

15/06/73

CBTN/DTD/IPR

GRUPO DE ANÁLISE DE REATORES A ÁGUA

GRUPO DE TÉRMICA (ÁGUA)

PRIMEIRA AVALIAÇÃO DE ACIDENTES OCASIONA-
DOS POR FALHAS NO SISTEMA PRIMÁRIO DE REFRIGERAÇÃO DO REATOR '
DESCRITO NO PSAR DE ANGRA.

Acidente 14.3-4 - Perda completa do fluxo forçado de refrigera-
ção do reator (LOFA)

Acidente 14.4-1 - Ruptura de uma tubulação do sistema de refri-
geração do reator (LOCA)

Acidente 14.4-4 - Travamento do rotor de uma bomba do sistema'
primário de refrigeração do reator (LOFA)

CONFIDENCIAL

Bruno C. Neiva
Olga C.R.L. Simbalista
Paulo de C. Tófani
Perpétua A. Soares.

1. INTRODUÇÃO

A análise dos acidentes apresentados refere-se a um reator típico comportando tres regiões de enriquecimento de combustível e dois circuitos de refrigeração do núcleo.

As informações prestadas são insuficiente para compreensão da análise apresentada, donde a solicitação de informações adicionais.

Deve ser solicitada a análise de segurança especificamente para o reator de Angra.

2. DEFINIÇÃO DOS ACIDENTES CONSIDERADOS COMO FALHAS INFREQUENTES (CONDIÇÃO III)

As ocorrências consideradas na condição III são falhas que podem ocorrer de maneira infrequente durante a vida da central. Tais falhas não impedem o funcionamento da central se apenas uma pequena fração das barras combustíveis for afetada. Caso contrário a retomada de operação só é possível após um período considerável de desligamento. A liberação de radioatividade não é suficiente para interromper ou restringir o uso pelo público das áreas externas do limite de exclusão. Estas falhas não devem, por si só, resultar num acidente de Condição IV nem na sobrepressão do R C S.

3. DEFINIÇÃO DOS ACIDENTES CONSIDERADOS COMO FALHAS LIMITES (CONDIÇÃO IV)

As ocorrências consideradas na condição IV são falhas que não se espera ocorrer durante a vida da central, mas que são estudadas devido a possível consequência de liberação de quantidades significativas de material radioativo. Tais ocorrências são as mais drásticas possíveis, representando os casos limites de projeto. Elas não causam liberação de produtos de fissão que possam resultar em risco à saúde e segurança pública, em níveis impostos pelo USAEC 10 CFR 100, similar às "Normas para Escolha de Locais para Instalação de Reatores de Potência" da CNEN. Uma única falha de condição IV não causa uma consequente perda das funções requeridas dos sistemas necessárias para cobrir o acidente, incluindo o sistema de refrigeração de emergência do núcleo e o vaso de contenção.

4. DESCRIÇÃO DOS ACIDENTES

4.1. Acidente 14.3-4 - Perda completa do fluxo forçado de refrigerante do reator . (LOFA)

A perda completa de fluxo de refrigerante pode resultar da perda de suprimento elétrico as duas bombas. O efeito desta perda é o aumento da temperatura de refrigerante que pode resultar em DNB com dano físico do combustível se o reator não for desligado rapidamente.

Os seguintes sinais de desligamento do reator fornecem proteção ao acidente:

1. subtensão nos barramentos das bombas.
2. subfrequência nos barramentos das bombas
3. fluxo baixo de refrigerante num dos dois circuitos
4. abertura do disjuntor das bombas

Os dispositivos acima mencionados são tem sua atuação permitida em nível de potência acima de 10% da potência nominal (Permissive 7 tabela 7.2.2.)

4.1.1. - Condições de análise

As condições de operação em regime estacionário adotadas como mais conservativas ao que se refere a DNBR são:

1. nível máximo de potência
2. pressão mínima
3. temperatura de refrigerante máxima
4. coeficientes de reatividade do moderador e Doppler mínimos em valor absoluto.
5. O reator será desligado a partir do sinal de subtensão.

4.1.2. Discussão das condições de análise

A adoção de cada uma das 3 primeiras condições leva a condições mais conservativas como pode ser visto na figura 1. Nesta figura mostra-se as variações de fluxo de calor, pressão e temperatura de entrada (entalpia), e as variações de fluxo crítico. Constam ainda os pontos de início de ebulição. A influência paramétrica de cada condição no fluxo crítico é mostrada.

