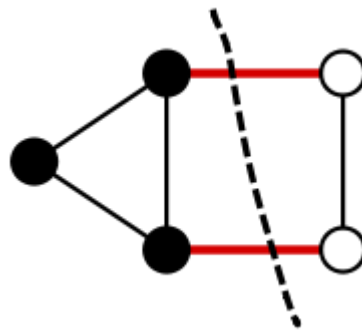


## Capítulo 172- Método do *minimum cut-set*

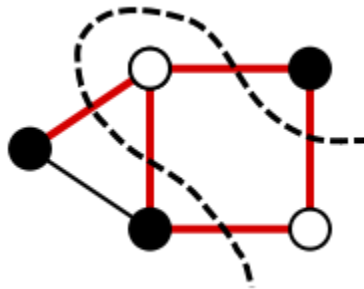
### 172.1 Introdução

Segundo Tung e Yen (2006), o método do mínimo cut-set é definido como um conjunto de componentes (redes ou bombas) ou nós de operação que conduz ao funcionamento do sistema e, quando há uma falha, causa falha em todo o sistema.

Existem programas de computadores para este cálculo.



**Figura 172.1-Mínimo cut set: Não tem nenhum cut set maior que 2 componentes**



4

A análise do mínimo cut set é uma técnica matemática da lógica estrutural da árvore de falhas para identificar todas as combinações dos eventos básicos que resultam na ocorrência do maior evento.

Estas básicas combinações dos eventos são chamadas de cut sets e reduzida do identificar o “mínimo” cut sets, que contém o mínimo de set eventos necessário e suficiente para causar o topo do evento.

Todas as falhas dos componentes são estatisticamente independentes.

A falha em cada equipamento é suposta constante.

A taxa de reparos de cada equipamento também é constante.

Os componentes possuem natureza binária, ou seja, ou estão trabalhando ou estão com falhas.

Vamos mostrar um exemplo.

#### Exemplo 172.1

Vamos mostrar um sistema simples de abastecimento de água usando o método do mínimo cut-set para achar a Confiabilidade R do sistema, conforme Tung e Yen (2006).

Observe, na Figura 172.1, que temos 7 cut-sets, que são as linhas pontilhadas C1, C2, C3, C4, C5, C6 e C7.

Vamos ver a confiabilidade R de cada cut-set. Os valores de F1 são as falhas em cada trecho da rede de água. Observar a Figura 172.14 onde estão os valores Cm.

