Universidade Federal de Pernambuco

ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE
DIAGRAMA DE BLOCOS

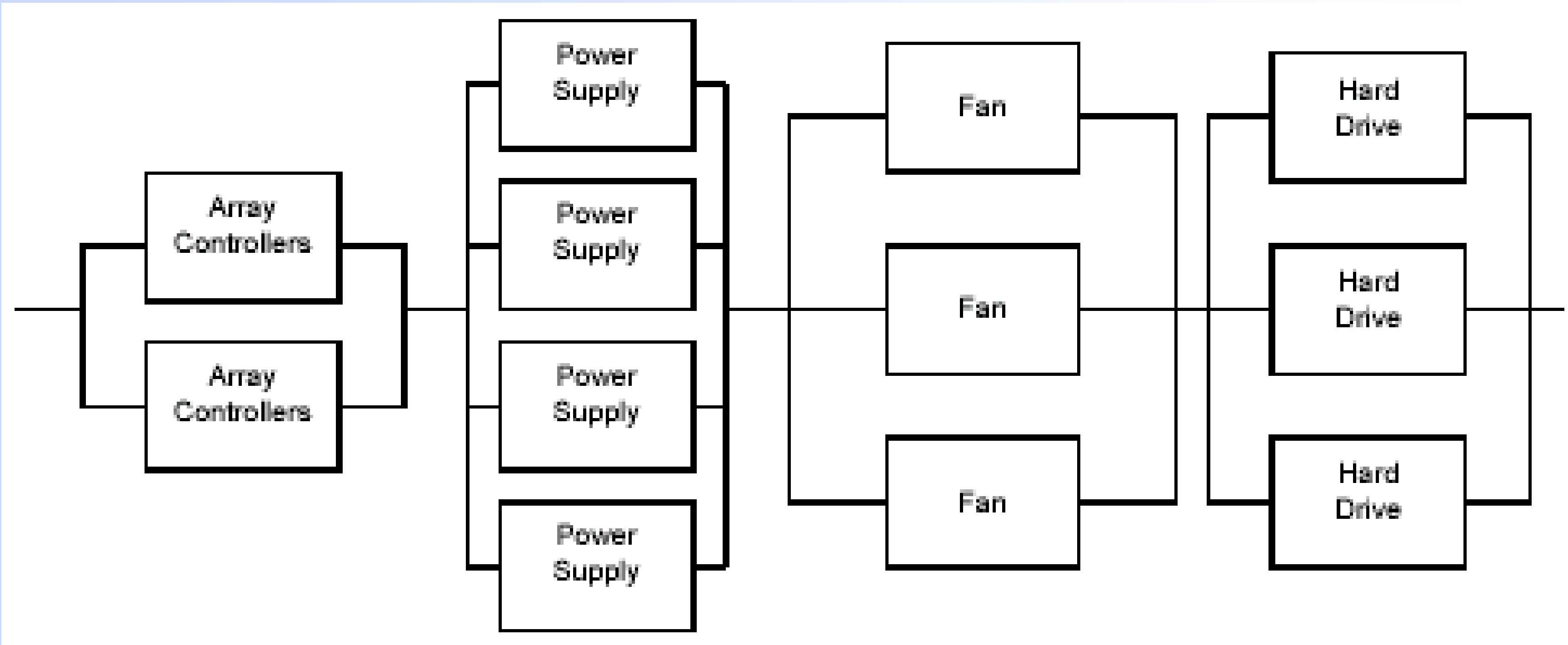
Enrique López Droguett

ealopez@ufpe.br

www.risctec.org

EXERCÍCIO

- Considere o seguinte "vetor de hard drives":



EXERCÍCIO

- As distribuições de probabilidade e parâmetros do comportamento de falha de cada componente são:

Component	Distribution	Parameters
Array Controllers	Weibull	$\beta = 1.2$ $\eta = 1953$ days
Power Supply	Lognormal	$\mu = 7.0102$ (log-mean) $\sigma = 1.2124$ (log-std)
Fan	Exponential	$\lambda = 0.000070265$ failures/day
Hard Drive	Weibull	$\beta = 2.5$ $\eta = 3000$ days

EXERCÍCIO

- Considere que:
  - O subsistema de potência ("Power Supply") está com configuração 2 de 4
  - Os ventiladores estão com configuração 2 de 3
  - Os hard drives estão em configuração 2 de 3

EXERCÍCIO

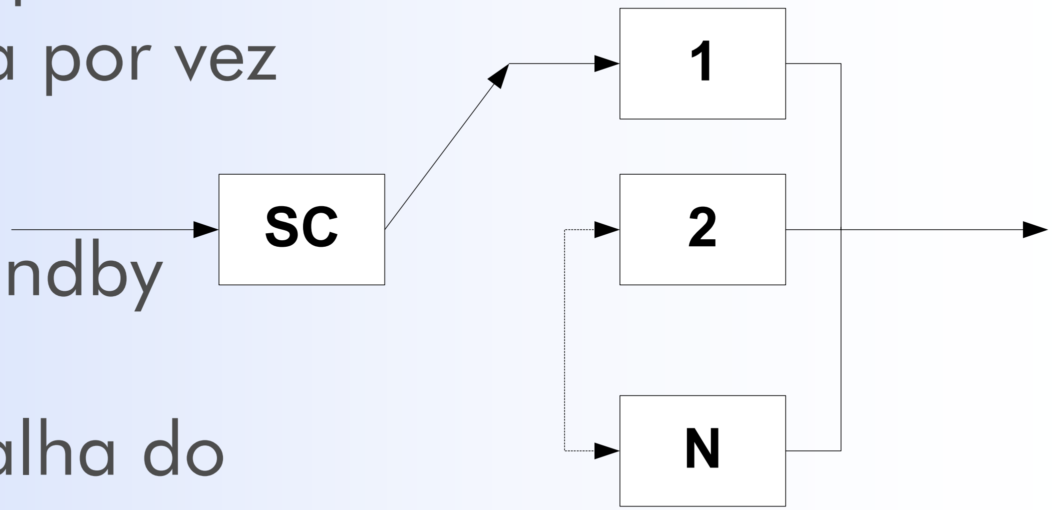
- Determine a função de confiabilidade para o sistema
- Estime a confiabilidade do sistema para uma missão de 182 dias
- Qual é a duração de uma missão para o sistema se um nível de confiabilidade de 90% é requerido
- Determine a função de confiabilidade para cada subsistema
- Sabendo que o sistema tem operado por 182 dias, qual é a probabilidade de que o mesmo irá operar sem falhas por mais 182 dias?