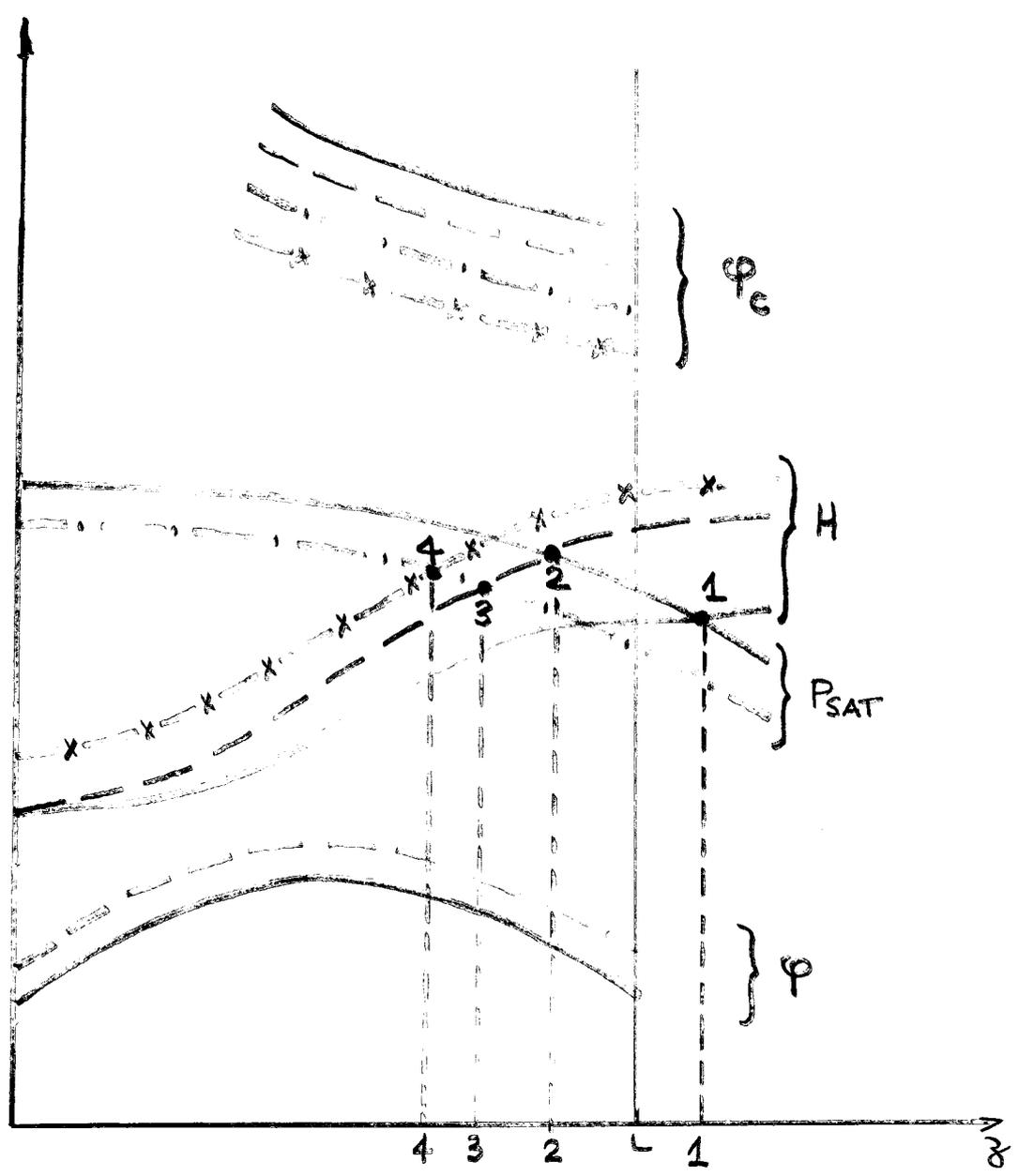
A partir do ponto 1 considerado como condição de referência chega-se a 2 devido ao aumento de potência, passa de 2 para 3 devido à diminuição de pressão e de 3 para 4 devido a aumento de temperatura de entrada. Se não for considerado o aumento de temperatura de entrada, o simples aumento de potência acarreta um aumento da temperatura média.

A adoção da quarta condição implicará em realimentação negativa mínima. O coeficiente Doppler mínimo (valor absoluto) diminui também a reatividade disponível para o desligamento do reator (power defect) e o coeficiente de reatividade do moderador mínimo resulta num fluxo máximo de calor no ponto quente na parte inicial do transiente. Essa condição é, portanto, a mais conservativa.

