

Engenharia de Manutenção (EF 302000)

Prof. Dr. Marcelo Sucena, PhD

marcelosucena@gmail.com

<http://www.marcelosucena.com.br>



DISPONIBILIDADE DE ATIVOS: CONFIABILIDADE, MANTENABILIDADE E SEGURANÇA

Ideias relacionadas com a confiabilidade

Continuidade

Confiança

Durável

Segurança

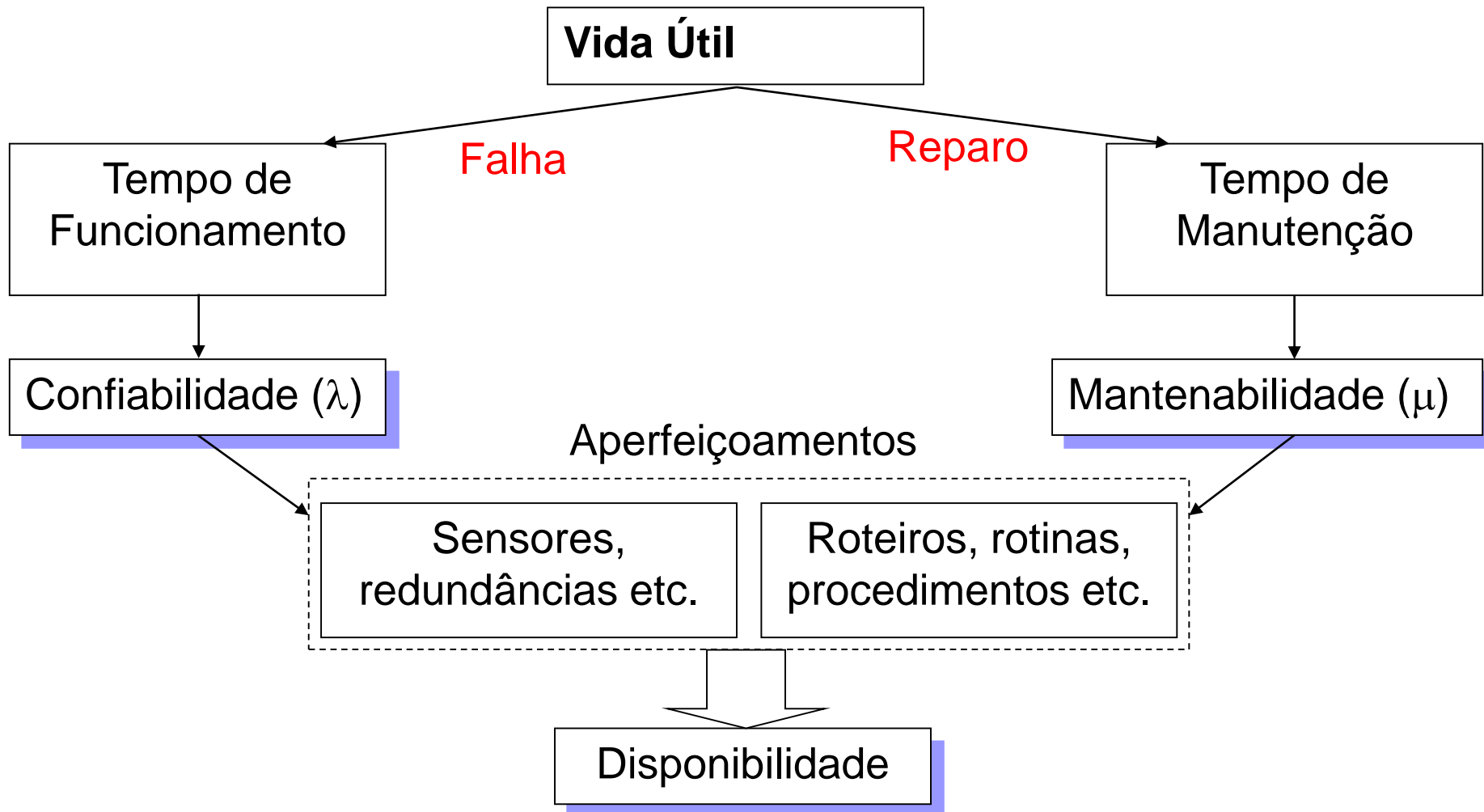
Sem falhas

Eficiente

Análise da Vida Útil do Ativo

- ✓ **MAXIMIZAR** o Tempo de Operação dos equipamentos pela contenção das causas fundamentais das falhas .
- ✓ Qualificar o sistema de gerenciamento de ativos visando a **MINIMIZAÇÃO** do emprego de insumos (\$) e de mão de obra (Hh), ou seja, **MINIMIZANDO** o Tempo de equipamento parado (em Manutenção).