SISTEMA EM STANDBY

- Sistema em paralelo no qual algumas unidades ficam fora de serviço
- Somente chamadas a entrarem em operação quando a unidade principal falha
- A detecção de falha da unidade principal e mudança para uma unidade standby é feita por um Sistema Sensor e Chaveamento

SISTEMA EM STANDBY

- Considera-se que apenas uma unidade opera por vez



- As unidades em standby possuem menor probabilidade de falha do que quando em operação

- A unidade sensorial e de chaveamento podem falhar

SISTEMA EM STANDBY

- Confiabilidade do Sistema Standby composto de duas unidades:

$$R_s(t) = R_1(t) + \int_0^{t_1=t} f_1(t_1) \cdot R_{SC}(t_1) \cdot R_2^{SB}(t_1) \cdot R_2(t-t_1) \cdot dt_1$$

SISTEMA COM CARGA COMPARTILHADA

- Sistema em paralelo com unidades contribuindo igualmente para a função do sistema:
  - As unidades dividem a carga total eqüitativamente
- Com a falha de uma unidade, as outras devem compartilhar a carga adicional:
  - Aumenta-se o stress sobre as unidades operacionais
  - Taxa de falha das unidades remanescentes aumenta

SISTEMA COM CARGA COMPARTILHADA

- Considere duas unidades em carga compartilhada

- Sejam:
  - $f_h(s,t)$ distribuição do tempo até falhar de uma unidade em carga compartilhada
  - $f_f(2s,t)$ distribuição do tempo até falhar de uma unidade sob carga total

SISTEMA COM CARGA COMPARTILHADA

- Confiabilidade do Sistema com duas unidades compartilhando carga:

$$R_s(t) = \left[R_h(s,t)\right]^2 + 2\int_0^{t_1=t} f_h(s,t_1)\cdot R_h(s,t_1)\cdot R_f(2s,t-t_1)\cdot dt_1$$

SISTEMAS COMPLEXOS

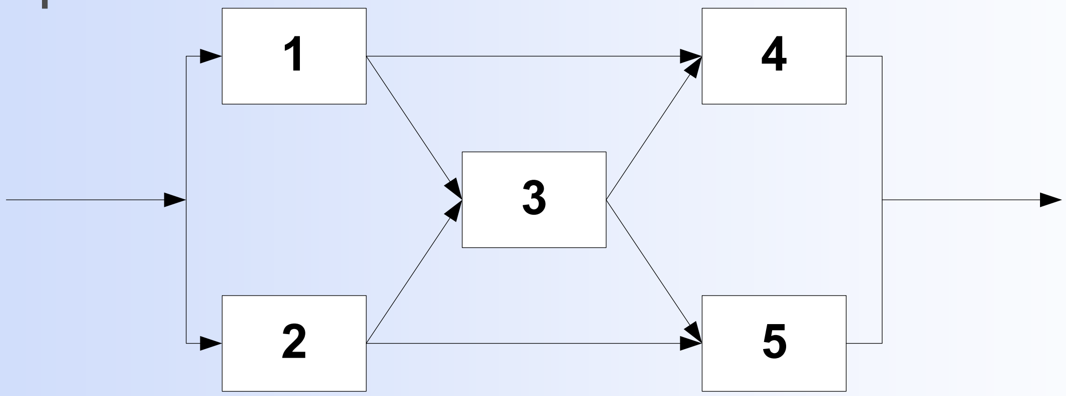
- Confiabilidade de sistemas que não são puramente série-paralelo pode ser avaliada através de:
  - Método da Decomposição
  - Método “Path Tracing”, i.e., através dos cortes a caminhos mínimos do sistema

SISTEMAS COMPLEXOS – DECOMPOSIÇÃO

- Confiabilidade do sistema determinada através da sua decomposição em sub-redes

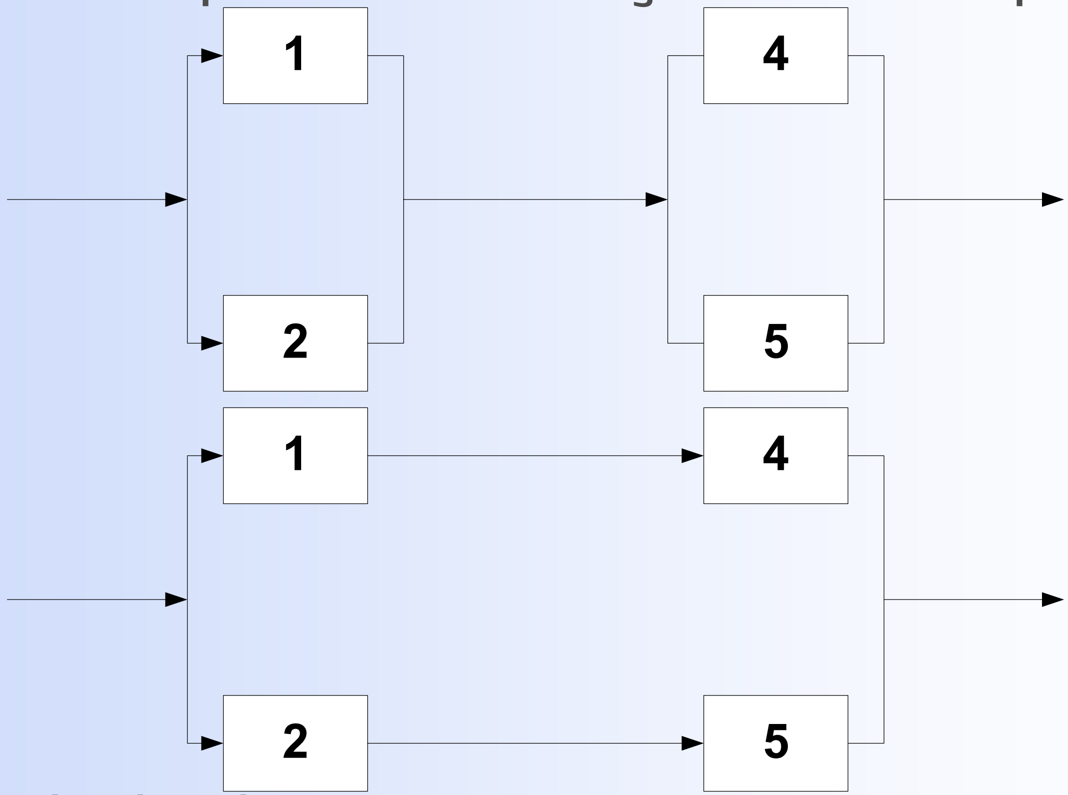
- Decomposição baseada em nós (blocos) que tornam o sistema não-série-paralelo

