, teriam que ser reforçadas para serem

aprovadas por esse último critério. Embora não seja exagerado ($FS = 0,65$ versus $FS = 1,0$), parece coerente esse conservadorismo maior quando são utilizadas as regras do *Code Case N-284-1*. Os submarinos são dimensionados para ter o mínimo peso possível, porque uma configuração não otimizada no que se refere ao peso estrutural leva, na maioria das vezes, à inviabilidade do projeto como um todo. Não é esse o caso de estruturas de vasos metálicos de contenções nucleares. Claro que é desejável que o peso seja baixo, por economia de material e mesmo por limitação nas espessuras, mas a responsabilidade dessas estruturas é maior porque, além da segurança dos trabalhadores, também está relacionada com a segurança do público e do meio ambiente.

Mesmo com as análises de tensões simplificadas como as aqui apresentadas é possível avaliar a resistência à flambagem utilizando o *Code Case N-284-1*. Como foi mencionado anteriormente, a partir dos resultados da análise de tensões, a metodologia de avaliação da flambagem foi automatizada. Assim, mesmo com de análise de tensões mais refinadas, como a avaliação da flambagem é a mesma, a mesma automatização dos cálculos pode ser empregada, demonstrando o forte apelo para a utilização do *Code Case N-284-1*.

6. REFERÊNCIAS

- ANSYS, Inc., 1999, ANSYS User's Manual for Rev. 5.4, ANSYS, EUA
- ASME (*The American Society of Mechanical Engineers*), 1999, *ASME Boiler and Pressure Vessel Code*, ASME, New York, NY, EUA.
- Cho, S.-R. and Frieze, P. A., 1988, Strength Formulation for Ring-Stiffened Cylinders under Combined Axial Loading and radial Pressure, *J. Construct Steel Research*, Vol. 9, pp. 3-34.
- Franitza, S., 1989, Strength Aspects of the Design of Submarine Pressure Hulls, offprint from Naval Forces, number V, vol. X
- GL (Germanischer Lloyd), 1988, Rules for Underwater Technology, 1988 Edition, Chapter 2 – Submersibles, GL, Hamburgo, Alemanha
- Lunchick, M. E., 1961, Plastic Axisymmetric Buckling of Ring-Stiffened Cylindrical Shells Fabricated from Strain-Hardening Materials and Subjected to External Hydrostatic Pressure, David Taylor Model Basin Report 1393, EUA
- NUCLEN, 1984, PSAR (Preliminary Safety Analysis Report) of Angra 2 NPP, NUCLEN, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Pulos, J. G. & Krenzke, M. A., 1965, Recent Developments in Pressure Hull Structures and Materials for Hydrospace Vehicles, David Taylor Model Basin Report 2137, EUA
- Pulos, J. G. & Salerno, V. L., 1961, Axisymmetric Elastic Deformations and Stresses in a Ring-Stiffened, Perfectly Circular Cylindrical Shell under External Hydrostatic Pressure, David Taylor Model Basin Report 1497, EUA
- Reynolds, T. E., 1960, Inelastic Lobar Buckling of Cylindrical Shells under External Hydrostatic Pressure, David Taylor Model Basin Report 1392, EUA
- USNRC (*United States Nuclear Regulatory Commission*), 1973, Design Response Spectra for Seismic Design of Nuclear Power Plants. Regulatory Guide 1.60, USNRC, Washington, DC, EUA.
- Weingart, L. J. and Mikesell Jr., W. R., 1992, *Evaluation of Wind Buckling in Atmospheric Storage Tanks Utilizing ASME Code Case N-284*, ASME PVP-Vol. 230, ASME, New York, NY, EUA.