Análise da Vida Útil do Ativo



Confiabilidade

✓ Probabilidade de um sistema desempenhar com sucesso suas funções específicas, numa missão (tempo ou espaço), dentro de condições normais de utilização e operação.

✓ É a capacidade de um item de desempenhar uma função específica, sob condições e intervalo de tempo predeterminados. (**ABNT NBR 5462, 1994**)

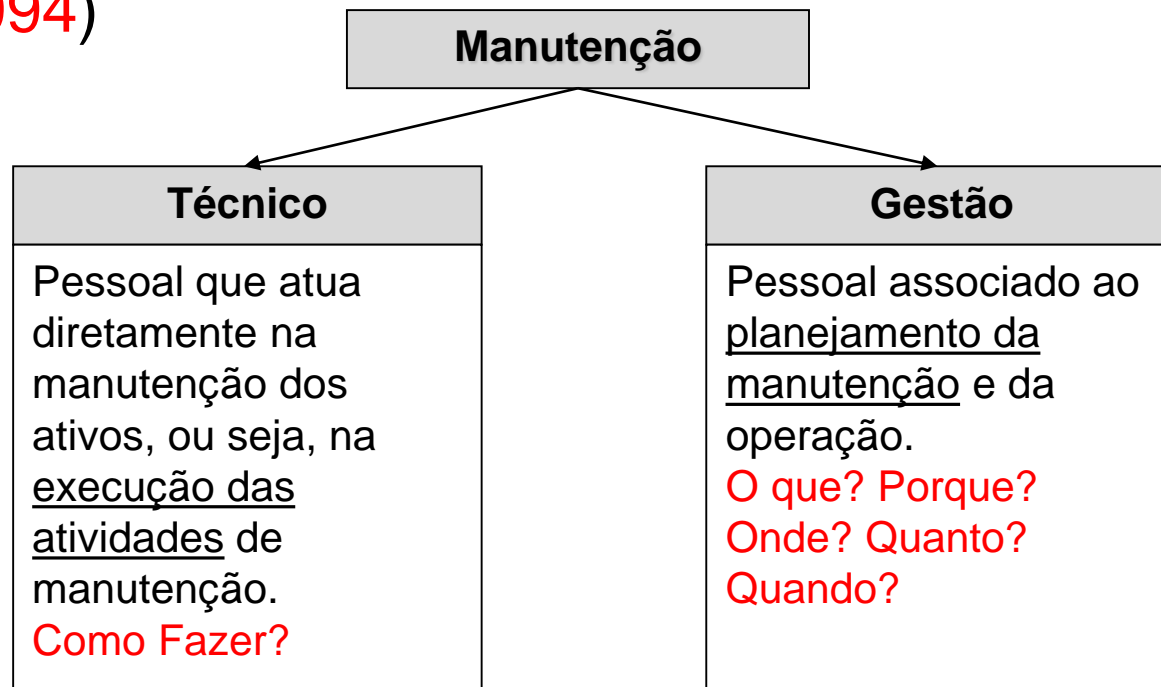


Retirado de Seixas, Eduardo, Confiabilidade e Manutenibilidade, Qualytek, Rio de Janeiro, 2001.