- Por exemplo:



SISTEMAS COMPLEXOS – DECOMPOSIÇÃO

- Sistema decomposto em função do componente 3:

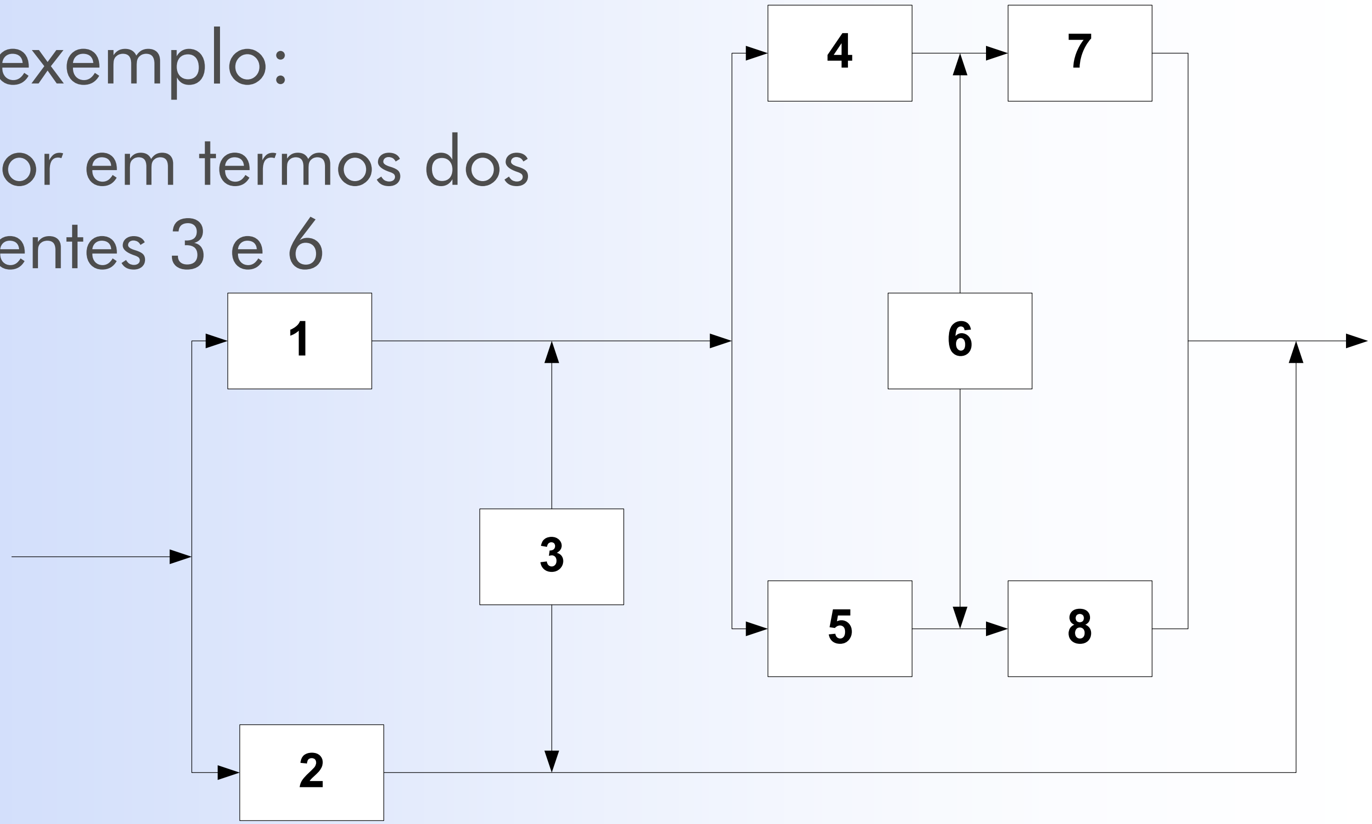


- Confiabilidade do Sistema:

$$R_s(t) = R_s(t \mid R_3) \cdot R_3(t) + R_s(t \mid \overline{R}_3) \cdot [1 - R_3(t)]$$