A adoção da quinta condição como sendo a mais conservativa, a partir dos dados fornecidos, não é óbvia. Na tabela 14.1-2 são dados os tempos de resposta, pontos de atuação dos sinais de desligamento exceto dos disjuntores das bombas. Porém, não são conhecidos os tempos até serem atingidos os respectivos pontos de atuação.

4.1.3 - Discussão dos resultados ilustrativos

Não foi fornecido o modo pelo qual, fazendo-se o balanço de quantidade de movimento e massa, foi obtida a curva de queda de fluxo de refrigerante apresentada na figura 14.3-13.



- CONDIÇÃO INICIAL
- - - AUMENTO DE FLUXO DE CALOR
- · - · - DIMINUIÇÃO DA PRESSÃO
- x - x - AUMENTO DA TEMPERATURA DE ENTRADA

FIGURA 1

O método de cálculo permitindo a obtenção das curvas das figuras 14.3-14 e 14.3-15 não foi fornecido.

Observa-se que na figura 14.3-14 a queda de fluxo de calor no canal mais quente é mais rápida que a do fluxo médio.

Na figura 14.3-15 observa-se que a correlação utilizada (W-3) foi obtida em regime estacionário. Sabe-se, entretanto, que os fluxos críticos em regime transitório são superiores a estes valores. Há necessidade de saber se essa figura corresponde às condições do canal mais quente. Como o mínimo obtido nesta curva (1,6) é superior a 1,3, não há perigo de dano do revestimento e liberação de produtos de fissão ao sistema de refrigeração do reator.

4.2. Acidente 14.4.1 - Ruptura de uma Tubulação do Sistema de Refrigeração do Reator (LOCA)

4.2.1. Descrição do Acidente

O LOCA resulta da ruptura de uma tubulação do primário ou qualquer linha ligada a este até a primeira válvula fechada.

Rupturas de pequena seção fazem com que haja expulsão de refrigeração do primário a uma taxa que pode ser compensada pelas bombas de carregamento do ECCS (charging pumps). Furos de seções superiores a estas são as consideradas na análise deste acidente (LOCA).

Quando ocorre uma grande ruptura, há uma consequente de pressurização do RCS e o reator desligado a partir do sinal de pressão baixa no pressurizador. O ECCS atua quando forem atingidos os pontos de atuação dos dispositivos de desligamento por baixa pressão e baixo nível no pressurizador. O desligamento do reator, assim como a atuação do ECCS, podem se dar a partir de um sinal de alta pressão no vaso de contenção. A atuação destes complementarã a formação de vazio ocasionada pela depressurização, sob o ponto de vista neutrônico, levando a potência a um nível residual correspondente ao decaimento dos produtos de fissão. Neste caso, quando o boro for injetado a concentrações superiores a 2000 p.p.m, o coeficiente de reatividade do moderador pode se tornar positivo em relação a temperatura de operação (Figura 3.2.1.-8).

Sob o ponto de vista térmico, a injeção de água assegura suficiente inundamento, evitando que

temperaturas excessivas sejam atingidas.

Todo o calor gerado é transferido para o secundário que, na ausência do reservatório de vapor (steam dump) do condensador, levará a um acréscimo de pressão do secundário até que haja atuação das válvulas de alívio e segurança do gerador de vapor. O sinal do ECCS interrompe o suprimento normal de água do secundário e inicia a atuação do sistema auxiliar de alimentação de água pela partida dos motores das bombas auxiliares. No caso de haver potência (off-site) disponível o vapor é lançado no condensador e caso contrário, diretamente na atmosfera.

Quando a pressão do RCS cai abaixo 700 psig ($49,2 \text{ Kg/cm}^2$) os acumuladores entram em funcionamento.

4.2.2. Condições de Análise Térmica

Não são explicitadas as condições consideradas como as mais conservativas. São fornecidos, de maneira vaga, condições de entrada dos códigos utilizados e descrições de modelos de cálculo. Não se distingue se as suposições feitas ao longo do texto se referem a modelos de cálculo ou às condições de acidente. Desse modo, não se tem possibilidade de inferir indiretamente quais seriam as condições mais conservativas.

A análise térmica é feita considerando tres aspectos do acidente separados, embora interrelacionados:

- Hidráulica do Blowdown incluindo o reinundamento (SATAN-V).
- Cinética de Reatores (CHIC-KIN).
- Refrigeração do Núcleo (LOCTA-R2).