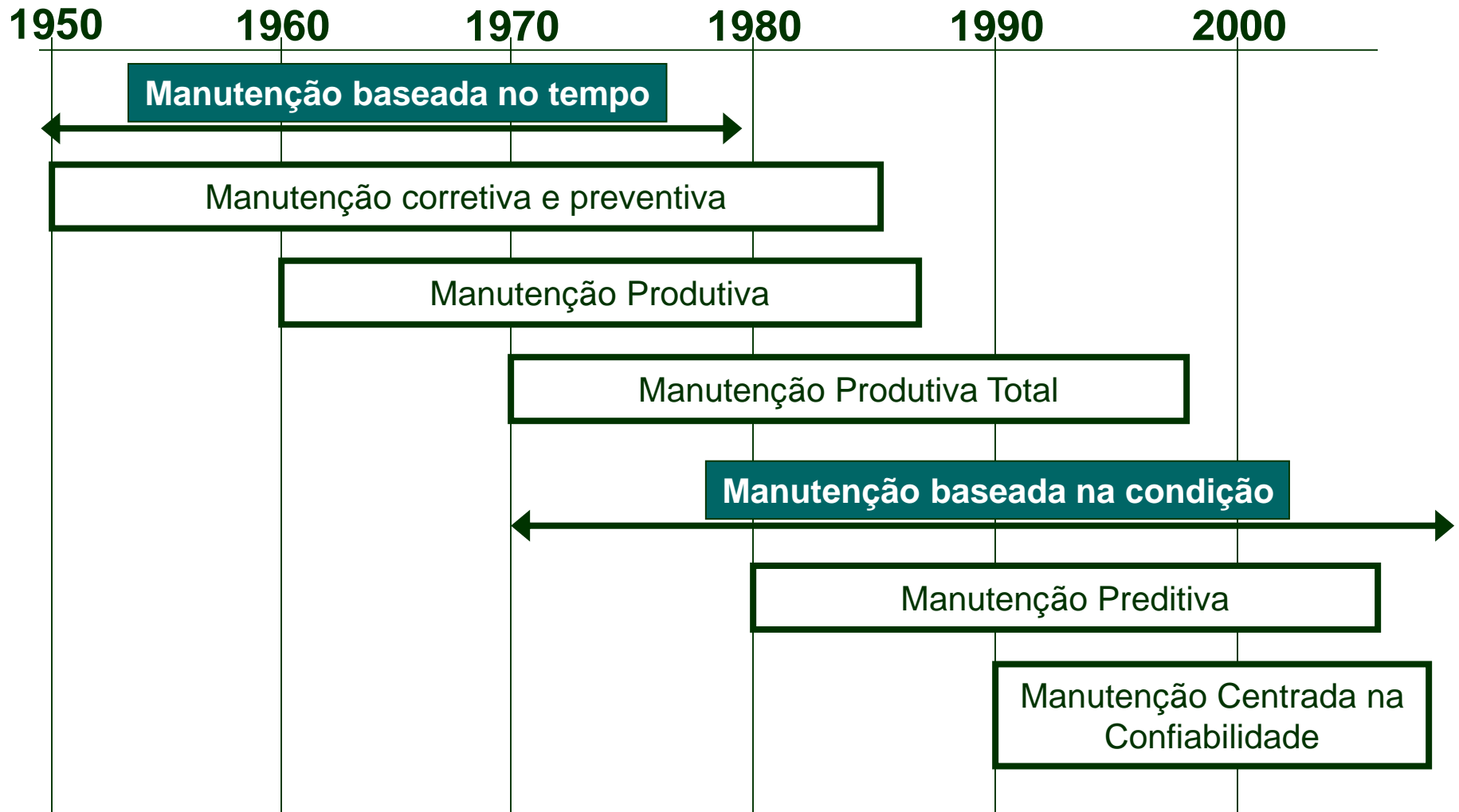
Mantenabilidade (manutenabilidade, manutenibilidade)

- ✓ Probabilidade de uma dada ação de manutenção efetiva, para um item sob dadas condições de uso, pode ser efetuada dentro de um intervalo de tempo determinado, quando a manutenção é executada sob condições estabelecidas e usando procedimentos e recursos prescritos.
- ✓ É a facilidade de um item ser mantido ou recolocado no estado no qual ele pode executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante os procedimentos e meios prescritos. (**ABNT NBR 5462, 1994**)

Manutenção - É a combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida. (ABNT: NBR-5462,1994)



EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO



Disponibilidade

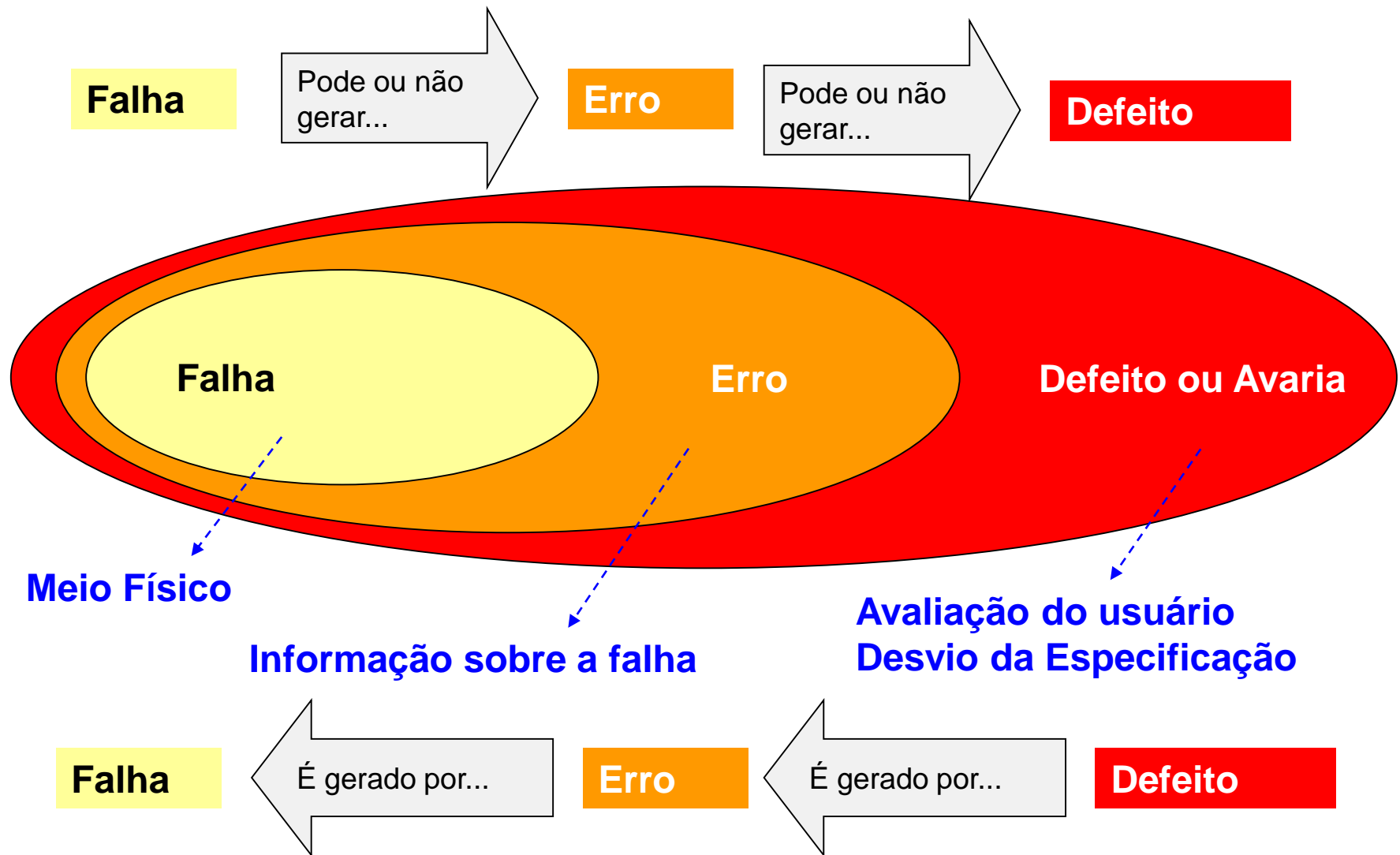
✓ Capacidade de um componente estar em condições de executar um certa função no momento que for acionado, durante um intervalo de tempo determinado.

✓ É a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função, em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. (ABNT NBR 5462, 1994)

Entraves à Confiabilidade

- ✓ **Defeito ou Avaria (*failure*¹):** um sistema falha quando se desvia da sua especificação de funcionamento. Podem ser evitados quando utilizam-se técnicas de tolerância a falhas. O sistema está defeituoso ou avariado quando ele não pode prover o serviço desejado.
- ✓ **Erro (*error*):** transição do sistema, provocada por uma falha, para um estado interno incorreto. Pode provocar um defeito ou não. Pode ser observado e avaliado.
- ✓ **Falha (*fault*¹):** acontecimento que altera o padrão normal de funcionamento de um dado componente do sistema. É a causa física. São inevitáveis!

