



7º SIMPÓSIO BRASILEIRO  
SOBRE TUBULAÇÕES E VASOS DE PRESSÃO

7<sup>TH</sup> BRAZILIAN SYMPOSIUM ON PIPING AND PRESSURE VESSELS

FLORIANÓPOLIS, 07 - 09 DE OUTUBRO DE 1992

TRABALHO Nº

PP. 379-388

**ANÁLISE DE TENSÕES NA ESTRUTURA DE SUPORTE  
DO VASO DE PRESSÃO DE UM REATOR PWR**

Julio Ricardo Barreto Cruz

Miguel Mattar Neto

Carlos Alexandre de J. Miranda

COPESP/IPEN-CNEN/SP

Travessa R, 400 - CEP: 05508

Cidade Universitária - São Paulo - SP

SUMÁRIO

Descreve-se a análise da estrutura de suportação do vaso de pressão de um reator nuclear tipo PWR de pesquisa. São avaliadas algumas configurações para a suportação, considerando-se variações tanto na geometria como nas condições de contorno térmicas. As análises por elementos finitos são realizadas com o programa ANSYS. A verificação de tensões é feita de acordo com o código ASME, Seção III e os seguintes pontos são discutidos: (a) classificação e linearização de tensões; (b) interpretação dos limites de jurisdição entre a Subseção NB (Componentes Classe 1) e a Subseção NF (Suportes de Componentes) do ASME.

SUMMARY

The purpose of the paper is to present the stress analysis of a research PWR vessel support structure. Different geometries and thermal boundary conditions are evaluated. The finite element analysis is performed using ANSYS program. The ASME Section III criteria are applied for the stress verification and the following points are discussed: (a) stress classification and linearization; (b) jurisdictional boundary between ASME Subsection NB (Class 1 Components) and Subsection NF (Component Supports).

## 1. Introdução

A estrutura aqui analisada é constituída por uma saia soldada ao vaso na altura de seu flange inferior e seu projeto baseia-se fundamentalmente nos requisitos para atender às solicitações dinâmica e térmica. A avaliação da estrutura ao carregamento dinâmico foi feita através de análise espectral utilizando-se modelo de viga e os resultados indicaram ser necessária a utilização de uma saia bastante espessa, o que é inconveniente sob o ponto de vista térmico. O presente trabalho não traz detalhes da análise dinâmica, concentrando-se na apresentação do estudo termo-mecânico da suportação.

A primeira configuração estudada é aquela mostrada na figura 1, que daqui em diante será chamada de concepção inicial. Nesta concepção a saia tem espessura constante e toda sua superfície externa é banhada por água (a 40°C). Um outro ponto a ser destacado (vide figura 2) é a existência de uma região onde há descontinuidade entre a saia e o depósito de solda feito no flange (a linha tracejada indica até onde vai a penetração da solda de ligação).

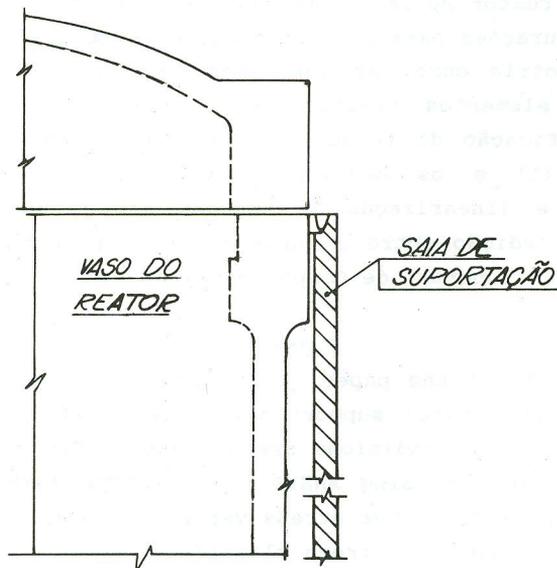


Figura 1- Saia de suportação (concepção inicial)

A concepção inicial foi analisada considerando-se variações na geometria do detalhe de ligação do vaso à saia e diferentes condições de contorno térmicas. Os resultados obtidos nessa primeira etapa orientaram a incorporação de algumas modificações na geometria da concepção inicial dando origem a uma nova geometria que daqui em diante será chamada de nova concepção (vide figura 3). Nesta nova concepção existe um trecho próximo à solda de ligação onde a saia tem sua espessura reduzida. Neste trecho a superfície externa da saia não entra em contato com a água e está prevista a utilização de um isolante térmico para minimizar a perda de calor. Uma outra diferença fundamental em relação ao projeto anterior é que a montagem é feita de tal forma que não haverá descontinuidade entre a solda e a saia.