Os aspectos importantes abordados pelos códigos são apresentados resumidamente no quadro anexo.

CÓDIGO	SATAN-V	CHIC-KIN	LOCTA-R2
ASPECTOS	Hidráulica do Blow-down e reflooding.	Cinética de Reatores.	Refrigeração do Núcleo.
MODELOS ANALÍTICOS	Modelo unidimensional com parâmetros agrupados, admitindo no máximo 96 volumes de controle (2 no núcleo). No reflooding são considerada água no plenum inferior.	Modelo de cinética pontual. Para cálculo transf. cabr. subdividindo canal no máximo em 20 seções axiais e 11 radiais (10 no combust. e 1 no canal água) para acidentés rápidos e intermediários.	Método de parâmetros agrupados. Número ilimitado de seções axiais, 3 nós radiais no combustível e 1 no revestimento (só admite fluxo de calor na direção radial).
DADOS DE ENTRADA	<ul style="list-style-type: none"> -Características da bomba. -inércia da bomba -cavitação da bomba -coef. transf. calor núcleo -coef. transf. calor ger.vap. -nº vols. controle. -nº fluxo p/fora e p/dentro c/ poss. de 1 furo em cada vol. -propriedades termodinâmicas de cada elemento. -dados físicos de cada elemento. -coef. transf. calor partes internas do reator e paredes do vaso. -fluxo refr. do acumulador -fluxo refr. do sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> -reatividade externa -temp. refrig. ou(entalpia) -fluxo de refr. na entrada (ou queda de pressão)- -pressão do sistema. -caract. nucleares do sistema (realimentações: dens. do moderador, variações de temp., alargamento do Doppler). 	<ul style="list-style-type: none"> -condições iniciais do comb. em função da potência. -taxa do fluxo de massa no núcleo. - título do refrigerante. -pressão.

CÓDIGO	SATAN-V	CHIC-KIN	LOCTA-R2
DADOS DE SAÍDA	<ul style="list-style-type: none"> - Fluxo refrigerante (no espaço e no tempo) - título (espaço e tempo). - pressão (espaço tempo). - taxa e tempo de recobri<u>mento</u>. - coeficiente transf. ca<u>lor</u> ponto quente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Potência no núcleo. - temperatura de refrige<u>rente</u>. - temperatura -pastilha - veloc. de massa. - densidade. - entalpia - fração vazio - componente de reati<u>vidade</u>. - variações de pressão. 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatura combustível - temperatura revestimento - temperatura vapor - quantidade reação metal-vapor. - energia liberada na reação. - calor total liberado para o refrigerante. - coeficiente transferência de calor.

4.2.3. Discussão dos Resultados Apresentados sobre a Análise Térmica.

A análise foi feita a 102% de 1860 MWt e a um pico de densidade linear de potência de 19,2 KW/ft.

Os resultados ilustrativos apresentados são baseados nas condições supostas como mais conservativas no que se refere a:

1. transferência de calor do núcleo para o refrigerante.
2. características das bombas de refrigeração.
3. características de transferência de calor dos geradores de vapor.
4. resistência do circuito e localização do furo.
5. desempenho dos acumuladores .

Estas condições foram determinadas a partir de um estudo paramétrico feito no FSAR do Indian Point Unit 2.

Nas figuras 14.4.6 a 8 são apresentadas as variações de pressão, coeficiente de transferência de calor no ponto quente, fluxo de refrigerante no núcleo e título, em função do tempo após o acidente para vários furos na perna fria, na fase inicial do acidente. Nenhuma explicação é apresentada para as evoluções dos quatro parâmetros. Desde que os códigos utilizados na obtenção dos resultados são extremamente complexos e o número de dados numéricos apresentados no texto é insuficiente, não se pode, a grosso modo, explicar tais evoluções.

Nas figuras 14.4.9 a 11 são apresentadas as

evoluções da temperatura de superfície do revestimento durante as fases do acidente. As mesmas observações se aplicam a estas. Baseados nestas figuras, na página 14.4-14, no segundo parágrafo é afirmado que a temperatura máxima de revestimento é de 1990^oF, correspondente ao furo de 3,0ft². Na realidade, são apresentadas as figuras 14.4-13 e 14.4-15 onde as temperaturas ultrapassam este valor (figuras não mencionadas no texto).

Afirma-se, sem nenhuma justificativa, que a máxima reação local metal-água é inferior a 3% e que a reação total é inferior a 1%.