C1: F1

C2:  $F2 \cap F3$

C3:  $F2 \cap F4$

C4:  $F3 \cap F5$

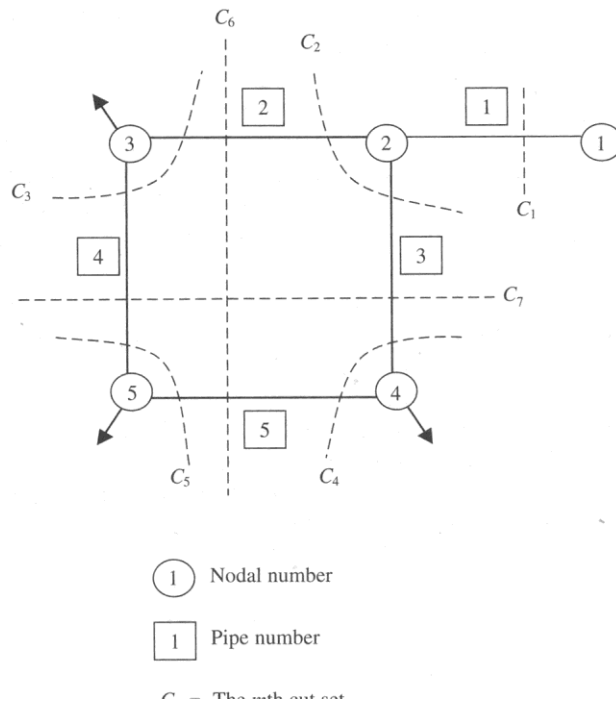
C5:  $F4 \cap F6$

C6:  $F2 \cap F5$

C7:  $F3 \cap F4$

**Portanto, temos 7 cut-sets.**

computation, in general, will be very cumbersome for a



**Figura 172.1- Sistema de rede de água com os vários cut-sets**

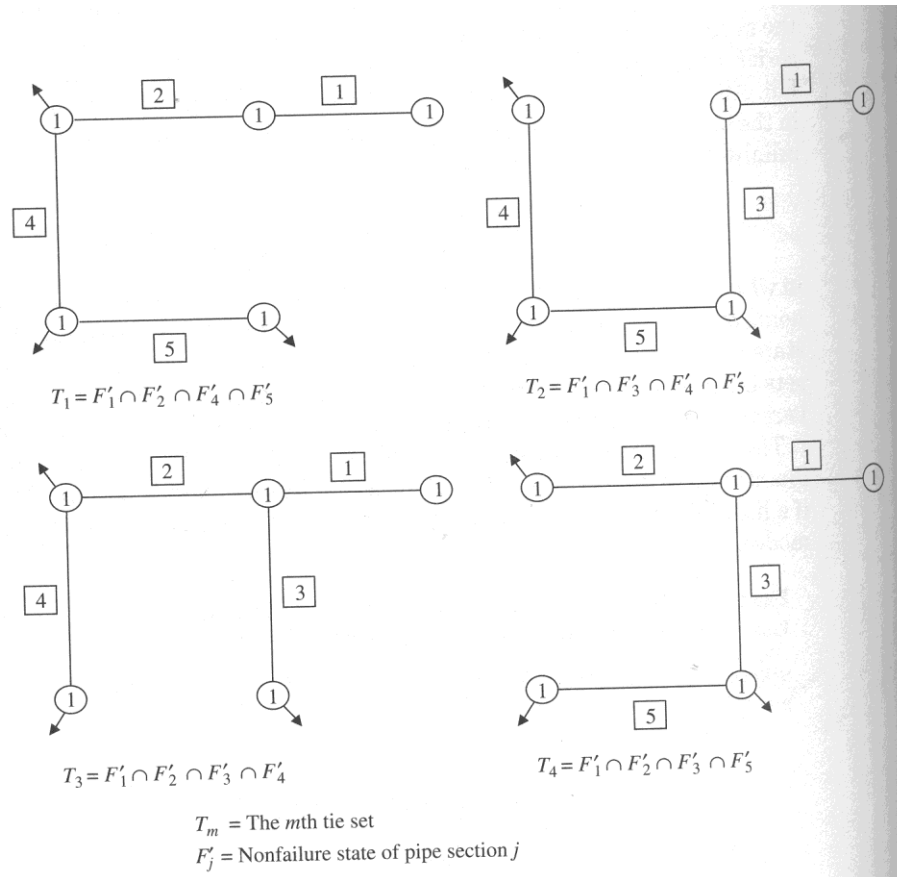


Figura 172.2- Separação dos cut-sets

A confiabilidade **R** será o produto das confiabilidades  
 No trecho inicial achamos a confiabilidade que é 0,95.

$$P(C1') = 0,95$$

Mas nos outros cut-sets temos que calcular

Nota importante:

$$P(A \cap B) = P(A) + P(B) - P(A, B) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B)$$

No cut set C2 temos:

$$C2: F2 \cap F3 = R2 + R3 - R2 \cdot R3 = 0,95 + 0,95 - 0,95 \times 0,95 = 1,9 - 0,9025 = 0,9975$$

$$P(C2') = 0,9975$$

$$P(C3') = 0,9975$$

$$P(C4') = 0,9975$$

$$P(C5') = 0,9975$$

$$P(C6') = 0,9975$$

$$P(C7') = 0,9975$$

Mas temos 6 valores dos Cn

$$R = 0,95 \times (0,9975)^6 = 0,9360$$

Portanto, a confiabilidade do sistema é 93,6 %

**Outra maneira de resolver o problema:**

**A confiabilidade total R será:**

**NOTA IMPORTANTE:**

$$P(A \cup B \cup C) = P(A) + P(B) + P(C) - P(A \cap B) - P(A \cap C) - P(B \cap C) + P(A \cap B \cap C)$$

