

**ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA
DE SPRAY DA CONTENÇÃO DE ANGRA-1 : A
FASE DE INJEÇÃO**

**SONIA MARIA ORLANDO GIBELLI E LUIZ
FERNANDO SEIXAS DE OLIVEIRA**

DEZ/81

UFRJ - COPPE — PEN-110

PROGRAMA DE ENGENHARIA NUCLEAR - COPPE/UFRJ
Ilha do Fundão - Centro de Tecnologia - Bl.G - 4/206
C.P. 68509 - CEP - 21944 - Rio de Janeiro-RJ-Brasil

328306744

**ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA
DE SPRAY DA CONTENÇÃO DE ANGRA-1 : A
FASE DE INJEÇÃO**

Revis

SONIA MARIA ORLANDO GIBELLI E LUIZ
FERNANDO SEIXAS DE OLIVEIRA

DEZ/81

- PEN-110

UFRJ - COPPE

Trabalho financiado pela Comissão Nacional de Energia Nuclear

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA DE

SPRAY DA CONTENÇÃO DE ANGRA-1

Título do Projeto : Métodos Probabilísticos Aplicados à Segurança
de Centrais Nucleares

Coordenador : Luiz Fernando Seixas de Oliveira - COPPE/UFRJ

Grupo de Análise Probabilística de Segurança:

Juan Bautista Soto Hesles
Sonia Maria Orlando Gibelli
Lauris Cristina Oliveira
Paulo Victor Fleming
Roberto Rogerio Jorge Rivera
Paulo Fernando Frutuoso e Mello
Ruy Luiz Milidiú
Valter de Senna

Responsável na CNEN: Luiz Alberto Arrieta

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA

DE SPRAY DA CONTENÇÃO DE ANGRA-1

Í N D I C E

	Pág.
I - INTRODUÇÃO	1
II - DESCRIÇÃO DO SISTEMA	2
III - AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E ANÁLISE DOS RESULTADOS	7
IV - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	15

ANÁLISE DE CONFIABILIDADE DO SISTEMA DE

SPRAY DA CONTENÇÃO DE ANGRA-1

I. INTRODUÇÃO

No caso de um acidente de perda de refrigerante ("LOCA"), de pequenas ou grandes dimensões, a pressão no interior da contenção aumenta rapidamente em consequência da vaporização da água que escapa pela ruptura. Nos casos mais graves, a continuação do processo de pressurização da contenção pode levar ao rompimento da mesma, resultando numa liberação de grandes quantidades de radioatividade para o meio ambiente. Em quaisquer circunstâncias, um aumento da pressão na contenção acarreta um aumento da taxa de fuga de material radioativo através das paredes, o que, em última instância, implica num aumento da dose de radioatividade para a população circunvizinha à central. Assim, o controle da pressão na contenção, não permitindo que a mesma ultrapasse determinados valores limites, é essencial para a minimização das consequências de um acidente nuclear.

O sistema de spray da contenção (SSC) situa-se entre os sistemas de segurança projetados, não para evitar a ocorrência de acidentes mas sim para mitigar as consequências de um acidente após a sua ocorrência.

Este sistema é projetado para cumprir duas funções básicas:

- 1) Reduzir a temperatura e pressão no interior da contenção após um LOCA, quebra da linha principal de vapor ou da linha de alimentação principal dentro da contenção;
- 2) remover os produtos de fissão, principalmente o iodo da atmosfera da contenção após um LOCA.

A primeira função é realizada pela condensação do vapor causada pelas gotículas de água fria despejadas pelos bocais do SSC. Por sua vez, o cumprimento da segunda função exige a adição de hidróxido de sódio (NaOH) à água utilizada pelo sistema, o que é feito pelo chamado subsistema de aditivo químico.

Para o sucesso (ou falha) da tarefa de abaixamento da pressão e temperatura é suficiente que o fluxo de água indicado pelo projeto do sistema escoe pelos bocais, independentemente de haver ou não qualquer concentração de hidróxido de sódio. Assim sendo, na construção da árvore de falhas relativa ao não-cumprimento desta função nenhuma falha específica do subsistema de aditivo químico é considerada.

Por outro lado, a eficiência do processo de remoção de radioisótopos depende fortemente da concentração de NaOH nas gotículas. Portanto, na construção da árvore de falhas relativa a esta segunda função, o subsistema de aditivo químico é considerado como parte integrante do sistema de spray da contenção. Pela mesma razão a descrição do evento topo da árvore deve conter referência explícita à inexistência de uma concentração adequada de NaOH na mistura.