Observa-se que as figuras de 14.4-12 a 14.4-21 não são mencionadas em nenhum trecho da seção, embora referindo-se nitidamente ao LOCA.

Finalmente, observa-se que não são fornecidas as evoluções das grandezas principais relativas ao LOCA, ao longo das diversas fases do acidente para, pelo menos, um diâmetro de furo. A análise destes dados fragmentados é impossível.

4.2.4. Observações sobre Análise Mecânica e Produção de Hidrogênio.

Após o exame dos itens 14.4.1.4 e 14.4.1.5 verificou-se que a avaliação das consequências de natureza puramente mecânica só pode ser realizada pela equipe que tenha feito a avaliação da parte mecânica da seção 3 e que tenha, além disto, competência no que se diz respeito a análise estrutural de componentes.

Da mesma maneira, após o exame dos itens 14.4.1.6 e 14.4.1.7, verificou-se que se referem ao aspecto de química dos materiais. Qualquer parecer

da equipe sobre as afirmações aí contidas não poderia ser substanciada com o devido conhecimento requerido ao exame da matéria.

4.3. Acidente 14.4-4 : Travamento do rotor de uma bomba do sistema primário de refrigeração do reator (LOFA).

4.3.1. Descrição do acidente:

Trata-se do travamento instantâneo do rotor de uma das bombas do sistema de refrigeração do reator (RCS). O fluxo de refrigeração no circuito afetado é reduzido rapidamente, acarretando o início do desligamento do reator a partir do sinal de baixa vazão. Em consequência haverá aumento de temperatura e pressão do refrigerante.

O aumento de pressão leva à abertura, em sequência, das válvulas do sistema de ducha (2260 psia), de alívio (2335 psia) e de segurança (2485 psia).

O efeito de redução de pressão devido à ação das válvulas de alívio e da ducha não é considerado na análise por conservativismo.

4.3.2. Condições de análise:

Existem duas possibilidades de análise:

- Dois circuitos operando (caso correspondente a análise apresentada).
- Apenas um circuito operando.

As condições consideradas como conservativas em relação ao DNBR são:

1. Nível máximo de potência em regime estacionário.
2. Pressão mínima em regime estacionário. Neste caso subtrai-se da pressão nominal 30 psia, correspondentes a erros de medida e canais de controle.

3. Temperatura média máxima em regime estacionário.
4. Coeficiente de transferência de calor na interface revestimento- refrigerante considerado como coeficiente de transferência de calor em regime de ebulição pelicular (film boiling).
5. Durante o transiente foi considerado que a pressão e a densidade permaneceram iguais às iniciais.
6. O DNB ocorre no início do acidente.
7. No início do transiente a condutância do entreferro pastilha - revestimento é máxima ($10000 \text{ Btu/hr}\cdot\text{ft}^2\cdot^{\circ}\text{F}$).
8. A partir de 1800°F (temperatura de revestimento) leva-se em conta o calor da reação exotérmica zircônio-vapor.
9. A reatividade disponível para desligamento igual à margem do desligamento em condições sem carga (no load).

As condições adotadas como mais conservativas em relação ao transiente de pressão são:

1. Nível máximo de potência em regime estacionário.
2. Pressão inicial máxima. Neste caso soma-se à pressão nominal 30 psia, correspondentes a erros de medida e canais de controle.
3. Temperatura média máxima em regime estacionário.
4. Reatividade disponível para desligamento igual à margem de desligamento em condições sem carga (no load).
5. Não se considera o efeito de redução de pressão devido à atuação das válvulas de alívio, da ducha, do reservatório de vapor (steam dump) e do controle da vazão no secundário (feedwater).

6. Perda máxima de pressão através do núcleo.
7. Considera-se que as válvulas de segurança atuam a pressão de 2525 psia (pressão nominal + 40 psia).

4.3.3. Discussão das condições tomadas.

Condições de DNBR:

As tres primeiras condições como mais conservativas se justificam de maneira análoga da descrita no acidente 14.3-4 (figura 1).

A adoção da quarta condição é conservativa uma vez que o coeficiente de transferência de calor em regime pelicular é mínimo, o que, para uma mesma temperatura média de refrigerante, leva a uma temperatura máxima de revestimento.

A quinta condição, no que se refere a pressão, é realmente conservativa porque, desde que a pressão vai aumentar durante o transiente e este aumento acarreta em aumento do DNBR, é mais conservativo considerar a pressão mínima.

Quanto à influência do valor adotado para a densidade média deve-se analisar com maiores detalhes.

A adoção da sexta condição é evidentemente conservativa.