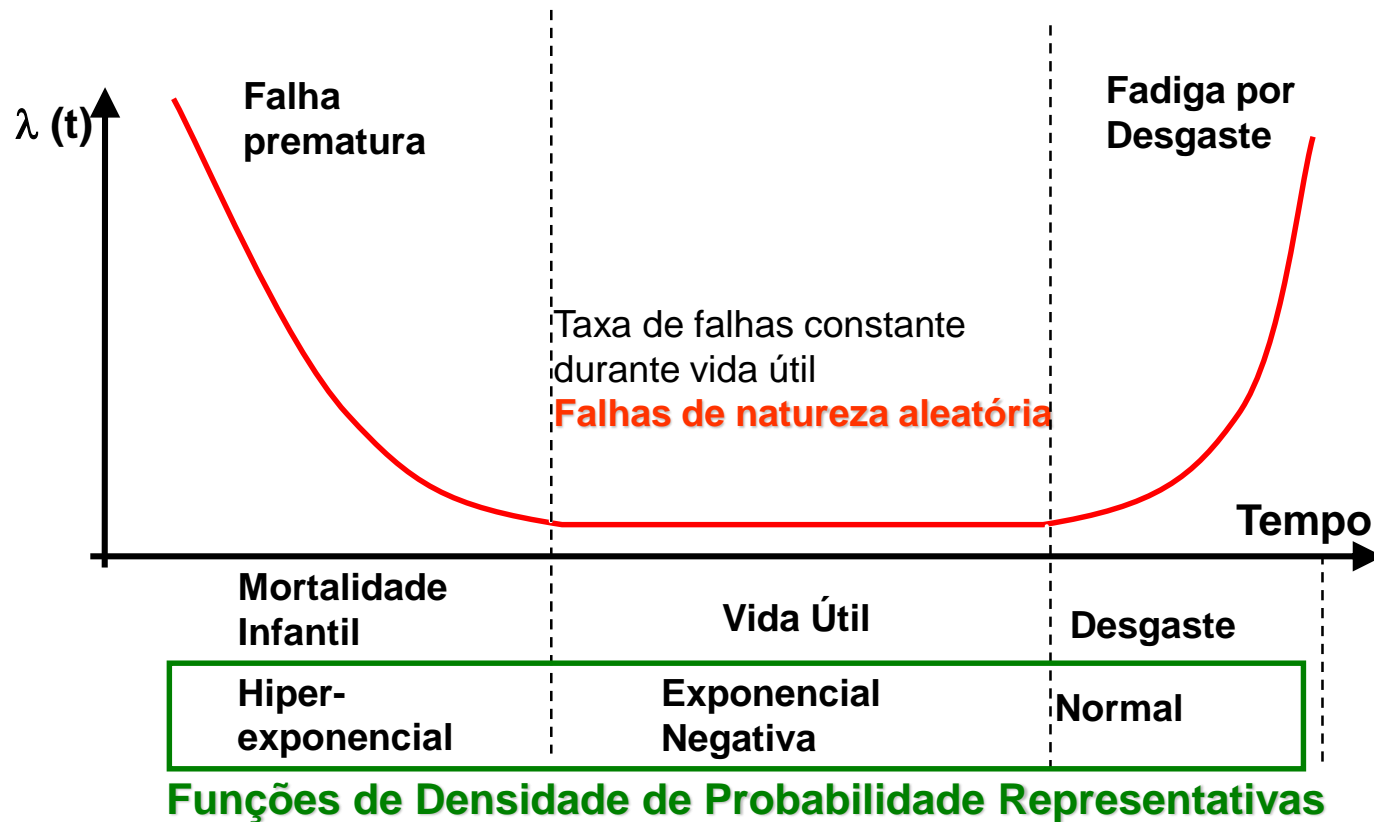
1- Alguns autores traduzem *failure* como **falha** e *fault* como **falta**. Sendo assim, chamar-se-ia “tolerância a faltas” já que falhas não são toleradas.