Na Ref. 1 foi feita a avaliação da probabilidade de falha do SSC relativa exclusivamente à realização da primeira função, e portanto não levando em consideração as possíveis falhas do subsistema de aditivo químico. Neste relatório o sistema é analisado quanto à probabilidade de não-cumprimento de ambas as funções ao mesmo tempo, e assim sendo, as falhas dos componentes do referido subsistema estão incluídas nas árvores de falhas aqui apresentadas.

A metodologia utilizada neste trabalho foi a da análise por árvores de falhas, a qual está bem descrita em várias referências (3-6), e portanto não será aqui apresentada.

II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA²⁾:

O sistema de spray da contenção ²⁾ consiste em dois trens, cada qual com 100% de capacidade acrescido de um subsistema

de aditivo químico, como é mostrado na Fig. 1.

Cada trem é composto de bombas, válvulas, bocais de spray, tubulações e acessórios necessários à instrumentação e operação do sistema.

O subsistema de aditivo químico ²⁾ é composto de um tanque de aditivo químico, dois edutores químicos, válvulas e tubulações. Além destes componentes, o sistema de spray da contenção utiliza o Tanque de Água de Recarga (T.A.R.) que é comum aos dois trens, e os dois poços da contenção ("sumps"), pertencendo cada um a uma linha de recirculação, conforme indicado na Fig. 1.

As Fases de Operação do Sistema ²⁾:

A operação do sistema de spray pode ser dividida em duas fases distintas

- Fase de Injeção
- Fase de Recirculação

A fase de injeção é iniciada pelo sinal "P", o qual é gerado quando os valores da pressão detectados por, no mínimo dois de quatro sensores de pressão colocados no interior da contenção ultrapassam um determinado valor limite, que em Angra-1, é de 19 psig. O sinal "P" abre as válvulas de descarga (HV-5510-A e HV-5511-A) para os bocais de spray bem como as válvulas do tanque de aditivo químico (HV-5510-B e HV-5511-B), e após 20 s (tempo de abertura das válvulas) é dada partida às bombas (SP-IA e SP-IB), as quais succionam água do T.A.R.. Esta seqüência deve-se ao fato dos circuitos de controle das bombas de spray serem interligados com o comando de abertura das referidas válvulas.

Aproximadamente 7% do fluxo de descarga de cada bomba é desviado através dos edutores químicos para que seja formada uma mistura de NaOH (proveniente do tanque de aditivo químico) e água borada que segue para a linha de sucção das bombas de spray.