Quanto à sétima condição, a passagem de 1000 Btu/h-ft²-°F para 10000 Btu/h-ft²-°F, no início do transiente, implica em máxima taxa de liberação do calor armazenado no combustível para o revestimento e, portanto, em maior acréscimo de temperatura neste.

A oitava condição é mais conservativa uma vez que leva a temperatura de revestimento maior.

A adoção da nona condição como mais conserva-

tiva é óbvia porque a margem de desligamento considerada é mínima.

Condições de pressão máxima:

A adoção das condições 1 e 3 nos leva a maiores gradientes de pressão ao longo do núcleo. Portanto, a uma pressão no pressurizador imposta corresponde pressões de entrada no núcleo maiores. Este fato explica igualmente a sexta condição.

A adoção das condições 2 e 4 é óbvia.

A quinta condição é mais conservativa porque implica em pico de pressão máximo.

A adoção da sétima condição para uma pressão de abertura da válvula de segurança a mais 40 psia de sua pressão nominal retarda o início de depressurização do sistema.

4.3.4. Discussão dos resultados ilustrativos.

O acidente ilustrado corresponde ao bloqueio do rotor de uma bomba quando dois circuitos se acham em operação. Não se sabe se esta bomba corresponde ao circuito contendo o pressurizador ou não.

Na fig. 14.4-31 é apresentada a evolução da pressão no primário após o acidente.

Nenhuma informação foi dada sobre o código citado no primeiro parágrafo da pág. 14.4-51 para a obtenção desta figura.

Para se conseguir localizar nesta figura o ponto de atuação das válvulas de segurança do pressurizador, bem como as pressões máximas atingidas no primário é necessário o conhecimento da evolução de pres-

são no pressurizador.

Na figura 14.4-32 é apresentada a evolução do fluxo de refrigerante no núcleo, após o acidente. Nota-se que a vazão cai abaixo de 50% do valor inicial.

Na figura 14.4-33 é apresentada a evolução da temperatura do revestimento, no ponto quente, após o acidente; o máximo ocorre cerca de 3,8 segundos após o início do acidente, correspondendo a cerca de 1680°F. Este valor se acha bem abaixo da temperatura de fusão do Zircaloy-4 (3375°F) bem como do valor a partir do qual considera-se efeito importante da reação Zircônio-vapor (1800°F), sendo esta última condição superabundante.

A temperatura máxima encontrada é superior à temperatura de fratura do revestimento (1100°F).

Na figura 14.4-34 é apresentada a evolução do DNBR, após o acidente. Pode-se notar que a condição 6 quanto ao DNB não é aplicada pois, para $t=0$, o DNBR no ponto quente é igual a 1,9.

Na figura 14.4-35 é apresentada a porcentagem de barras acima do DNBR indicado. Quando DNBR tende para zero existem 2% das barras das quais não se tem informação.

4.3.5. Discussão das conclusões.

1. Afirma-se que a pressão máxima atingida está abaixo da pressão que originaria a tensão limite (não especificada no texto). Observa-se que o pico de pressão durante o transitório se acha abaixo do valor da tensão de teste hidrostático (3107psia).

2. O pico de temperatura no ponto quente (1680°F) se acha abaixo de 2300°F (Interim Policy Limit) e

portanto, o núcleo permanece intacto.

3. Desde que se obtem DNBR menor que 1,30 para cerca de 20% das barras ("small percentage" mencionada na página 14.4-54) há possibilidade de dano no revestimento e consequente liberação de atividade.

5. INFORMAÇÕES ADICIONAIS A SEREM SOLICITADAS SOBRE OS ACIDENTES.

5.1. Acidente 14.3.4 - Perda completa do fluxo forçado de refrigerante do reator.

1. Fornecer o valor do tempo de atraso (delay time) admitido para desligamento a partir do sinal do disjuntor da bomba (pump circuit breaker opening), mencionado no item 3 da página 14.3-17.
2. Fornecer descrição dos códigos de cálculo adotados na obtenção das curvas da figura 14.3-14.
3. Fornecer, no caso do reator ser desligado pelo sinal de baixa vazão, as curvas correspondentes às figuras 14.3-14 e 14.3-15.
4. Na fig. 14.3-15 o DNBR corresponde ao ponto quente? Caso negativo indicar o caso considerado, e fornecer a curva correspondente ao ponto quente.
5. Fornecer uma figura mostrando a evolução da temperatura de revestimento no ponto quente, a partir do início do acidente, para os casos de desligamento a partir do sinal de sub-tensão e do sinal de baixa vazão.