$$R = P(T1 \cup T2 \cup T3 \cup T4)$$

$$R = [P(T1) + P(T2) + P(T3) + P(T4)] -$$

$$[P(T1, T2) + P(T1, T3) + P(T1, T4) + P(T2, T3) + P(T2, T4) + P(T3, T4)] +$$

$$[P(T1, T2, T3) + P(T1, T2, T4) + P(T1, T3, T4) + P(T2, T3, T4)]$$

$$- P(T1, T2, T3, T4)$$

$$\text{Mas } P(T1) = P(F1') P(F2') P(F3') P(F4') P(F5') = 0,095^4 = 0,81451$$

$$R = [4P(T1) + P(T2) + P(T3) + P(T4)] - 3 P(F1' \cap F2' \cap F3' \cap F4')$$

$$R = 4(0,81451) - 3(0,95)^5$$

$$R = 0,9367$$

Portanto, a confiabilidade do sistema é 93,67%

Tung e Yen (2006) citam que Hwang *et al.* (1981) salientaram que as falhas de um sistema até 6 componentes são fáceis de fazer, mas quando o sistema tem de 6 a 10 é considerado um sistema moderado. Quando possui mais de 10, é um sistema complexo, sendo só viável usando software de computadores.

### **172.2 Modelos de cálculos de confiabilidade de uma rede de água.**

Existem **dezenas de métodos de cálculos de confiabilidade** numa rede de água, o que significa que não há um método aceito por todos.

Vamos citar alguns autores destes modelos extraídos do texto de Kleiner (2007).

1. Wagner *et al.* (1988)
2. Cullinane *et al.* (1987)
3. Goulter e Bouchart (1999)
4. Fujiwara e De Silva (1990)
5. Bao e Mays (1990)
6. Omsbee e Kessler (1990)
7. Quimpo e Shamsi (1991)
8. Awumah *et al.* (1991)
9. Bouchart e Goulter (1991)
10. Ostfeld e Shamir (1996)
11. Woodburn *et al.* (1987)
12. Su e Mays (1988)
13. Kim e Mays (1994)
14. Arulraj e Suresh (1995)
15. Kleiner (1996)
16. Walski (1987)
17. Walski e Pellicia (1982)
18. Shamir e Howard (1979)

### 172.3 Bibliografia e livros consultados

- AL-ZAHARINI, MUHAMMAD et al. *Hydraulic reliability analysis of water distribution system*. Journal of the Institution of Engineers, Singapore, Vol. 1, Issue, 1, 2004. Department of civil engineering, King Fahd University of Petroleum & Minerals, 92 páginas.
- KLEINER, Y. *Rehabilitation planning of water distribution networks: the component and the system perspective*. IRC-IR-735, 33 páginas. <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>. acessado em 28 de dezembro de 2007.
- LOGANATHAN, G.V. et al. *An optimal replacement scheduling model for water distribution systems*. Universidade de Virginia, 2002
- MAY, LARRY W. e TUNG, YEOU KOUNG. *Hydrosystems engineering & management*. McGraw-Hill 1992, 530 páginas.
- MISIUNAS, DALLIUS. *Burst detection and location in pipelines and pipe networks*. Lund University, 2004, Sweden. ISBN 91-88934-30-6.
- SHAMIR, URI et al. *Water distribution reliability simulation methods*. ASCE, 1988.
- SILVESTRE, PASCHOAL. *Hidráulica geral*. Rio de Janeiro, 1983, 316páginas
- SYED, JUNED LAIQ. *Risk and hydraulic reliability analysis of water distribution systems*. Novembro de 2003, 210páginas.
- TOMAZ, PLINIO. *Conservação da água*. Guarulhos, 1999, 294páginas.
- TOMAZ, PLINIO. *Rede de água*. Navegar
- VIRGINIA WATER RESOURCES CENTER, ano 2002. *Optimal Design rehabilitation strategies for reliable water distribution systems*.  
<http://www.vwrrc.vt.edu/pdfs/specialreports/sr202002.pdf>
- WALSKI, W. THOMAS. *Analysis of water distribution systems*. Krieger, 1992, 275 páginas.
- TUNG, YEOU-KOUNG, YEN BEN-CHIE E MELCHING, CHARLES STEVEN. *Hydrosystems engineering reliability Assessment and Risk Analysis*, Editora McGraw-Hill, ano 2006, ISBN 0-07-14518-7, 495 páginas.
- TUNG, YEOU-KOUNG, YEN BEN-CHIE E MELCHING. *Hydrosystems engineering uncertainty Assessment and Risk Analysis*, Editora McGraw-Hill, ano 2005, ISBN 0-07-145159-5, 273 páginas.