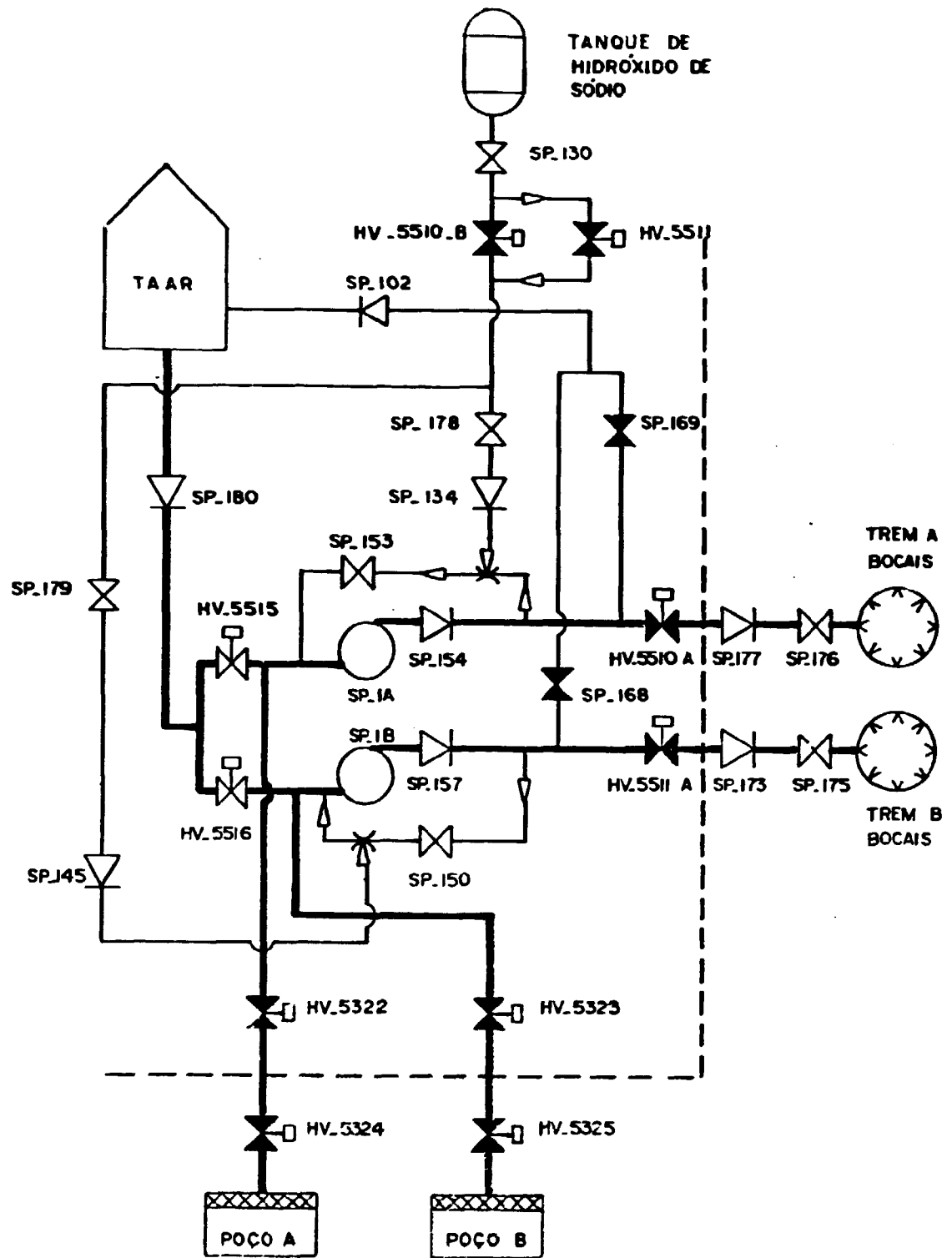


FIGURA 1 — DIAGRAMA SIMPLIFICADO DO SISTEMA DE SPRAY DA CONTENÇÃO DE ANGRA - 1

Apesar de funcionarem normalmente abertas, as válvulas de descarga do T.A.R. (HV-5515 e HV-5516) recebem o sinal "P" como medida de segurança, no caso das mesmas terem sido inadvertidamente fechadas.

A mistura de água borada e NaOH sai então pelos bocais de spray para a atmosfera da contenção à uma temperatura de 37,7°C.

O subsistema de aditivo químico é automaticamente isolado do sistema de spray da contenção após a chegada do sinal de nível baixo do tanque de hidróxido de sódio.

A fase de injeção dura até que o T.A.R. alcance um nível de água baixo, predeterminado, e anunciado por um sinal de alarme que é disparado na sala de controle. Neste instante a sucção das bombas de spray deve ser manualmente desviada para os poços da contenção, onde a água proveniente da fase de injeção dos sistemas de refrigeração de emergência do núcleo e do sistema de spray foi coletada. Este é o início da fase de recirculação. Da sala de controle, o operador abre as válvulas dos poços da contenção (HV-5322, HV-5324, HV-5323 e HV-5325), e, quando estas estiverem totalmente abertas, as válvulas HV-5515 e HV-5516 recebem um sinal para se fecharem, que sobrepuja o sinal "P". Além disso, as válvulas do T.A.R. e dos poços da contenção, já citadas acima, são monitoradas da sala de controle, bem como as bombas, que podem ser ligadas e desligadas pelo operador.

A fase de recirculação tem duração tão longa quanto necessária para assegurar a limitação da pressão no interior da contenção. Este relatório trata unicamente da análise da fase de injeção. A fase de recirculação será analisada em outro relatório a ser brevemente publicado.

Procedimentos de Teste e Manutenção 2)

Testes periódicos são realizados no sistema de spray da contenção para garantir sua perfeita condição de funcionamento.

O principal teste é feito nas bombas, que estão localizadas fora da contenção, o que possibilita o acesso às mesmas durante a operação normal da central.

Para a execução deste teste, são abertas as válvulas manuais (SP-168 e SP-169) da linha de teste, e então dada a partida às bombas e verificado em seguida se as mesmas alcançam o fluxo máximo. A água é então recirculada de volta ao T.A.R. via linha de teste.

São executados, também testes periódicos nos bocais de spray, para a prevenção contra eventuais entupimentos, utilizando-se injeção de ar comprimido.

Cada edutor é testado através do uso de água do T.A.R.

A seqüência de abertura das válvulas operadas a motor e a partida das bombas são testadas fechando-se as válvulas manuais (SP-176 e SP-175) que ficam situadas dentro da contenção e simulando-se um sinal de atuação "P". Deste modo, não havendo falha de sincronismo do sinal de atuação "P", nem falha mecânica do sistema, a seguinte seqüência de eventos deverá ocorrer:

- a) Cinco segundos após o acidente, o sinal "P" é atuado. Cinco segundos depois de recebido o sinal, as válvulas de isolamento da contenção começam a abrir.
- b) Vinte e cinco segundos após o acidente e dada a partida às bombas.
- c) Trinta segundos após o acidente, as válvulas de isolamento das bombas estão totalmente abertas (tempo de abertura = 20s.) e as bombas alcançam velocidade normal.
- d) Quarenta segundos após o acidente, surge o primeiro fluxo através dos bocais de spray.

III. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Como o sistema de spray da contenção de Angra-1 possui dois modos de operação, os cálculos foram realizados separadamente para a fase de injeção e de recirculação.

O primeiro passo, na construção de árvores de falhas, após um estudo minucioso do sistema, é a definição precisa do evento topo. No caso do sistema de spray, foi assim definido o evento topo:

"Fluxo de água e mistura de NaOH insuficientes através dos bocais do sistema de spray da contenção".

A partir de tal evento topo foi traçada uma árvore de falhas detalhada incluindo todas as falhas de "Hardware" dos sistemas e as interfaces com outros sistemas.

Em seguida, a árvore de falhas detalhada foi reduzida, resultando na árvore mostrada na Fig. 2 (ver p. 18).

O passo seguinte foi a obtenção da função SAMPLE $P(TOP)$, ou seja, a expressão probabilística aproximada do evento topo (aproximação do evento raro) em função das probabilidades de ocorrência dos eventos básicos. Para a árvore de falhas da Fig. 2 esta função pode ser escrita:

$$P(TOP) = A \times B + C$$

onde,

$$A = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + \\ + q_9 + q_{10} + q_{11} + q_{12} + q_{13} + q_{14} + q_{15}.$$

$$B = q_{16} + q_{17} + q_{18} + q_{19} + q_{20} + q_{21} + q_{22} + \\ + q_{23} + q_{24} + q_{25} + q_{26} + q_{27} + q_{28} + q_{29} + \\ + q_{30} \text{ e}$$

$$C = q_{31} + q_{32} + q_{33} + (q_{34} \times q_{35})$$

O cálculo da probabilidade de ocorrência do evento topo foi feito através do código de computação SAMPLE³⁾. Os dados para as não-disponibilidades e respectivos fatores de erro de cada evento constituinte da árvore reduzida foram obtidos do WASH-1400 e são mostrados na Tabela 1.

Foram obtidos os seguintes resultados para a fase de injeção.

Tabela 2 - Resultados das Não-Disponibilidades das Falhas de "Hardware" da Fase de Injeção

Limite Superior (95%)	$1,6 \times 10^{-3}$
Mediana (50%)	$6,6 \times 10^{-4}$
Limite Inferior (5%)	$3,2 \times 10^{-4}$

O fator de erro da distribuição obtida na Tabela 2 pode ser calculado de três maneiras distintas:

$$F.E. = \frac{x_{95\%}}{x_{50\%}} = 2,4$$

$$\text{ou } F.E. = \sqrt{\frac{x_{95\%}}{x_{5\%}}} = 2,2$$

$$F.E. = \frac{x_{50\%}}{x_{5\%}} = 2$$

Para sermos conservativos tomaremos o maior valor obtido para o fator de erro

Logo,

F.E. = 2,4

Tabela 1 - Dados de Entrada (Programa SAMPLE) Relativos ao Cálculo da Probabilidade de Ocorrência do Evento Topo da Fig. 1

Eventos Básicos	Medianas (q)	Fatores de Erro (F.E.)
1 e 16	$1,3 \times 10^{-4}$	30,0
2 e 17	$1,0 \times 10^{-3}$	3,0
3 e 18	$1,0 \times 10^{-4}$	3,0
4 e 19	$4,1 \times 10^{-5}$	3,0
5 e 20	$4,6 \times 10^{-3}$	3,0
6 e 21	$1,0 \times 10^{-2}$	3,0
7 e 22	$1,0 \times 10^{-4}$	3,0
8 e 23	$1,0 \times 10^{-3}$	3,0
9 e 24	$1,5 \times 10^{-5}$	10,0
10 e 25	$3,0 \times 10^{-4}$	10,0
11 e 26	$4,1 \times 10^{-5}$	3,0
12 e 27	$1,1 \times 10^{-6}$	3,0
13 e 28	$1,0 \times 10^{-3}$	3,0
14 e 29	$1,0 \times 10^{-4}$	3,0
15 e 30	$1,0 \times 10^{-4}$	3,0
31	$4,4 \times 10^{-7}$	30,0
32	$1,0 \times 10^{-4}$	3,0
33	$5,3 \times 10^{-6}$	30,0
34	$4,1 \times 10^{-5}$	3,0
35	$4,1 \times 10^{-5}$	3,0

Contribuição Devida a Testes e Manutenção

Cada trem do sistema de spray da contação é submetido a testes mensais, sendo que o mais importante é o teste de fluxo das bombas.