SISTEMAS COMPLEXOS – DECOMPOSIÇÃO

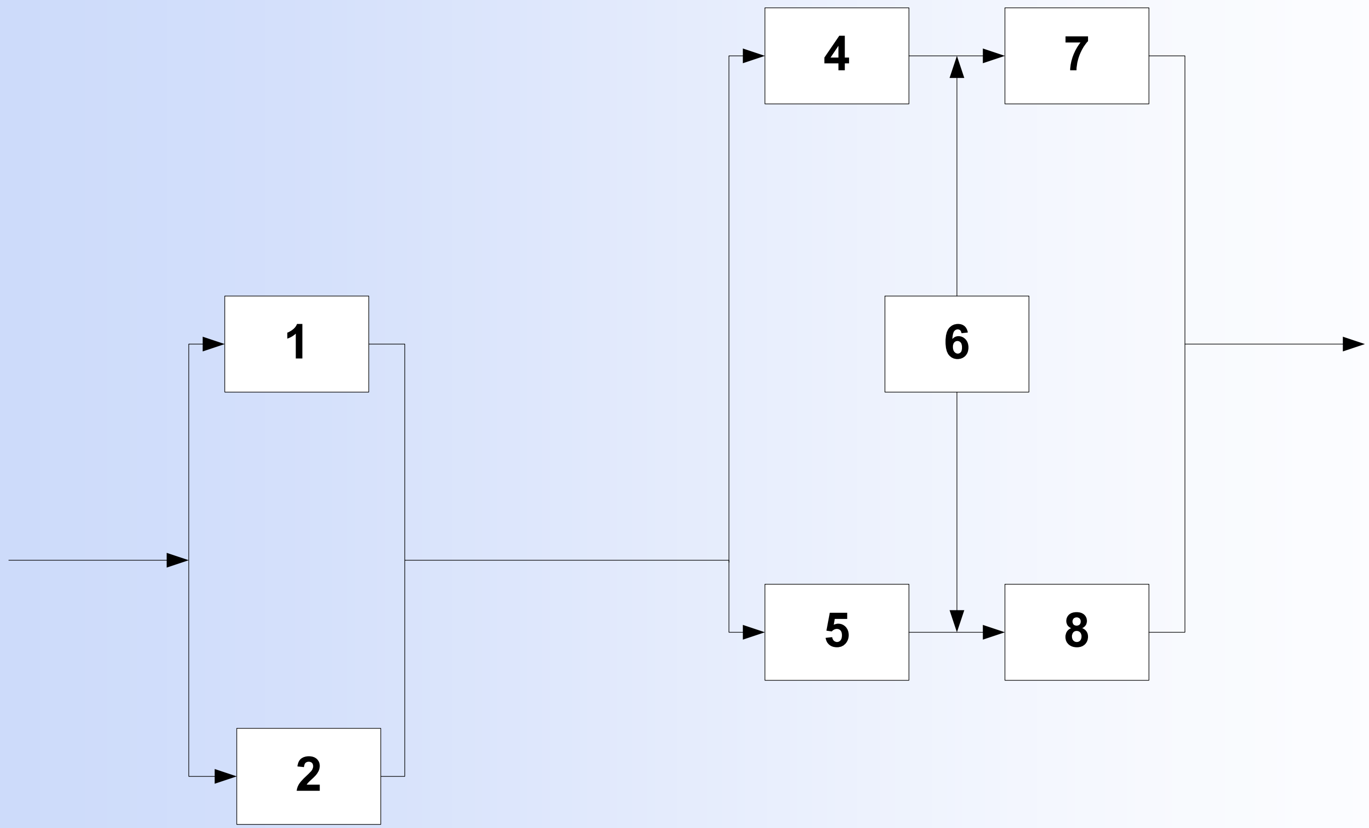
- Um outro exemplo:
  - Decompor em termos dos componentes 3 e 6



- Confiabilidade do Sistema:

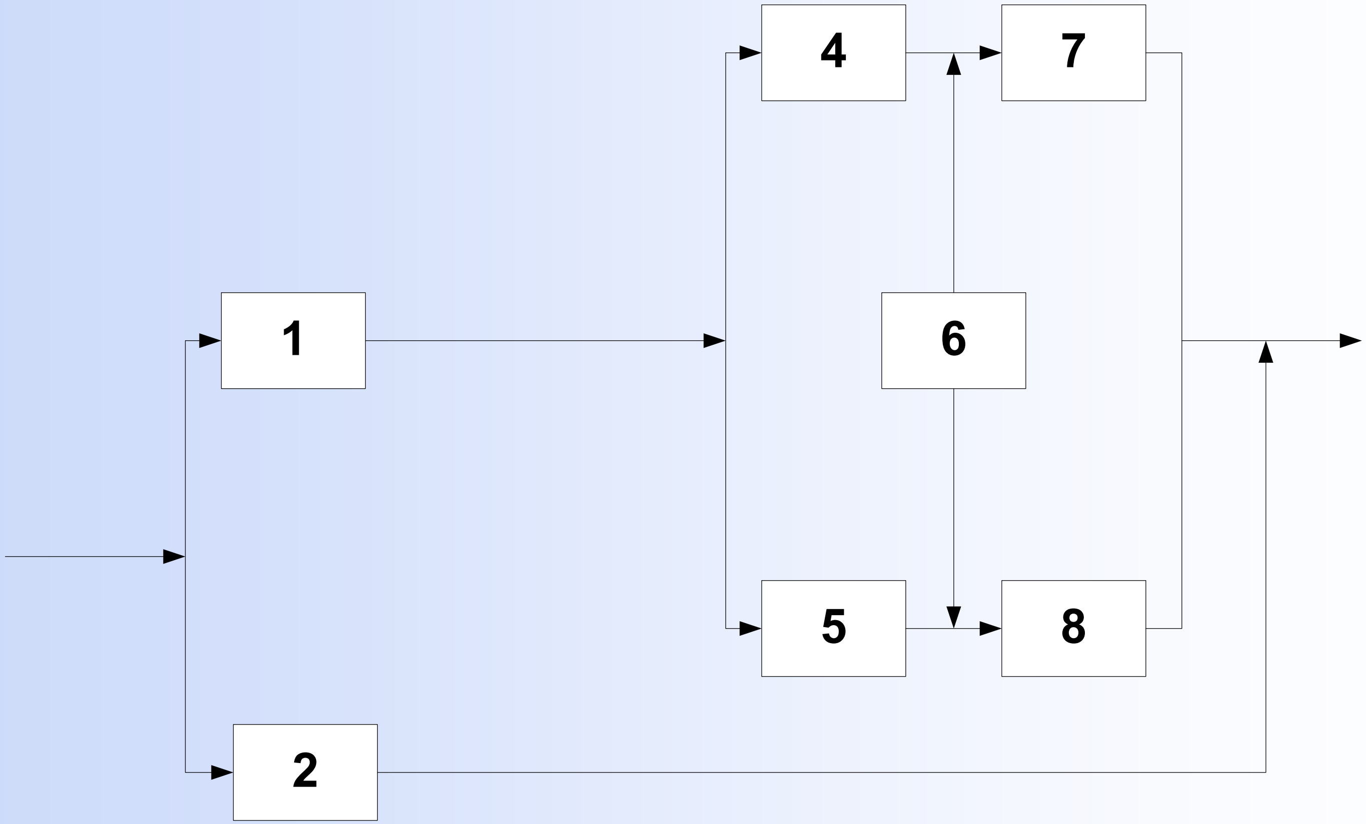
$$R_s(t) = R_s(t \mid R_3) \cdot R_3(t) + R_s(t \mid \overline{R}_3) \cdot [1 - R_3(t)]$$

SISTEMAS COMPLEXOS – DECOMPOSIÇÃO



$$R_s(t \mid R_3) = R_s(t \mid R_3 \cap R_6) \cdot R_6 + R_s(t \mid R_3 \cap \overline{R}_6) \cdot [1 - R_6]$$

