

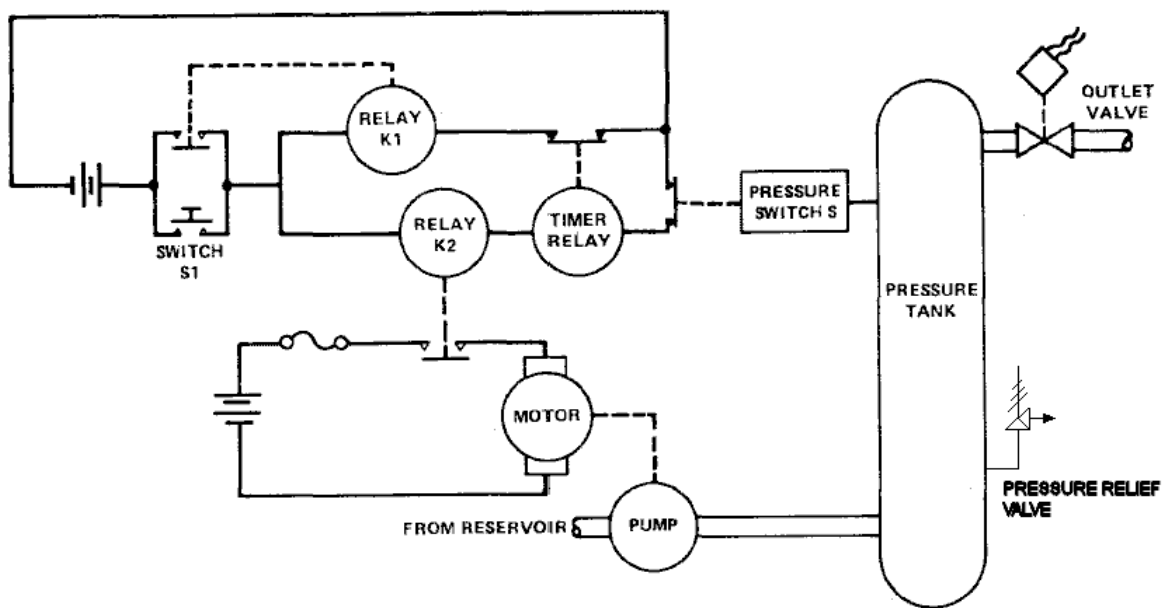
UNIVERSIDADE SALVADOR – UNIFACS  
MESTRADO EM REDES DE COMPUTADORES  
CONFIABILIDADE DE PRODUTOS E SISTEMAS

Mestrando: Marcos Portnoi

**Proposta de Sistema para Análise de Confiabilidade/Disponibilidade**

**1. Definição do Sistema**

A Figura 1 traz o diagrama do sistema a ser estudado.



**Figura 1: Sistema de Vaso de Pressão.**

A função do sistema de controle é regular a operação da bomba de fluido. Esta bomba injeta fluido a partir de um reservatório (considerado infinitamente grande) no vaso de pressão. O vaso é pressurizado até a pressão de especificação em 60 segundos. O pressostato é do tipo normalmente fechado quando o vaso está despressurizado. Quando a pressão de limiar é atingida, o pressostato abre seus contatos, desenergizando o relê K2 (normalmente fechado). Este relê então se abre, desconectando eletricamente a bomba e interrompendo o fluxo de fluido para pressurização.

O vaso possui uma válvula de saída que o esvazia rapidamente. Não é, entretanto, uma válvula de alívio de pressão, sendo ativada remotamente e manualmente. Existe esta válvula de alívio de pressão, que se abre quando o tanque atinge uma sobrepressão limite (pouco acima da pressão de limiar do pressostato). Quando o vaso está vazio, o pressostato fecha seus contatos e ciclo é reiniciado.

Inicialmente o sistema está no estado dormente: a chave S1 está aberta, o relê K1 está aberto e o relê K2 está aberto. Assim, o sistema de controle está desenergizado. Neste estado, os contatos do *timer* estão fechados. Em adição, assume-se que o vaso está despressurizado e, desta forma, o pressostato está com seus contatos fechados.