De acordo com as normas de operação da Central Nuclear de Angra-1, este teste não pode ser realizado simultaneamente nos dois trens do sistema. Por este motivo cada trem é testado separadamente e logo após terminado o teste de um deles é iniciado o teste do outro trem (esquema de teste seqüencial).

Durante o tempo de teste de um dos trens, o sistema deixa de ser redundante, e conseqüentemente há um aumento da não-disponibilidade do mesmo, apesar do outro trem permanecer disponível e pronto para entrar em operação, se for necessário.

Como feito no WASH - 1400, foi pressuposto que a duração do teste das bombas possui distribuição log-normal cujo limite inferior é de 15min. e o superior de 4h. por mês.

Baseado nesta hipótese, a mediana log-normal da duração do teste é:

$$t_M = \sqrt{Q_{0,95} \times Q_{0,05}} = \sqrt{0,25 \times 4} = 1h$$

logo, a não-disponibilidade mediana devido ao teste de um trem é:

$$Q_{\text{TESTE}} = \frac{1}{720} = 1,38 \times 10^{-3}$$

$$Q_{\text{TESTE}} = 1,38 \times 10^{-3}, \text{ F.E.} = 4,0$$

As bombas são também submetidas a manutenção com uma freqüência variando de 1 a 12 meses, o que corresponde a uma mediana log-normal de $\sqrt{1 \times 12} = \sqrt{12} = 3,5$ e a um fator de erro:

$$\text{F.E.} = \frac{3,5}{1} = \frac{12}{3,5} = 3,5$$

A manutenção tem duração que varia entre 30 min e 24 horas, o que corresponde a uma mediana log-normal de

$$\sqrt{1/2 \times 24} = 3,5$$

e a um fator de erro:

$$F.E. = \frac{3,5}{1/2} = \frac{24}{3,5} = 7,0$$

Pode-se calcular a não-disponibilidade mediana de um trem do sistema devida à manutenção das bombas:

$$Q_M = \frac{3,5}{3,5 \times 720} = 1,38 \times 10^{-3}$$

Para o cálculo do fator de erro correspondente à essa distribuição log-normal, cuja mediana é $1,38 \times 10^{-3}$, utilizou-se a expressão que dá o fator de erro do quociente de medianas log-normais:

$$F.E. = \exp. \sqrt{(\ln FE_1)^2 + (\ln FE_2)^2}$$

onde

$$FE_1 = 7,0$$

$$FE_2 = 3,5$$

$$F.E. = \exp. \sqrt{(\ln 7,0)^2 + (\ln 3,5)^2} = 10,0$$

A contribuição para a não-disponibilidade do sistema de spray, QTESTE e MANUTENÇÃO, pode ser estimada multiplicando-se por um fator de 2 a soma das duas não-disponibilidades devidas respectivamente a teste e manutenção de um trem do sistema pela não-disponibilidade do outro trem devida a falhas de "Hardware".

Logo, QTESTE e MANUTENÇÃO = 2 (QTESTE + QMAN.) (QHARDWARE)

Este cálculo foi feito através do código SAMPLE, e foram obtidos os resultados mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Contribuição Devida a Teste e Manutenção

Limite Superior	$4,6 \times 10^{-4}$
Mediana	$1,6 \times 10^{-4}$
Limite Inferior	$5,7 \times 10^{-5}$

O fator de erro correspondente à distribuição acima é:

$$F.E. = 2,9$$

Contribuição Devida a Falhas de Modo Comum

Várias possibilidades de falhas de modo comum foram investigadas. As que propiciaram contribuições mais significativas para a não-disponibilidade do sistema foram resultantes de erros humanos.

A primeira delas seria uma falha do sistema de monitoração da pressão na contenção que envia o sinal "P" ao sistema de spray, devida a má calibração de vários sensores de pressão. A probabilidade desta falha de modo comum foi estimada em $1,0 \times 10^{-3} = Q_1$ (WASH - 1400)³⁾

A segunda falha de modo comum analisada foi a possibilidade de as duas válvulas da linha de teste (SP-168 e SP-169) serem deixadas abertas pelo operador após o teste mensal das bombas.

Como o relatório WASH - 1400 fornece o valor $1,0 \times 10^{-2}$ para a probabilidade básica de erro humano, estimamos que este seja o valor da probabilidade de uma das duas válvulas citadas acima ter sido deixada aberta.