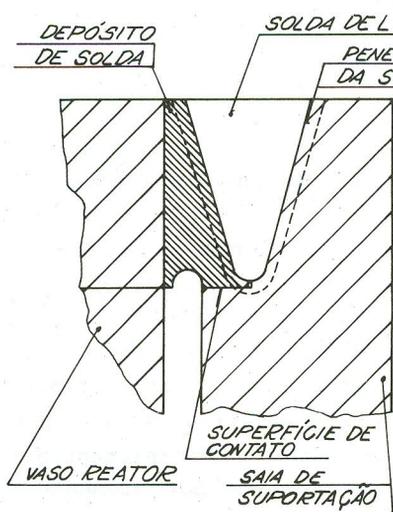


Figura 2- Det. da ligação do vaso à saia (concep. inicial)

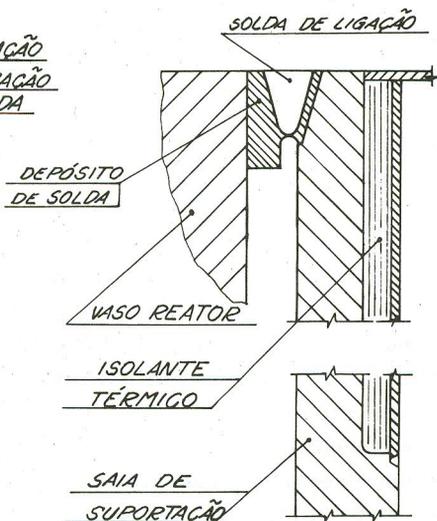


Figura 3- Geometria da nova concepção

## 2. Modelos de Análise

As análises foram realizadas utilizando-se modelos sólidos axissimétricos e a mesma malha de elementos finitos foi utilizada tanto para a análise térmica como para a análise mecânica. Como a área de interesse para o estudo restringiu-se à região de ligação do vaso com a saia de suportaçõ, sem cargas externas transversais, não houve necessidade de se modelar a geometria

completa desses componentes. Portanto, os trechos do vaso e da saia situados abaixo de uma determinada seção (suficientemente distante da região de interesse) não foram considerados no modelo (vide figura 4).

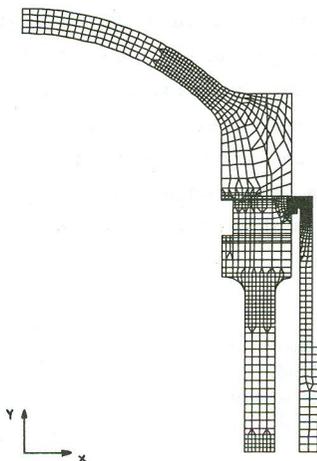


Figura 4- Modelo da nova concepção

Para a análise térmica foi utilizado o elemento isoparamétrico térmico com 4 ou 3 nós e 1 grau de liberdade (gdl) por nó (temperatura), identificado na biblioteca do ANSYS [1] como STIF55. No modelo mecânico este elemento foi substituído pelo seu equivalente estrutural, também com 4 ou 3 nós e 2 gdl por nó (2 translações), o STIF42 do ANSYS. Os parafusos da união flangeada do vaso foram representados no modelo mecânico por elementos de viga 2-D (STIF3 do ANSYS) e no modelo térmico por elemento de barra 2-D de condução de calor (STIF32 do ANSYS). No modelo mecânico foram ainda utilizados elementos de "gap" (STIF12 do ANSYS) na superfície de contato entre os flanges superior e inferior.

### 3. Análises Realizadas e Resultados Obtidos

As análises térmicas foram realizadas considerando-se as condições de troca de calor por convecção nas superfícies internas do vaso (com temperaturas da ordem de 280°C) e na superfície externa da saia de suportação (com temperatura de 40°C). As demais superfícies foram consideradas adiabáticas. A troca de calor por

radiação entre a superfície lateral do flange inferior e a superfície interna da saia, bem como entre os dois flanges (na região onde não há contato) foi avaliada com a utilização de elementos de radiação (STIF31 do ANSYS), mas optou-se por desprezá-la, pois sua influência era muito pequena e traria a inconveniência de introduzir não-linearidades desnecessárias.