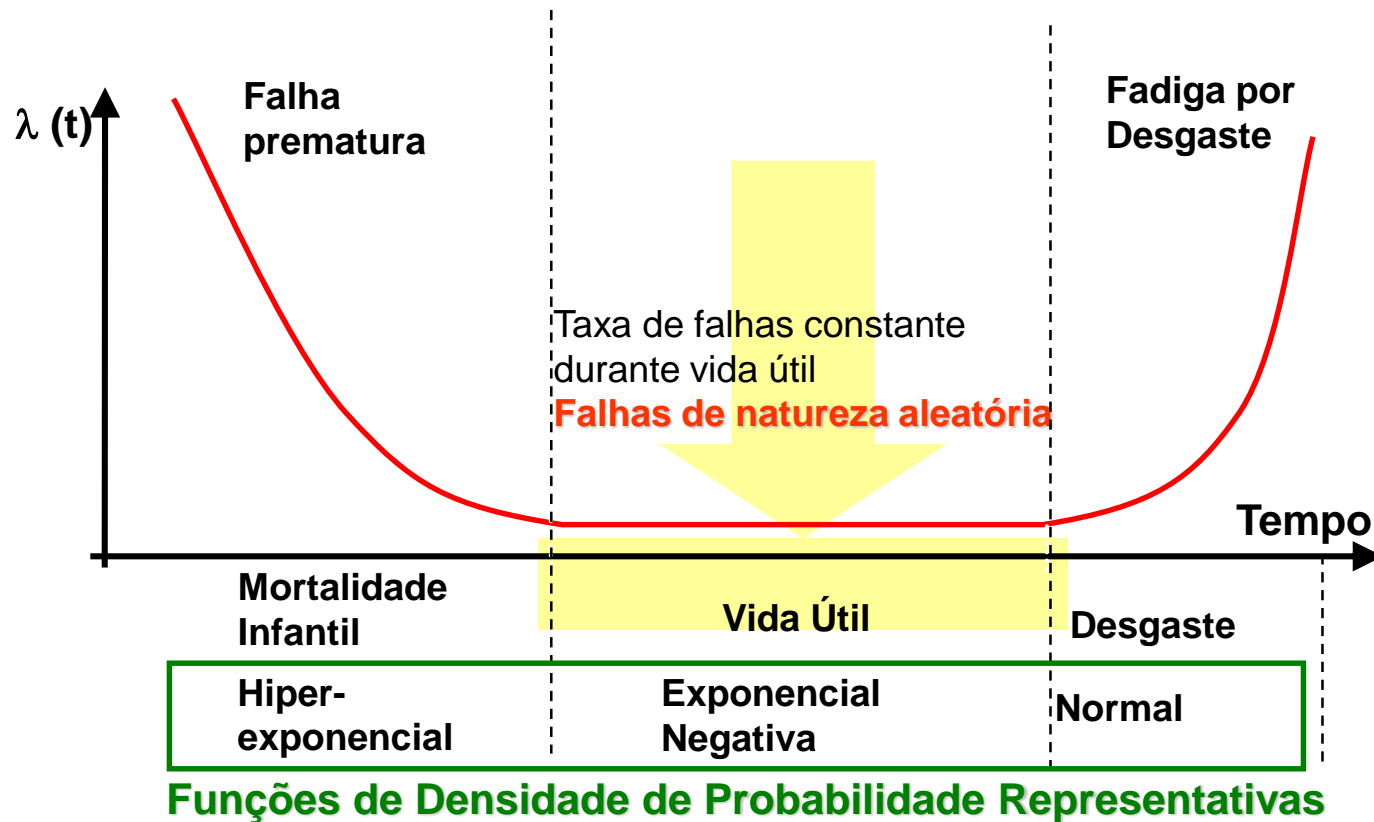
Entraves à Confiabilidade

- ✓ Um sistema defeituoso (ou avariado) é aquele que contém falhas.
- ✓ Apesar de uma falha ter o potencial de gerar erros (e por sua vez gerar defeitos), ela pode não gerar erro algum durante o período de sua observação. Esta falha pode não se manifestar até que o componente defeituoso seja usado.
- ✓ Se há um erro no estado do sistema, então existe uma sequência de ações que podem ser executadas e que levarão a defeitos (ou avarias) no sistema, a não ser que medidas de correção sejam tomadas.