Uma estimativa muito conservativa, de acoplamento total entre as duas válvulas, fornece um resultado de $1,0 \times 10^{-2}$ para o limite superior da não-disponibilidade. Por outro lado, uma estimativa não-conservativa, de independência total entre as duas válvulas, fornece um limite inferior para a não-disponibilidade de:

$$(1,0 \times 10^{-2}) (1,0 \times 10^{-2}) = 1,0 \times 10^{-4}$$

Assumindo esses dois limites como os percentis 5 e 95% de uma log normal, podemos calcular a mediana e o fator de erro desta distribuição:

$$\text{Mediana} = \sqrt{(1,0 \times 10^{-4}) (1,0 \times 10^{-2})} = 1,0 \times 10^{-3}$$

$$\text{F.E.} = \sqrt{\frac{1,0 \times 10^{-2}}{1,0 \times 10^{-4}}} = 10$$

Entretanto, deve ser lembrado o fato de que parte deste valor já foi incluído na contribuição das falhas de "Hardware", onde as duas falhas foram avaliadas independentemente, e, portanto, forneceram uma contribuição de $1,0 \times 10^{-4}$. Assim, a contribuição de modo comum é estimada subtraindo-se este valor da mediana, ou seja:

$$Q_2 = 1,0 \times 10^{-3} - 1,0 \times 10^{-4} = 9,0 \times 10^{-4}$$

A terceira falha de modo comum encontrada foi a possibilidade das duas válvulas manuais localizadas no interior da contenção (SP-176 e SP-175) serem deixadas fechadas pelo operador, após o teste seqüencial das válvulas operadas a motor e bombas.

Como dado obtido no WASH - 1400, a probabilidade de uma destas duas válvulas ser deixada fechada pelo operador (já que elas funcionam normalmente abertas), após a realização do teste é de $1,0 \times 10^{-3}$.

De maneira similar aos cálculos realizados para a outra contribuição de modo comum, foi obtido para este caso:

$$Q_3 = 2,9 \times 10^{-5}$$

e

$$F.E. = 34,0$$

logo, $Q_{\text{MODO COMUM}} = Q_1 + Q_2 + Q_3$

Os resultados foram obtidos através do código SAMPLE:

Tabela 4 - Resultados das Não-Disponibilidades das Falhas de Modo Comum

Limite Superior	$1,1 \times 10^{-2}$
Mediana	$2,6 \times 10^{-3}$
Limite Inferior	$8,0 \times 10^{-4}$

O fator de erro correspondente à distribuição acima é:

$$F.E. = 4,2$$

Resultados para a Fase de Injeção:

O resultado final para a não-disponibilidade do sistema durante a fase de injeção é a soma das contribuições de "Hardware", teste e manutenção e modo comum. Os resultados foram obtidos através do código SAMPLE ³⁾, e estão mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Resultados Finais para a Distribuição de Probabilidade de Falha do Sistema de Spray em Remover a Radioatividade da Contenção

	Medianas (q)	Fatores de Erro (F.E.)
Q_{HARDWARE}	$6,6 \times 10^{-4}$	2,3
$Q_{\text{TESTE E MANUTENÇÃO}}$	$1,6 \times 10^{-4}$	2,9
Q_{MODO}	$2,6 \times 10^{-3}$	4,2

Os resultados finais para a probabilidade de falha do sistema de spray de Angra-1 durante a fase de injeção bem como os valores obtidos pelo WASH - 1400 são mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Comparação entre os Resultados Obtidos para Angra-1 e os correspondentes do WASH - 1400

	Angra-1	WASH-1400
Limite Superior	$1,1 \times 10^{-2}$	$7,8 \times 10^{-3}$
Mediana	$3,6 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-3}$
Limite Inferior	$1,4 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$

IV. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Observando-se os resultados mostrados na Tabela 6, vê-se que os valores obtidos neste trabalho são cerca de 1,5 vezes maiores que os do WASH - 1400, ou seja, o sistema de spray de Angra-1, durante a fase de injeção é ligeiramente menos confiável que o seu correspondente do reator típico analisado pelo Relatório Rasmussen. No entanto, os valores aqui obtidos não chegam a causar nenhum sobressalto pois situam-se dentro de uma faixa de confiabilidade bastante razoável (aproximadamente 3×10^{-3} , ou seja 1 falha em 330 de mandas) para um sistema como o de spray, cuja função não é a de impedir a ocorrência de fusão do núcleo, mas apenas de mitigar as consequências deste evento.