Nas análises mecânicas foram considerados os seguintes carregamentos: (a) temperaturas nodais obtidas das análises térmicas; (b) pressão interna de operação do reator; (c) esforço de pré-aperto dos parafusos (aplicado como uma deformação inicial no elemento de viga que atravessa o flange superior); (d) peso próprio (do vaso, da suportaçõ, internos do reator e estruturas montadas sobre o tampo do vaso). Além disso, foi aplicada na seção inferior da parede do vaso a força de fechamento devida à pressão interna atuante no fundo do vaso, o qual não foi considerado no modelo. Como condição de contorno, foram prescritos deslocamentos verticais nulos nos nós da seção inferior da saia de suportaçõ.

Desde o início sabia-se que uma forma de reduzir o nível de tensões na região de ligação do vaso à suportaçõ seria isolar um trecho da saia próximo a essa região, reduzindo-se assim a perda de calor para a água ambiente e, de consequência, o gradiente térmico na região. Porém, diante da restrição de se manter toda a superfície externa da suportaçõ em contato com a água (como previa a concepção inicialmente proposta), resolveu-se avaliar em primeiro lugar a influência da geometria do detalhe de ligação do vaso com a saia na distribuição de tensões na região.

Portanto, foram analisados alguns casos (com base na concepção inicial) variando-se a dimensão do depósito de solda e considerando-se ou não a continuidade estrutural na região de apoio do depósito de solda. Os resultados obtidos nessas primeiras análises mostraram que: (a) a alteração na dimensão do depósito de solda apenas provoca uma redistribuição de tensões localizada, ora sobrecarregando ora aliviando determinada seção, porém mantendo elevado o nível geral de tensões; (b) a consideração da continuidade estrutural ao longo da superfície de apoio do depósito de solda na saia eleva o nível de tensões em toda a região de ligação do vaso à suportaçõ e isto acontece porque desta maneira introduz-se mais rigidez na estrutura, dificultando-se ainda mais a expansão térmica.

Numa segunda etapa procurou-se avaliar o comportamento das tensões ao se rebaixar o nível da água na superfície externa da saia de suportaçao (admitiu-se o trecho da suportaçao acima desse nível isolado termicamente). Foram também analisados alguns casos reduzindo-se a espessura da saia.

Esse estudo inicial de alternativas mostrou que a soluçao final deveria prever o isolamento térmico de um trecho da saia próximo à região de ligaçao do vaso com a saia. Além disso, o apoio do vaso na saia deveria ser reprojeto de tal maneira que ao ser feita a solda de ligaçao fosse garantida uma continuidade estrutural ao longo de toda a espessura da seçao. Isto permitiria a definiçao de uma espessura menor para a saia, o que a tornaria mais flexível, contribuindo também para reduzir as tensões térmicas.

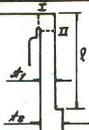
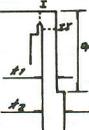
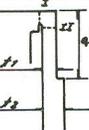
Portanto, algumas modificaçoes foram adotadas no projeto da suportaçao, dando origem a uma nova geometria que está sendo chamada neste trabalho de nova concepçao (figura 3). Na tabela 1 estão indicados os resultados da análise da nova concepçao para quatro casos diferentes, variando-se, de um caso para o outro, o comprimento e/ou a espessura do trecho da saia isolado termicamente. Para cada caso são apresentadas nas seçoes I e II (indicadas com linhas tracejadas nos croquis da tabela 1) as tensões máximas de membrana + flexão, sendo que nas duas primeiras colunas estão as tensões provocadas pela temperatura + cargas mecânicas e as outras duas colunas mostram as tensões decorrentes apenas das cargas mecânicas.

A observaçao dos resultados (duas primeiras colunas da tabela 1) obtidos nos casos 1, 2 e 3 revela a influência do comprimento do trecho isolado no nível de tensões. Com relaçao à espessura da saia nesse trecho, sua influência pode ser aferida comparando-se os resultados dos casos 1 e 4.

#### 4. Verificaçao das Tensões segundo o Código ASME

Em primeiro lugar vem a definiçao do limite de jurisdiçao entre o componente barreira de pressao (o vaso de pressao do reator) e a sua estrutura de suportaçao; por interpretaçao do subparágrafo NB-1132.2 do ASME [2], o depósito de solda no flange e a solda de ligaçao devem ser considerados como parte do vaso e como tal devem atender aos requisitos da Subseçao NB ("Class 1 Components") [2]. A partir da solda de ligaçao a verificaçao deve seguir o que determina a Subseçao NF ("Component Supports") [3].