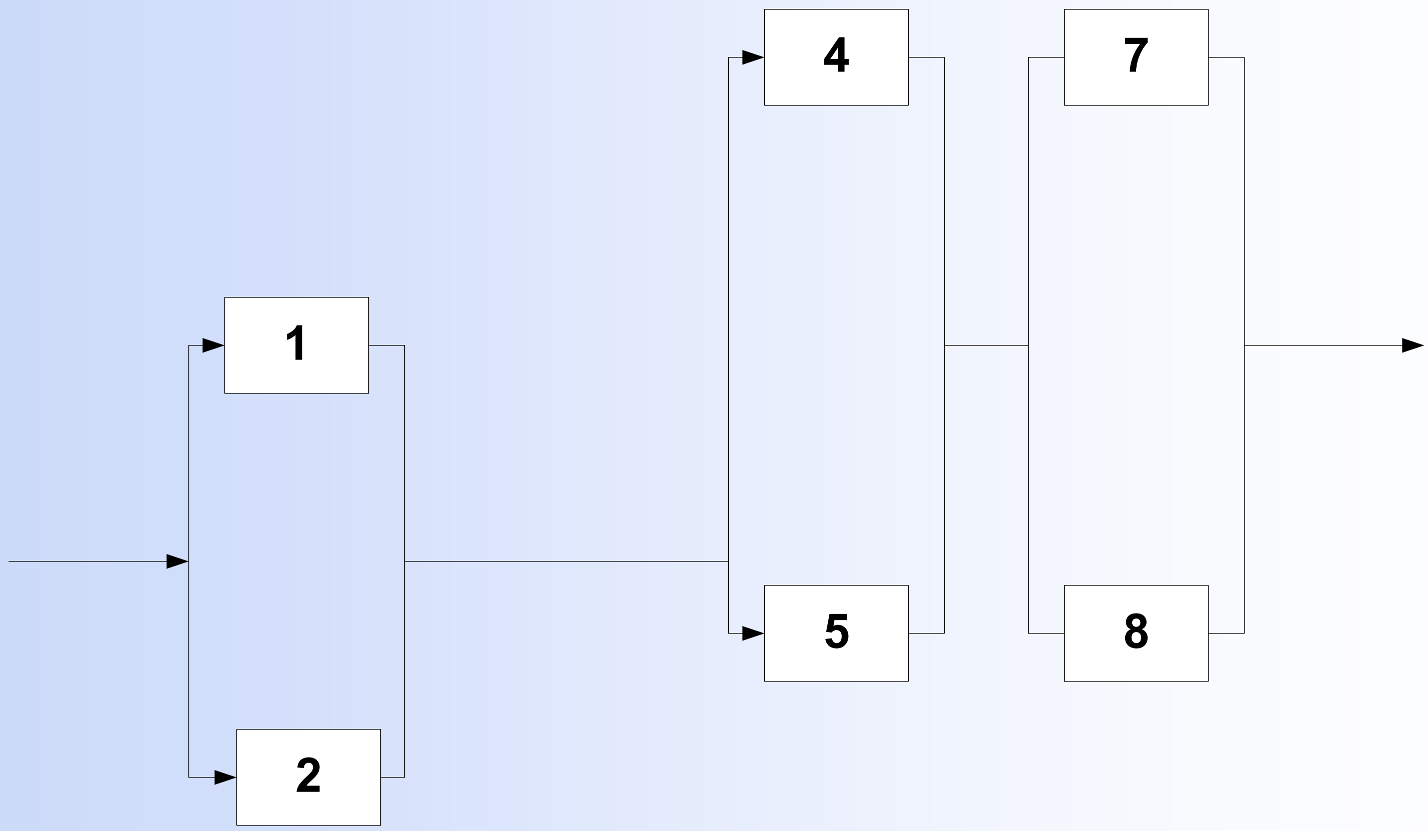
SISTEMAS COMPLEXOS – DECOMPOSIÇÃO



$$R_s(t\,|\,\overline{R}_3) = R_s(t\,|\,\overline{R}_3 \cap R_6)\cdot R_6 + R_s(t\,|\,\overline{R}_3 \cap \overline{R}_6)\cdot[1 - R_6]$$