Analisando-se os resultados finais das três contribuições principais para a falha do sistema apresentadas na Tabela 5, verifica-se que a maior contribuição é resultante da ocorrência de falhas de modo comum. Dentre estas a mais importante é aquela decorrente do não-fechamento das válvulas SP-168 e SP-169, localizadas uma em cada linha de teste, após a realização do teste mensal das bombas. Esta falha de modo comum pode ser facilmente eliminada de duas maneiras distintas: exigindo-se que o teste de cada trem do

sistema seja feito por uma pessoa diferente ou através da utilização de um esquema de teste escalonado em lugar do esquema seqüencial atualmente previsto. A primeira maneira é um tanto quanto dispendiosa, mas a segunda é perfeitamente viável pelo mesmo custo do atual esquema (seqüencial). Portanto, a adoção de um esquema de teste escalonado contribuiria significativamente para a redução da probabilidade de falha do sistema devido à eliminação da maior contribuição de falhas de modo comum.

REFERÊNCIAS

1. Sonia Maria O. Gibelli, Análise Probabilística de Segurança do Sistema de Spray da Contenção de Angra-1, Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, 1981.
2. "Final Safety Analysis Report of Angra-1", Furnas Centrais Elétricas S.A., 1975.
3. USNRC, Reactor Safety Study: An Assessment of Accident Risks in US Commercial Nuclear Power Plants, WASH - 1400, App.II, 1975.
4. R. Barlow e P. Chaherjee, Introduction to Fault Tree Analysis, ORC 73-30, UC Berkeley, 1973.
5. Luiz Fernando S. de Oliveira, Paulo Fernando F. Mello e Sonia Maria O. Gibelli, Análise de Segurança de Sistemas por Árvores de Falhas, COPPE/UFRJ, 1981.
6. USNRC, Fault Tree Handbook, NUREC-0492, 1980.

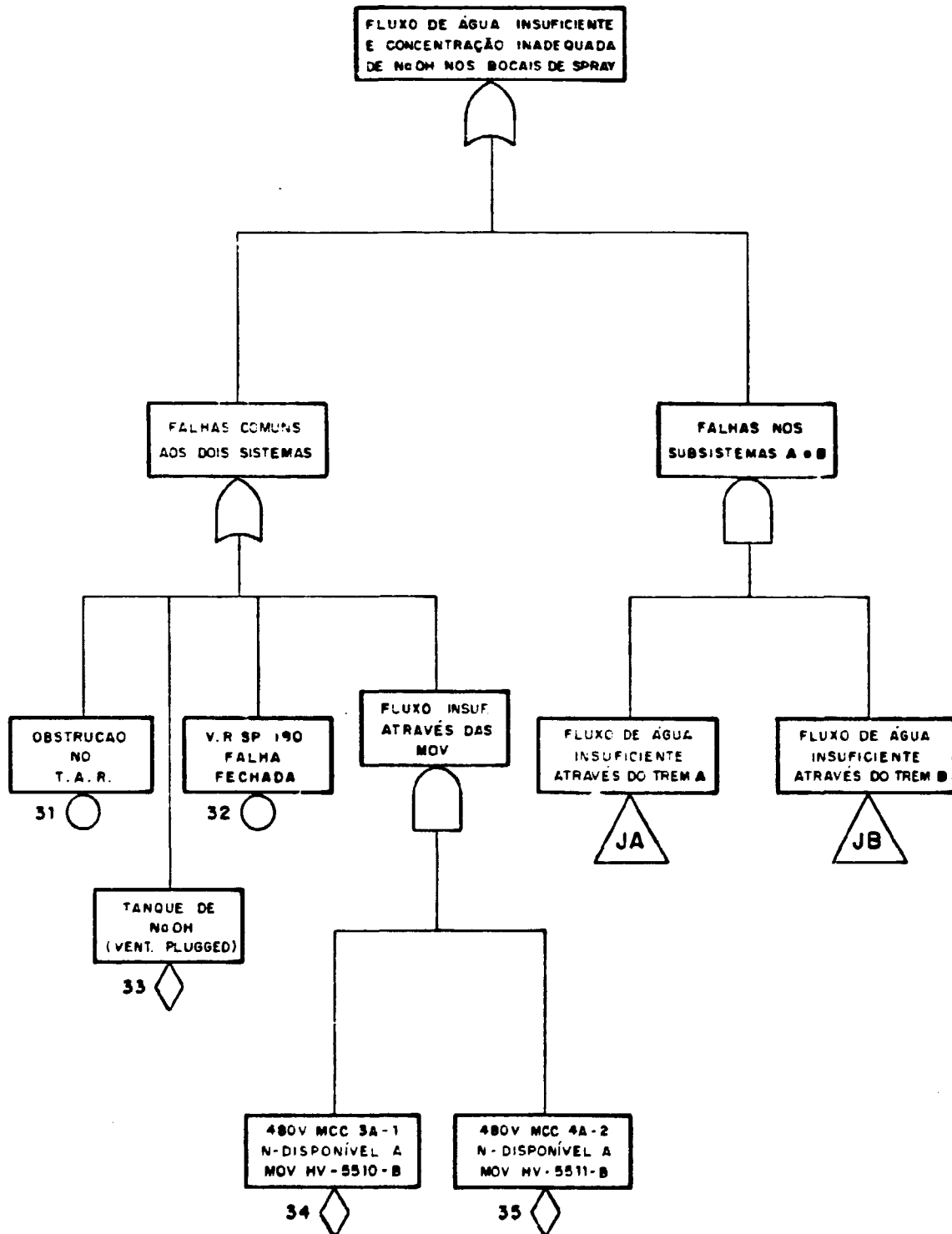


Figura 2: Árvore de Falhas Reduzida do Sistema de Spray.