Tabela 1- Tensões SI ("Stress Intensity") de membrana + flexão

	CASO	SI <sub>mem</sub> (F <sub>m</sub> + f <sub>b</sub> ) N/mm <sup>2</sup>			
		TEMA + MEC.		MEC.	
		SEÇÃO I	SEÇÃO II	SEÇÃO I	SEÇÃO II
	CASO 1	311,4	245,5	41,5	36,5
	CASO 2	363,8	287,1	41,7	36,6
	CASO 3	500,8	390,8	42,9	37,6
	CASO 4	333,4	250,8	49,2	39,8

A Subseção NF [3] dispensa a avaliação de tensões térmicas (subparágrafo NF-3121.11) e considerando-se que os demais carregamentos de operação normal (pressão, peso próprio e pré-aperto) provocam um nível baixo de tensões na saia (observe as duas últimas colunas da tabela 1), a verificação das tensões para seções situadas após a solda de ligação para condições normais de operação do reator torna-se dispensável.

Para as seções que vão desde o vaso até a solda de ligação a Subseção NB [2] (subparágrafo NB-3222.2, limites de serviço nível A) exige a verificação do limite  $(P_1 + P_b + Q)_R < 3S_m$ , onde  $(P_1 + P_b + Q)_R$  é o "range" máximo das tensões primárias + secundárias e  $S_m$  é o valor admissível básico da norma. Deve-se notar que o limite é imposto ao "range" de tensões durante toda a história de operação normal do reator. Portanto, não haveria necessidade de incluir o carregamento de peso próprio na verificação desse limite, mas como sua influência é muito pequena isso não é relevante.

Para o material em questão  $3S_m = 481,5 \text{ N/mm}^2$ . Portanto, para condições normais de operação, os casos 1, 2 e 4 atendem aos

requisitos do ASME (vide na tabela 1 as tensões na seção I provocadas pela temperatura e carregamentos mecânicos).

Conforme mencionado na introdução deste trabalho, o projeto da suportação baseia-se num compromisso entre os requisitos para suportar as solicitações dinâmica e térmica. O carregamento dinâmico é associado a uma condição que implica a verificação de tensões primárias de membrana e de flexão. No presente trabalho não são apresentados os resultados, nem é feita a verificação das tensões provocadas pelo carregamento dinâmico, mas pode-se dizer que o projeto baseado nas configurações correspondentes aos casos 1 e 4 da tabela 1 não é viável, o primeiro por não atender aos requisitos da norma e o segundo devido a problemas construtivos.

#### 5. Linearização das Tensões

A maneira de relacionar distribuições de tensões obtidas pelo método dos elementos finitos com os critérios de falha do ASME para os quais são impostos limites sobre as tensões primárias e primárias mais secundárias é um assunto polêmico e referências recentes sobre o assunto [4][5] deixam várias questões em aberto, algumas delas envolvendo o procedimento de linearização utilizado para obtenção das componentes de membrana e de flexão.

Uma dessas questões diz respeito à escolha das componentes de tensões a serem linearizadas. No caso de estruturas axissimétricas existem quatro componentes de tensão: três normais (meridional, circunferencial e na direção da espessura) e uma de cisalhamento. Com relação às tensões normais meridional e circunferencial não há dúvida quanto ao fato de que as mesmas devem ser linearizadas. A polêmica envolve a linearização da tensão de cisalhamento e da tensão normal na direção da espessura da seção para a determinação da sua contribuição à flexão. Teoricamente é difícil justificar o cálculo de uma parcela de flexão para estas tensões [4]. Sendo assim, que valor destas componentes (tensão total ou tensão de membrana) deve ser utilizado na avaliação da tensão equivalente SI ("stress intensity") de membrana + flexão?

O método que se encontra disponível na rotina de pós-processamento POST1 do ANSYS [1] considera a linearização das componentes normais meridional (SY) e circunferencial (SZ) e toma para o cisalhamento (SXY) a tensão média. Com relação à componente normal na direção da espessura da seção (SX), o programa tem duas

opções: (a) despreza as tensões de flexão e, portanto, as tensões de membrana + flexão são iguais as tensões de membrana; (b) assume que as tensões de pico são nulas nas superfícies interna e externa, o que significa dizer que as tensões de membrana + flexão são iguais às tensões totais.