A operação é iniciada a partir do pressionamento momentâneo da chave S1. Esta ação aplica energia ao relê K1, que então fecha e assim permanece. Força é então aplicada ao relê K2, que também fecha e conseqüentemente ativa o motor da bomba.

O *timer* provê um desligamento de emergência em caso de falha em fechado do pressostato (ou seja, o pressostato permanece indefinidamente fechado). Inicialmente, os contatos do *timer* estão fechados e sua bobina está desenergizada. Quando uma corrente é aplicada a esta bobina, através do fechamento do relê K1, o relógio interno do *timer* é ativado. Se este relógio registra 60 segundos de corrente **continuamente** aplicada à bobina do *timer*, então seus contatos são abertos, cortando o circuito para o relê K1, que então desarma, abrindo. Em operação normal, quando o pressostato abre (e conseqüentemente, o relê K2 abre), o *timer* é reiniciado para 0 segundos.

## 2. Objetivo do Estudo

Levantar a Árvore de Falhas do sistema proposto, calcular a indisponibilidade e probabilidade de falha do sistema e verificar quais os componentes de maior influência nestas medidas, a partir dos cortes mínimos (usando o algoritmo de Vesely-Fussell).

## 3. Dados de Confiabilidade dos Componentes

A Tabela 1 traz os parâmetros de confiabilidade para todos os componentes do sistema em todos os modos de falha, para um tempo de missão de 8.760 horas. Os modos de falha de interesse na presente análise serão:

- Válvula de alívio: falha em abrir;
- Todos os relês (K1, K2 e R): contatos em curto (o modo Falha em Abrir só se aplica a relês Normalmente Fechados e os outros modos de falha não levam à ruptura do vaso);
- Pressostato: falha em operação;
- Chave S: contatos em curto.

Todos os componentes são testados a cada metade do tempo de missão, e o período de teste dura em média 1 hora. Somente o vaso de pressão é reparável, com um tempo médio de reparo (MTTR) de 2 horas.

**Tabela 1: Dados de confiabilidade e Cortes Mínimos para cada componente do sistema de vaso de pressão.**

Dados de Confiabilidade e Cortes Mínimos									
Tempo Missão:		8760 h							
Componente	Em Inglês	Símbolo	Mod. Falha	F(t)	MTBF	MTTR	$\theta$	Td	Q
Vaso de Pressão	Tank	T	Falha estrutural	5,0E-06	1,8E+09	2	4380	1	2,3E-04
Válvula de Alívio	Relief Valve	RV	Falha abrir	3,6E-03	2,4E+06		4380	1	1,1E-03
Válvula de Alívio	Relief Valve	RV	Abertura prematura	8,4E-02	1,0E+05		4380	1	2,2E-02
Relê K1	Relay K1	K1	Não energiza	3,6E-02	2,4E+05		4380	1	9,4E-03
Relê K1	Relay K1	K1	Contatos não fecham (NA)	2,6E-03	3,3E+06		4380	1	8,9E-04
Relê K1	Relay K1	K1	Curto nos contatos	8,8E-05	1,0E+08		4380	1	2,5E-04
Relê K1	Relay K1	K1	Falha em abrir (NF)	8,8E-04	1,0E+07		4380	1	4,5E-04
Relê K2	Relay K2	K2	Não energiza	3,6E-02	2,4E+05		4380	1	9,4E-03
Relê K2	Relay K2	K2	Contatos não fecham (NA)	2,6E-03	3,3E+06		4380	1	8,9E-04
Relê K2	Relay K2	K2	Curto nos contatos	8,8E-05	1,0E+08		4380	1	2,5E-04
Relê K2	Relay K2	K2	Falha em abrir (NF)	8,8E-04	1,0E+07		4380	1	4,5E-04
Temporizador	Timer Relay	R	Não energiza	3,6E-02	2,4E+05		4380	1	9,4E-03
Temporizador	Timer Relay	R	Contatos não fecham (NA)	2,6E-03	3,3E+06		4380	1	8,9E-04
Temporizador	Timer Relay	R	Curto nos contatos	8,8E-05	1,0E+08		4380	1	2,5E-04
Temporizador	Timer Relay	R	Falha em abrir (NF)	8,8E-04	1,0E+07		4380	1	4,5E-04
Chave S1	Switch S1	S1	Contatos em curto	8,8E-05	1,0E+08		4380	1	2,5E-04
Pressostato	Pressure Switch	S	Falha em operar	3,6E-02	2,4E+05		4380	1	9,4E-03