5.2. Acidente 14.4-1 - Ruptura de uma Tubulação do Sistema de Refrigeração do Reator (LOCA).

1. Classificar de acordo com o diâmetro do furo (break) as categorias admitidas como furo pequeno (small), intermediário (intermediate) e grande (large).
2. Fornecer uma figura representando os valores máximos de temperatura atingidas em cada furo conside-

rado na análise, versus a área dos furos.

3. Fornecer figuras, incluindo no texto discussão destas, representando a evolução com o tempo, para os quatro casos seguintes:

- a. double ended cold leg break (guillotine).
- b. double ended cold leg break (split).
- c. double ended hot leg break (guillotine).
- d. diâmetro de furo relativo ao pico de temperatura máximo correspondente à curva solicitada no item 2;

dos parâmetros abaixo relacionados:

- Potência.
- Pressão no núcleo (especificar o ponto).
- Título termodinâmico.
- Vazão de massa no núcleo.
- Coeficiente de troca de calor no ponto quente.
- Temperatura máxima do revestimento.
- Gradiente de pressão no núcleo .
- Vazão de massa através do furo.
- Componentes da vazão de massa no núcleo (como mostrados na figura 14.4-18B).
- Distribuição de vazão de massa nas pernas dos dois circuitos (como mostrada na figura 14.4-19).
- Velocidade de inundamento e altura motriz (como fornecidas na figura 14.4-20).
- Nível de refrigerante no núcleo.
- Nível de refrigerante no "downcomer".

5. Fornecer uma lista incluindo todas as condições utilizadas na análise das tres fases do LOCA para todos os diâmetros e localização de furos considerados no item 3.

Mencionar explicitamente valores numéricos adotados quando pertinente.

6. Para cada caso considerado no item 3 dar a combinação mais conservativa (most adverse) de análise do acidente de maneira análoga à citada no primeiro parágrafo da página 14.4-14 no caso do FSAR do Indian Point Unit 2.
7. Na interpretação de parâmetros calculados por dois códigos distintos, dentre os tres utilizados na análise térmica do acidente, indicar e justificar a adoção do valor selecionado. (p.e: o coeficiente de troca de calor adotado refere-se ao calculado pelo SATAN-V ou LOCTA- R2 ?)
8. Fornecer uma figura apresentando o fluxo de vapor através dos dois circuitos do primário versus altura de líquido "downcomer".
9. Fornecer uma figura apresentando a percentagem de barras danificadas (burst) versus a área do furo.
10. Discutir a tabela 14.4-2, não mencionada no texto, no que se refere à pressão no vaso de contenção para "blowdown" e "reflooding". Incluir nessa tabela dados relativos às figuras para as quais são apresentados resultados de cálculo para outros diâmetros de furo.
11. Discutir as figuras 14.4-12 a 14.4-21 não mencionadas no texto.
12. Fornecer figuras, e respectivo comentário, que incluam trajetória de vapor (steam flow path) nos casos de ruptura nas pernas quente e fria.
13. Que critérios regem a adoção do número de volumes de controle na utilização do SATAN V ?

14. Discutir as consequências de furos nas pernas quente e fria no movimento das barras de controle, comparado ao movimento em operação normal.
15. Discutir as consequências da injeção do nitrogênio dos acumuladores nos circuitos.
16. Discutir sobre a aplicabilidade na análise do LOCA de resultados de testes relativos a:
 - fragmentação do revestimento.
 - formações eutéticas.
 - perfuração do revestimento.
 - bloqueio do canal de escoamento.
17. Fornecer as modificações incorporadas à correlação de Zaloudek mencionadas no terceiro parágrafo da página 14.4-6.
18. Discutir o fator de multiplicação que modifica o fator K, citado no item 2, da página 14.4-8.
19. A referência citada relativa ao código SATAN - (WCAP/7750) refere-se à versão SATAN IV. Que modificações foram incorporadas na versão SATAN V?
20. Esclarecer a função da "positive displacement charging pump" no acidente LOCA, citada no segundo parágrafo da página 14.4-2.