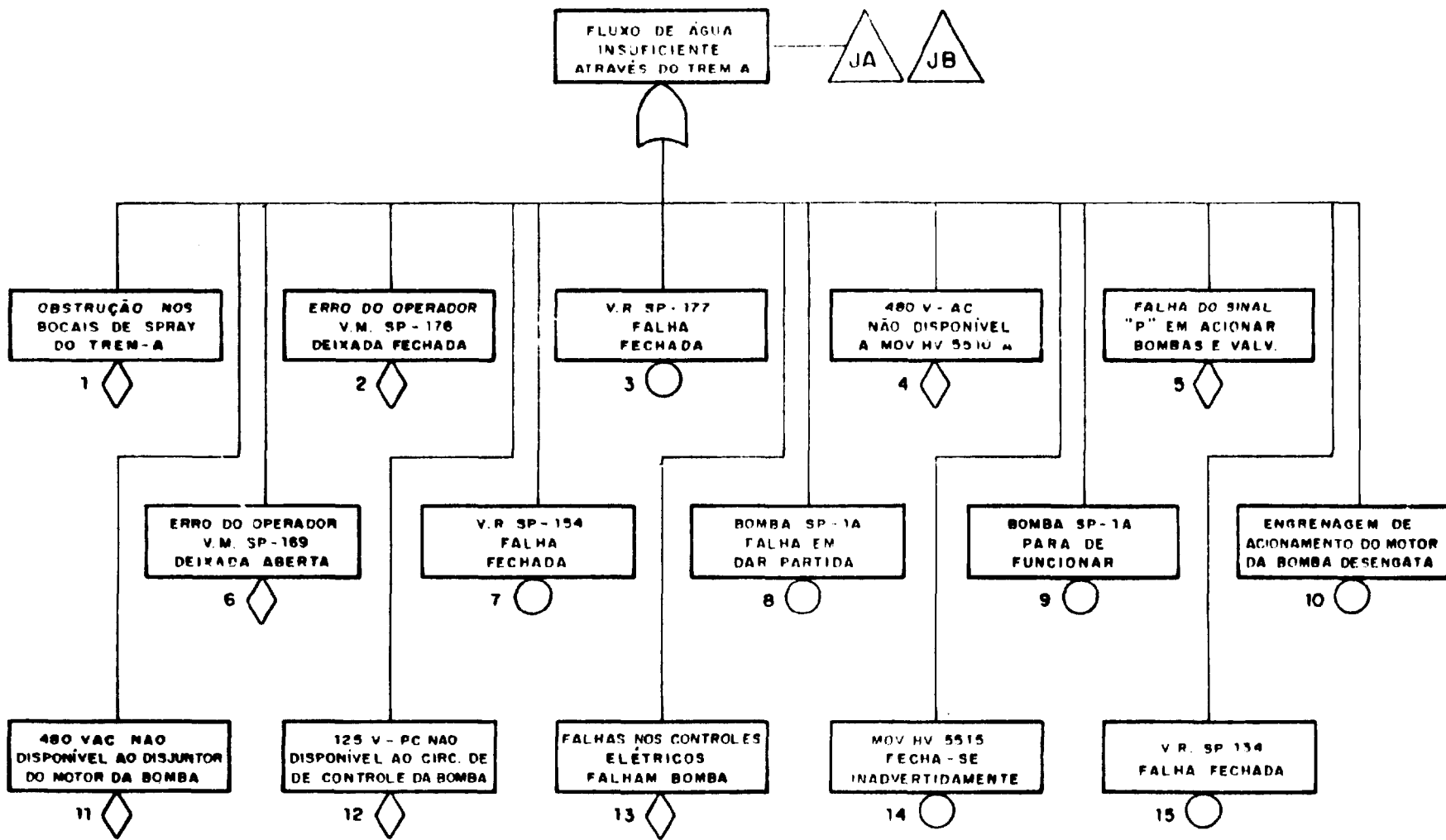


Figura 2: Árvore de Falhas Reduzida do Sistema de Spray (cont.).