**Legenda:**

<b>F(t)</b>	Probabilidade de Falha	<b><math>\theta</math></b>	Intervalo de Testes (horas)
<b>MTBF</b>	Mean Time Between Failures (horas)	<b>Td</b>	Duração do Teste (horas)
<b>MTTR</b>	Mean Time To Repair (horas)	<b>Q</b>	Indisponibilidade
<b>NA</b>	Normalmente Aberto	<b>NF</b>	Normalmente Fechado

Cortes Mínimos	F(t)	Indisponibilidade	% F(t)	% Q
T	5,0E-06	2,3E-04	93,405%	99,872%
RV x K2	3,2E-07	2,9E-07	5,955%	0,124%
RV x K1 x P	1,1E-08	2,7E-09	0,213%	0,001%
RV x R x P	1,1E-08	2,7E-09	0,213%	0,001%
RV x S1 x P	1,1E-08	2,7E-09	0,213%	0,001%
<b>Evento Topo</b>	<b>5,4E-06</b>	<b>2,3E-04</b>		

#### 4. Árvore de Falhas

A árvore de falhas para o sistema está exposta na Figura 2, para o evento topo “Ruptura do Vaso de Pressão em Pressurização”, ou seja, após a bomba ser ligada.

#### 5. Cortes Mínimos (Vesely-Fussell) e Análise de Resultados

Aplicando-se o algoritmo de Vesely-Fussell para a árvore de falhas em questão, chega-se aos cortes mínimos, conforme demonstrado na Tabela 2. Percebe-se que, ao final, há um corte mínimo de primeira ordem, um de segunda ordem e três de terceira ordem. O corte mínimo de primeira ordem representa o vaso de pressão, para o qual tipicamente não há como usar um mecanismo de redundância a fim de elevar sua ordem.

Na Tabela 1 também estão calculados os resultados de probabilidade de falha e indisponibilidade para cada corte mínimo, bem como para os totais do evento topo (ruptura do vaso de pressão após bomba ativada). Conclui-se que o corte mínimo representativo de ruptura do vaso de pressão devido a falha estrutural é o que mais influência exerce nos resultados do evento topo, correspondendo a 93,4% do total para probabilidade de falha e

99,87% do total para indisponibilidade. A representatividade dos outros cortes mínimos torna-se bastante pequena frente aos resultados finais.

Ainda assim, é importante observar que a probabilidade de falha do evento topo é de 0,0000054 ou 0,00054% e a indisponibilidade, 0,023% no tempo de missão considerado. São valores que denotam uma confiabilidade geral alta para o sistema.

Não estão disponíveis dados sobre frequência de acidentes do sistema analisado, portanto não é possível avaliar os resultados desta maneira sem valores fictícios. Estipulando, pois, uma frequência de um evento iniciador de acidente de 2 vezes por ano, poder-se-ia avaliar a frequência de acidentes conforme abaixo:

$$F_{\text{acidente}} = F_{\text{evento iniciador}} \cdot Q$$

$$F_{\text{acidente}} = 2 \cdot 0,00023 = 0,00046/\text{ano}$$

O que corresponde a cerca de 1 acidente a cada 2.173 anos, indicativo de alta confiabilidade.