Na figura 5 é apresentado o resultado da linearização de tensões feita na seção I (para caso 2) utilizando-se o procedimento do ANSYS [1]. As figuras 5a a 5d referem-se às componentes de tensão (SX, SY, SZ e SXY) enquanto as figuras 5e e 5f dizem respeito a tensão equivalente SI considerando as opções (a) e (b) mencionadas no parágrafo anterior, respectivamente. Nas figuras estão representadas as tensões totais, de membrana e de membrana + flexão.

Comparando-se os valores das tensões SI de membrana + flexão mostrados nas figuras 5e e 5f, verifica-se que há uma diferença substancial entre os resultados quando se utilizam as duas opções disponíveis no ANSYS, as quais estão relacionadas diretamente com a consideração ou não das tensões de flexão para componente normal na direção da espessura (figura 5a). Os resultados da tabela 1 foram obtidos com a opção (a).

## 6. Conclusões

O estudo realizado mostrou que o isolamento térmico de um trecho da suportação próximo à solda de ligação com o vaso é a única forma de contornar o problema de tensões térmicas elevadas, mantendo-se as características de rigidez requeridas pelas condições de carregamento dinâmico.

É importante a definição prévia de qual norma e seus respectivos limites aplicar na região de transição vaso-suportação. Neste trabalho interpretou-se que deve ser aplicada a Subseção NB [2] no vaso até a solda de ligação e a partir daí a Subseção NF [3], que dispensa a verificação de tensões térmicas.

Na questão da linearização de tensões, julga-se que o procedimento do programa ANSYS com a opção (a) mencionada na seção anterior é o mais adequado porque é mais próximo da realidade física.

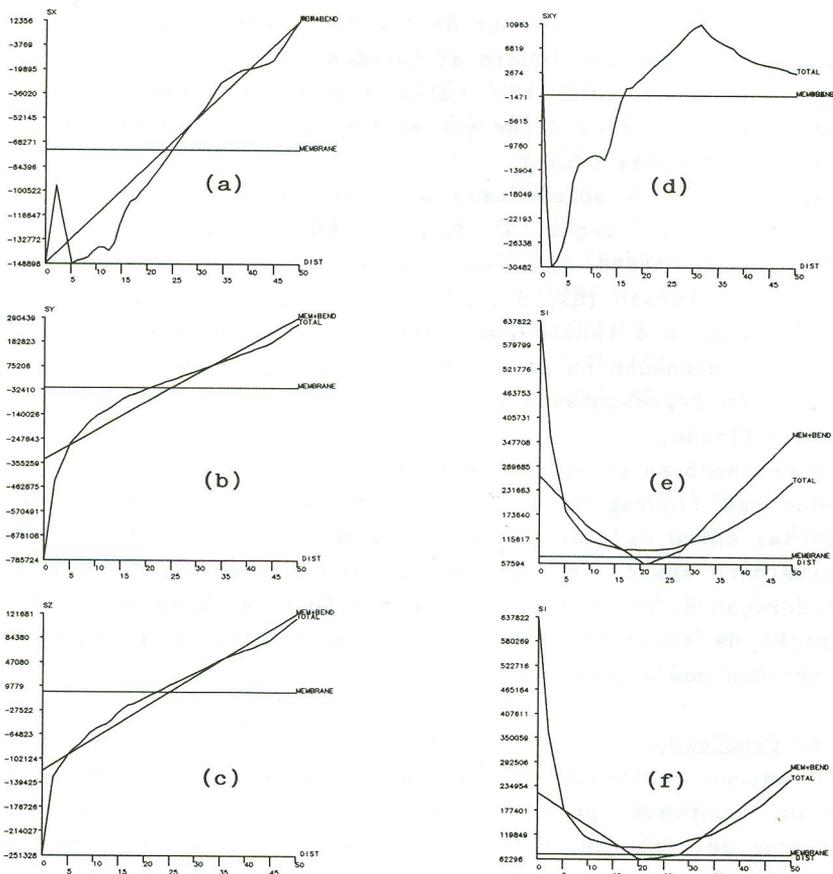


Figura 5- Linearização de tensões

#### REFERÊNCIAS

- [1] ANSYS Engineering Analysis System, Revision 4.4A, 1990.
- [2] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division I, Subsection NB, Classe 1 Components, 1989.
- [3] ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section III, Division I, Subsection NF, Component Supports, 1989.
- [4] J. L. Hechmer and G. L. Hollinger, Considerations in Calculations of Primary-plus-Secondary Stress Intensity Range For Code Stress Classification, PVP - Vol.136, 17-33, 1988.
- [5] J. L. Hechmer and G. L. Hollinger, Three Dimensional Stress Criteria , PVP - Vol.210-2, 181-191, 1991.