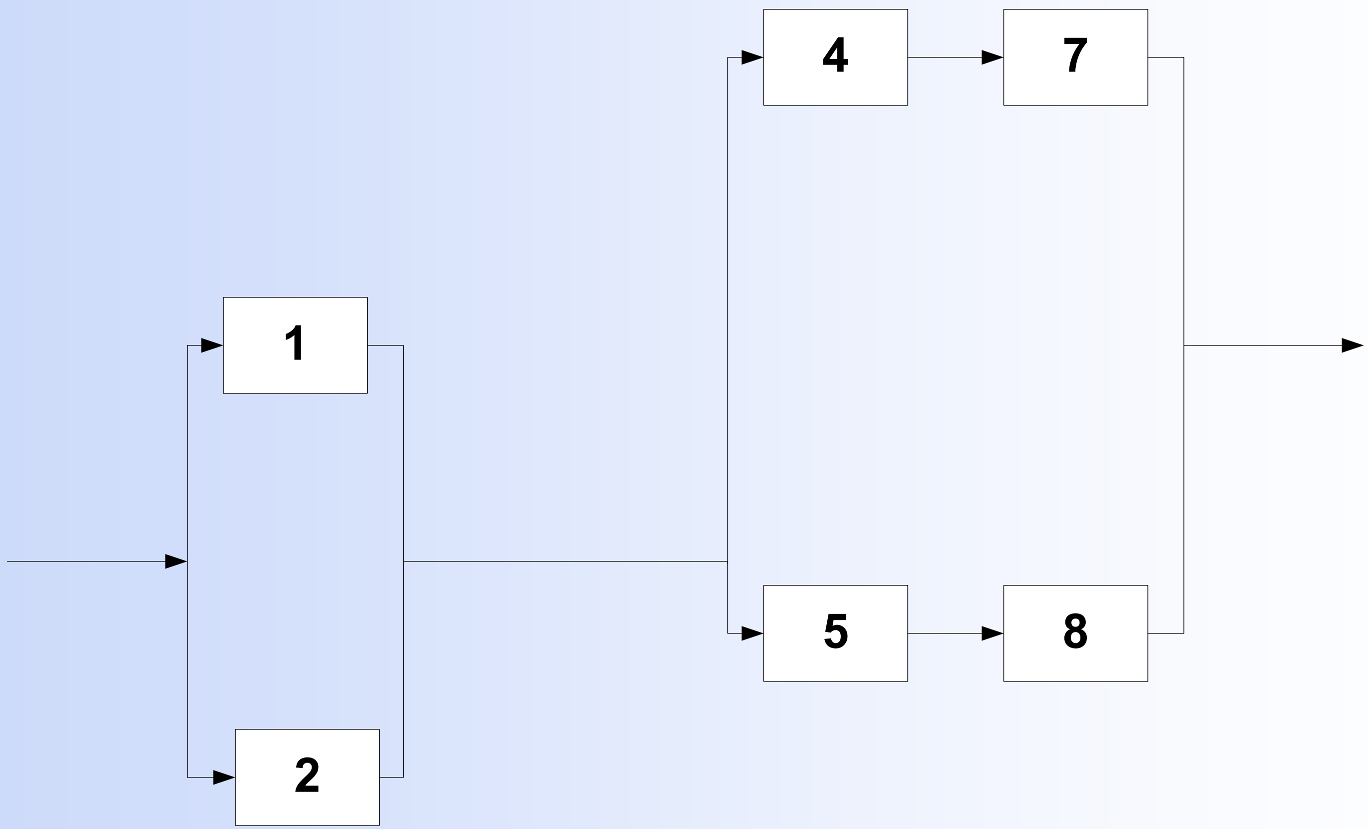
SISTEMAS COMPLEXOS – DECOMPOSIÇÃO

$$R_s(t \mid R_3 \cap R_6):$$



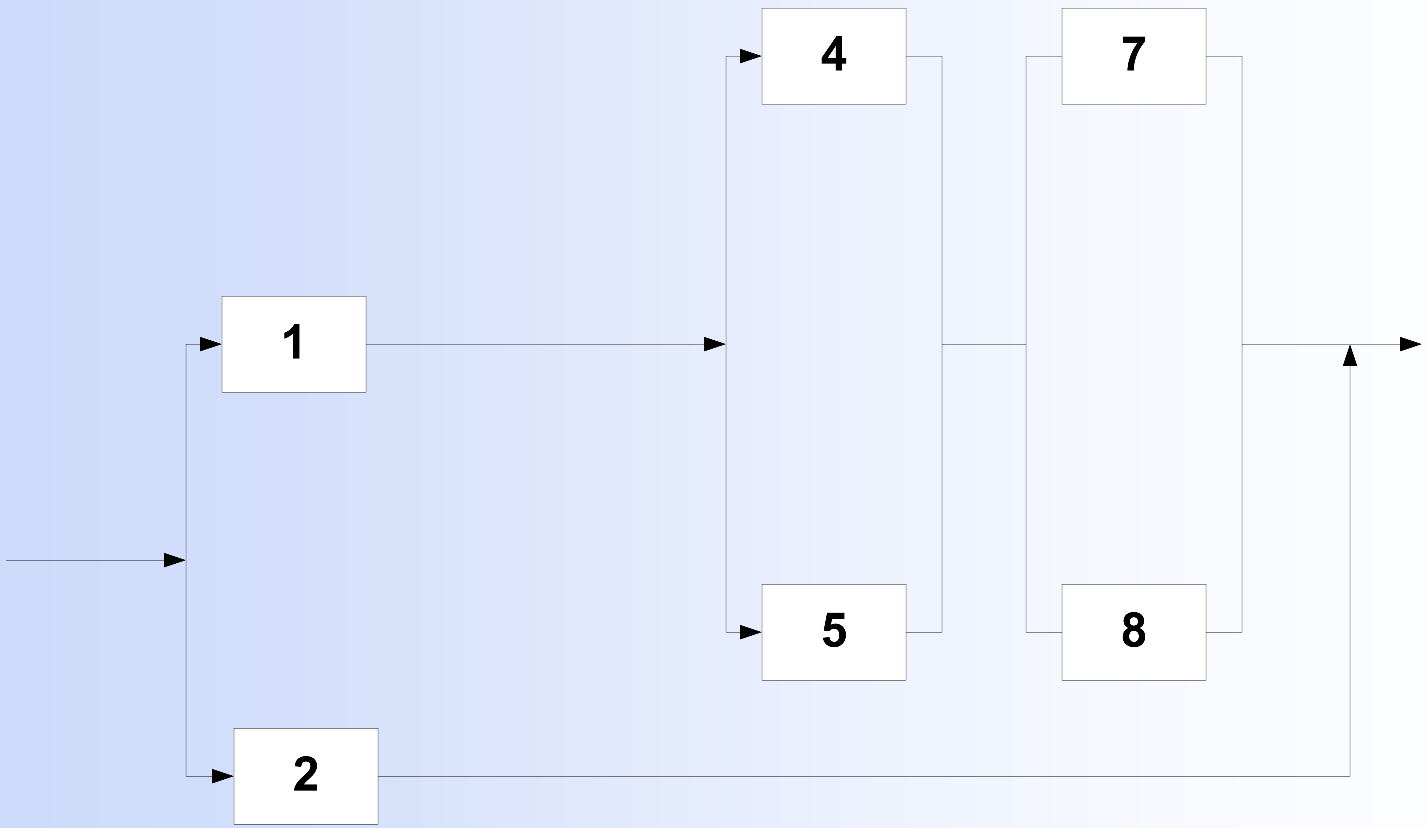
SISTEMAS COMPLEXOS – DECOMPOSIÇÃO

$$R_s(t \mid R_3 \cap \overline{R}_6):$$



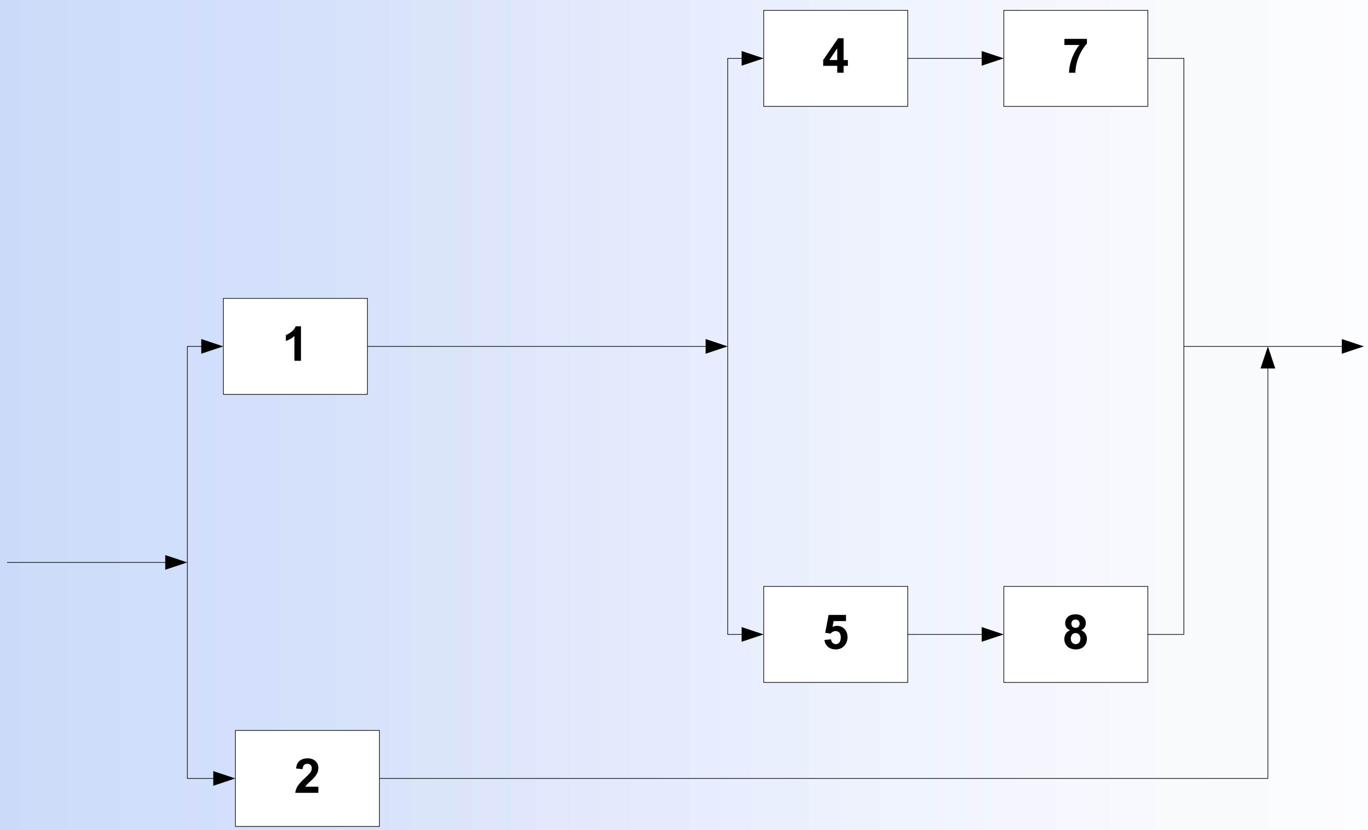
SISTEMAS COMPLEXOS – DECOMPOSIÇÃO

$$R_s(t \mid \overline{R}_3 \cap R_6):$$



SISTEMAS COMPLEXOS – DECOMPOSIÇÃO

$R_s(t \mid \overline{R}_3 \cap \overline{R}_6):$



SISTEMAS COMPLEXOS – “PATH TRACING”

- Confiabilidade do sistema avaliada em termos dos seus caminhos mínimos (path sets) e cortes mínimos (cut sets)

- Caminho:
  - Conjunto de nós (blocos, unidades) que estabelecem uma ligação entre a entrada e saída do diagrama

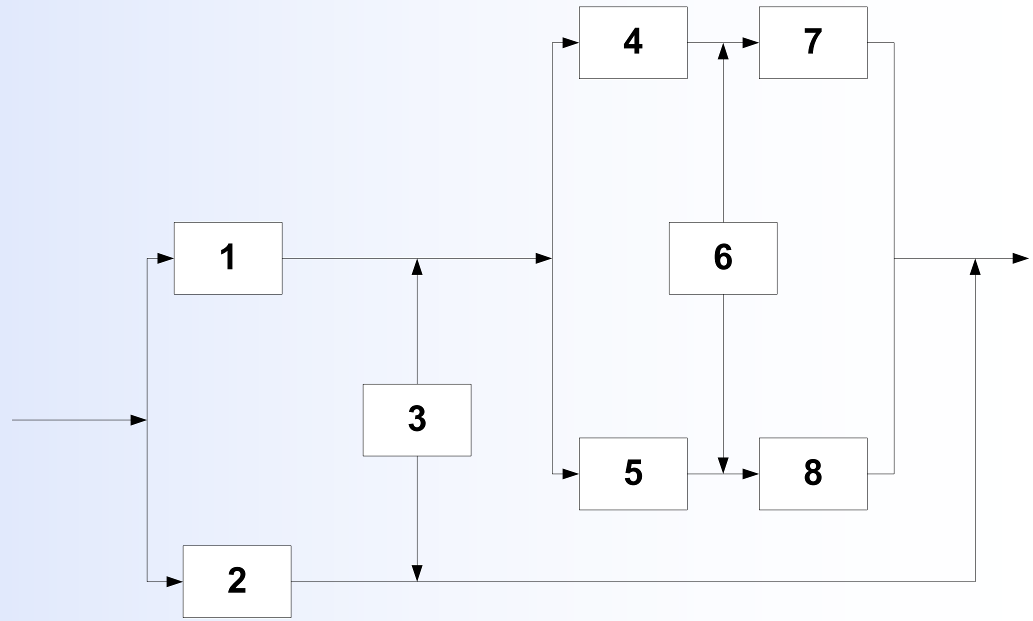
- Caminho Mínimo:
  - Caminho contendo o mínimo de nós que garantam o funcionamento do sistema (ligação entrada-saída)

SISTEMAS COMPLEXOS – “PATH TRACING”

- Corte:
  - Conjunto de nós que interrompem todas as possíveis ligações entre a entrada e saída do diagrama
- Corte Mínimo:
  - Número mínimo de nós que garantam a interrupção entre entrada e saída
  - Representa um conjunto de falhas das unidades que levam a falha do sistema

SISTEMAS COMPLEXOS – "PATH TRACING"

- No seguinte sistema:



- Caminhos Mínimos:

$$P_1 = \{2\}; P_2 = \{1,3\}; P_3 = \{1,4,7\};$$

$$P_4 = \{1,5,8\}; P_5 = \{1,4,6,8\}; P_6 = \{1,5,6,7\}$$

- Cortes Mínimos: $C_1 = \{1,2\}; C_2 = \{2,3,4,5\}; C_3 = \{2,3,7,8\};$

$$C_4 = \{2,3,4,6,8\}; C_5 = \{2,3,5,6,7\}$$

SISTEMAS COMPLEXOS – "PATH TRACING"

- Confiabilidade do Sistema:
  - Se os sistema possui *m* cortes mínimos

$$R_s(t) = \Pr(P_1 \cup P_2 \cup \cdots \cup P_m)$$

onde cada caminho mínimo P_i representa a probabilidade do evento em que todas as unidades no caminho operem durante o tempo de missão *t*

- Em geral, esses eventos não são disjuntos. Uma aproximação para pequenos valores de confiabilidade é:

$$R_s(t) \leq \Pr(P_1) + \Pr(P_2) + \cdots + \Pr(P_m)$$

SISTEMAS COMPLEXOS – "PATH TRACING"

- Se o sistema tem *n* cortes mínimos, a confiabilidade é dada por:

$$R_s(t) = 1 - \Pr(C_1 \cup C_2 \cup \cdots \cup C_n)$$

onde C_i é a probabilidade do evento que todas as unidades em C_i falhem antes do tempo de missão *t*

- Em geral, esses eventos não são disjuntos. Uma aproximação é dada por:

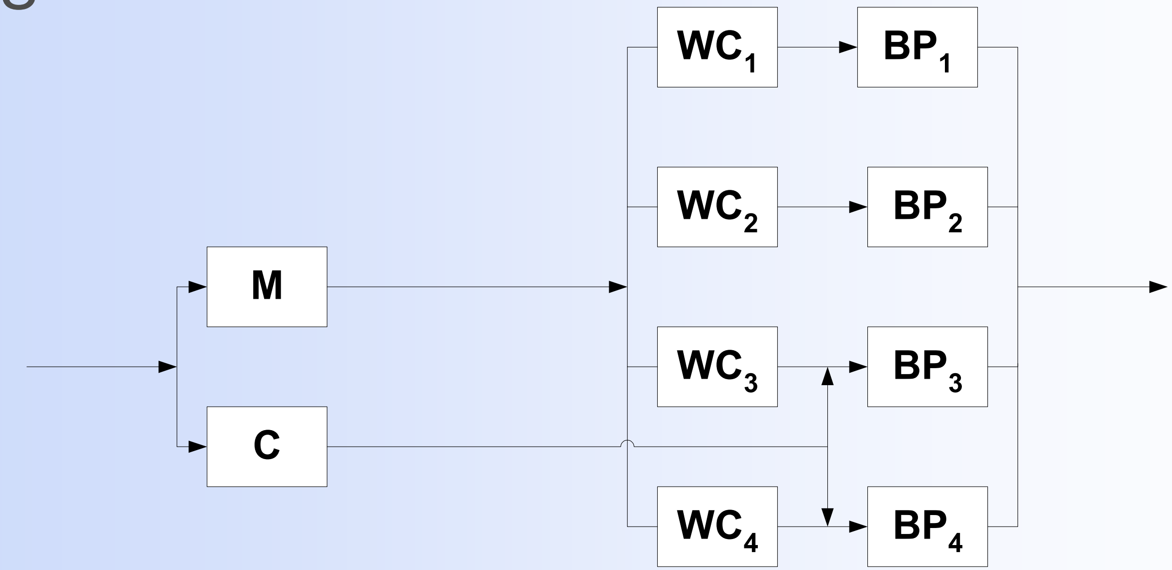
$$R_s(t) \geq 1 - [\Pr(C_1) + \Pr(C_2) + \cdots + \Pr(C_n)]$$

RESOLVER – 1

- O sistema de frenagem de um carro consiste do subsistema de frenagem hidráulico e do subsistema de frenagem mecânico (freio de mão). Ambos os subsistemas devem falhar para que o sistema falhe. O subsistema hidráulico falha se o cilindro principal (M) falha, que inclui as linhas hidráulicas, ou se todas as quatro unidades de frenagem das rodas falharem. Uma unidade de frenagem de uma roda falha se o cilindro da roda falha (eventos WC_1, WC_2, WC_3, WC_4) ou a montagem da pastilha do freio (eventos BP_1, BP_2, BP_3, BP_4). O susbsistema mecânico falha se o cabo falhar (C) ou se ambas as montagens das pastilhas traseiras falharem (eventos BP_3, BP_4).

RESOLVER – 1

- Considere que
  - $R(WC_1) = R(WC_2) = R(WC_3) = R(WC_4) = R(WC)$
  - $R(BP_1) = R(BP_2) = R(BP_3) = R(BP_4) = R(BP)$
- O diagrama de blocos é:



- Determine a confiabilidade do sistema de frenagem

SOLUÇÃO

- Caso 1: BP_3 falha e BP_4 operacional

$$P_I = [1 - R(BP)]R(BP)$$

$$R_f = R(M)\{1 - [1 - R(WC)R(BP)]^2[1 - R(WC)]\}$$

$$R_m = R(C)$$

$$R_I = 1 - [1 - R_f][1 - R(C)]$$

SOLUÇÃO

- Caso 2: BP_3 operacional e BP_4 falho

$$P_{II} = P_I = [1 - R(BP)]R(BP)$$

$$R_{II} = R_I = 1 - [1 - R_f][1 - R(C)]$$

SOLUÇÃO

- Caso 3: BP_3 falho e BP_4 falho
  - Sistema de frenagem mecânico não funciona

$$P_{III} = [1 - R(BP)]^2$$

$$R_{III} = R(M)\{1 - [1 - R(WC)R(BP)]^2\}$$

SOLUÇÃO

- Caso 4: BP_3 operacional e BP_4 operacional

$$P_{IV} = R(BP)^2$$

$$R_f = R(M)\{1-[1-R(WC)R(BP)]^2[1-R(WC)]^2\}$$

$$R_{IV} = 1-[1-R_f][1-R(C)]$$

SOLUÇÃO

- Confiabilidade do Sistema é:

$$R_s = R_I \cdot P_I + R_{II} \cdot P_{II} + R_{III} \cdot P_{III} + R_{IV} \cdot P_{IV}$$

Note que:

$$P_I + P_{II} + P_{III} + P_{IV} = 1$$