5.3. Acidente 14.4-4 - Travamento do Rotor de uma Bomba do Sistema Primário de Refrigeração do Reator.

1. Apresentar e discutir resultados relativos ao segundo tipo de acidente citado no primeiro parágrafo da página 14.4-50, relativo ao caso em que só há um circuito em funcionamento e o rotor de sua bomba é travado.
2. Apresentar, para os dois casos analisados (dois circuitos em operação e só um circuito em operação), a sequência e os tempos de ocorrência dos seguintes eventos:
 - travamento do rotor da bomba.
 - sinal de baixa vazão.
 - início de queda das barras.
 - pico de pressão máximo.
 - pico de temperatura de revestimento máximo.
 - atuação das válvulas de segurança do pressurizador.
 - início de DNB (DNBR = 1,30).
3. Apresentar uma tabela, para os dois casos citados no item 2, fornecendo os valores numéricos das condições iniciais no ponto quente implicitamente admitidas a partir do último parágrafo da página 14.4-51, das grandezas seguintes:
 - fluxo térmico.
 - temperatura no centro da pastilha.
 - temperatura média no combustível.
 - temperatura na superfície interna do revestimento.
 - pressão do sistema.
 - vazão de massa de refrigerante.
4. Apresentar uma tabela, para os dois casos citados

no ítem 2, contendo:

- pressão máxima no primário (especificando o ponto considerado).
- temperatura máxima de revestimento
- número de barras que atingem o DNB.

5. Fornecer, para os dois casos citados no ítem 2, as curvas de variação no tempo do fluxo de neutrons, fluxo de calor no canal quente e fluxo de calor médio, após o acidente.
6. Fornecer as curvas de queda de vazão (flow coastdown) no circuito comportando a bomba travada para os dois casos citados no ítem 2.
7. Fornecer a descrição, incluindo dados de entrada, diagrama de bloco, modelos e dados de saída do código citado no primeiro parágrafo da página 14.4-51 para cálculo do transiente de pressão durante o acidente.
8. Fornecer a descrição, incluindo dados de entrada, diagrama de bloco, modelos e dados de saída do código citado no quarto parágrafo da página 14.4-51 para cálculo dos transientes do fluxo térmico durante o acidente.
9. Fornecer a descrição, incluindo dados de entrada, diagrama de bloco, modelos e dados de saída do código citado no quinto parágrafo da página 14.4-51 para cálculo da extensão do DNB no núcleo.
10. Incluir na figura 14.4-31 as curvas de evolução de pressão no pressurizador para os dois casos citados no ítem 2. Discutir as consequências eventuais do fato da bomba travada estar ou não no circuito conec

tado ao pressurizador.

11. Explicar o significado físico da curva apresentada na figura 14.4-35 no ponto em que $DNBR=0$ corresponde a aproximadamente 98% das barras.
12. Na página 14.4-54 é afirmado que somente uma pequena porcentagem (small percentage) das barras atinge $DNBR < 1,30$. De acordo com a figura 14.4-35 esta pequena porcentagem, corresponde, pelo menos a cerca de 20% das barras (4332 barras). Discutir esta afirmativa.
13. No 6º parágrafo da página 14.4-52 é dito que, por conservativismo, o DNB é considerado como ocorrendo no início do acidente. Discutir a correspondência entre esta afirmativa e a figura 14.4-34, onde se tem $DNBR = 1,90$ no ponto quente, no início do acidente.
14. Discutir as implicações da adoção do valor da densidade, durante o transiente, igual a densidade média inicial, citada no quinto parágrafo da página 14.4-52.
15. Fornecer os valores das tensões limites (stress limits) citados no item 1 das conclusões apresentadas na página 14.4-53.
16. Fornecer o método de cálculo e as hipóteses feitas relativas às influências recíprocas dos dois circuitos do sistema primário que levam à determinação da curva mostrada na figura 14.4-32.

17. A segunda frase do último parágrafo da página 14.4-49 está incompreensível. Reescrevê-la.

6. CONFORMIDADE COM OS CRITÉRIOS DE SEGURANÇA

Os critérios de segurança tomados como base são descritos em:

- Apêndice A do 10 CFR 50 (AEC).
"General Design Criteria for Nuclear Power Plants"-1971.
- Norma N-18.2 (ANS)
"Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary PWR Plants" - 1970.

São apresentados no Apêndice I do PSAR de Angra as discussões relativas à adoção de cada critério de projeto contido no Apêndice A do 10 CFR 50, nos moldes propostos pela Norma - N-18.2. Tais discussões envolvem várias seções do PSAR de Angra.

A falta de experiência neste tipo de análise, a impossibilidade de realização de cálculos devida a não disponibilidade de códigos e à insuficiência de informações sobre as condições dos acidentes impossibilitam, atualmente, emitir parecer sobre a real adoção de qualquer critério no Projeto.

...///...