**Tabela 2: Levantamento dos Cortes Mínimos do Sistema de Vaso de Pressão.**

<b>Iteração</b>	<b>Resultado</b>
1	T E1
2	T RV, E2
3	T RV, E3 <b>RV, K2</b>
4	T RV, E4, P <b>RV, K2</b>
5	T <b>RV, K1, P</b> <b>RV, R, P</b> <b>RV, S1, P</b> <b>RV, K2</b>

## Sistema de Vaso de Pressão com Válvula de Alívio

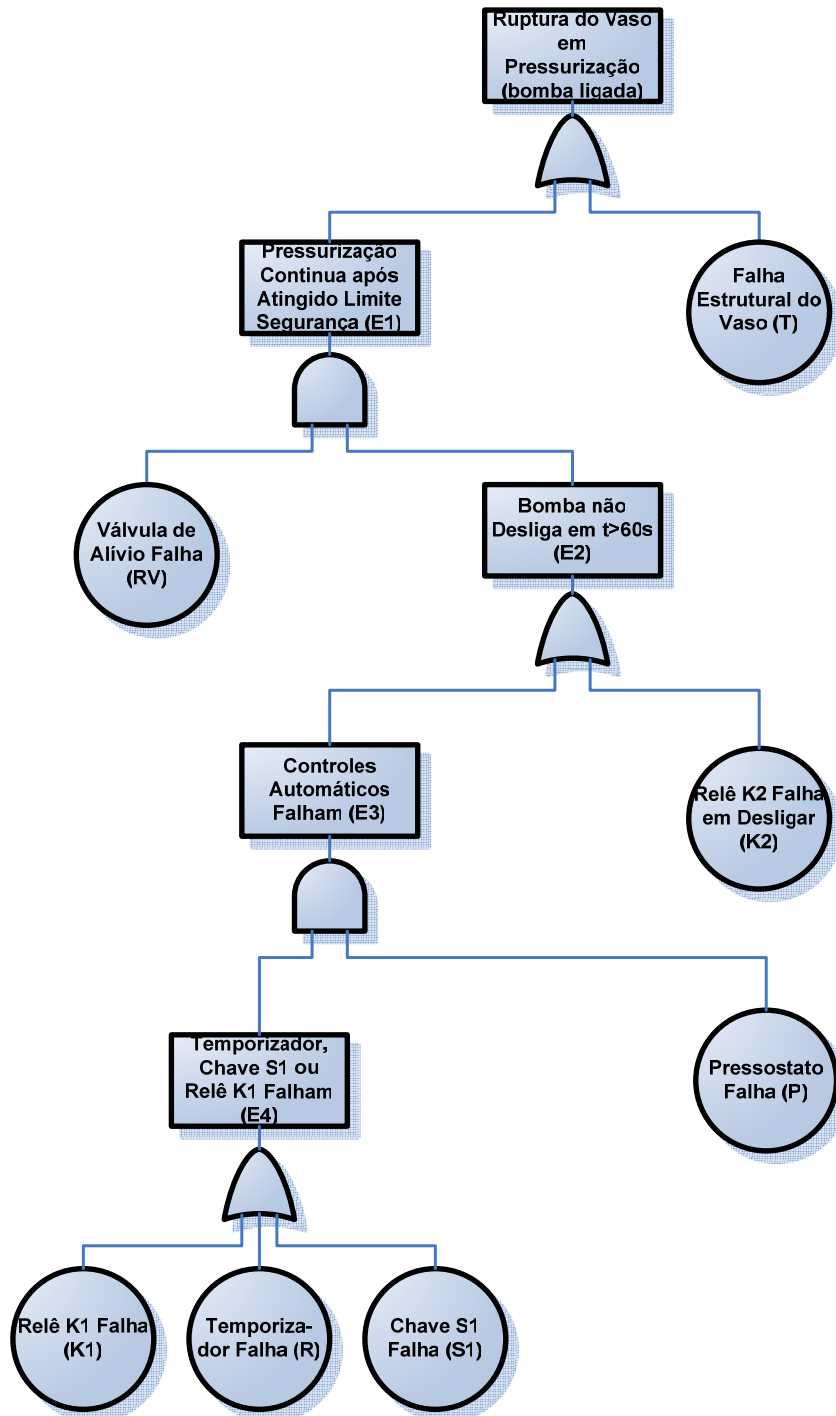


Figura 2: Árvore de Falhas do Sistema.

## 6. Referência

VESELY, W. E. *et al.* **Fault tree handbook**. U.S. Nuclear Regulatory Commission, Jan. 1981.