As fases da vida de um componente genérico



As fases da vida de um componente genérico



Exemplos Típicos de Curva

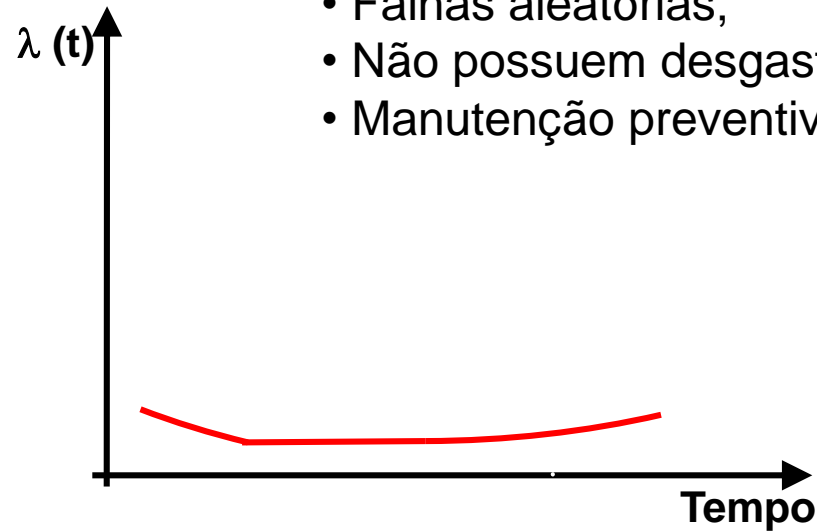


Software: a medida que os erros forem corrigidos, as falhas vão diminuindo.

Exemplos Típicos de Curva

Componentes Eletrônicos:

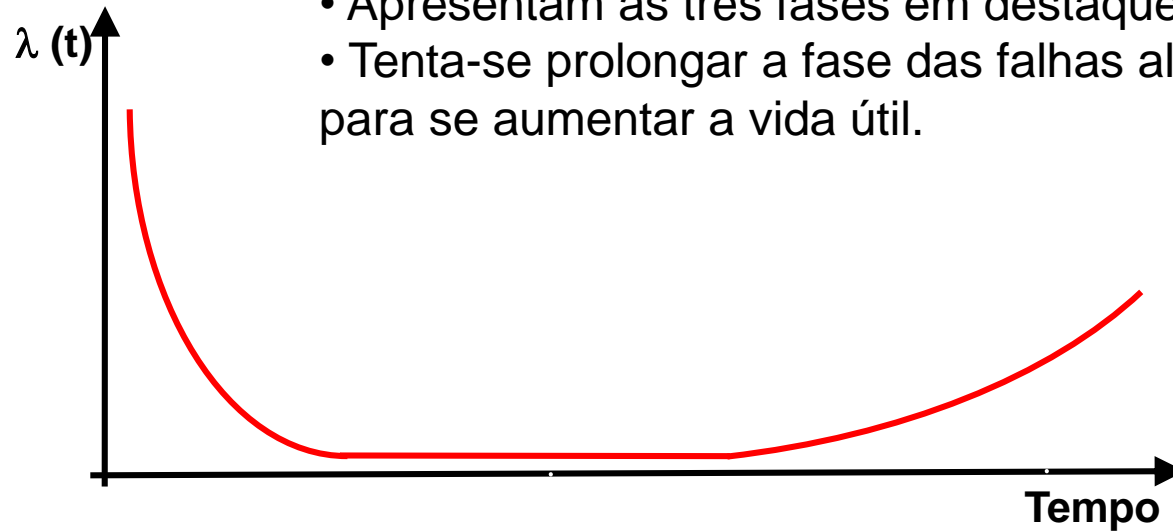
- Falhas aleatórias;
- Não possuem desgaste acentuado;
- Manutenção preventiva não efetiva.



Exemplos Típicos de Curva

Componentes Mecânicos:

- Apresentam as três fases em destaque;
- Tenta-se prolongar a fase das falhas aleatórias para se aumentar a vida útil.





Retirado de Seixas, Eduardo, Confiabilidade e Manutenibilidade, Qualytek, Rio de Janeiro, 2001.

1) Exercício Proposto

Determinar a curva da banheira

Para um grupo de amostras, a taxa de falhas em um certo período é dada por:

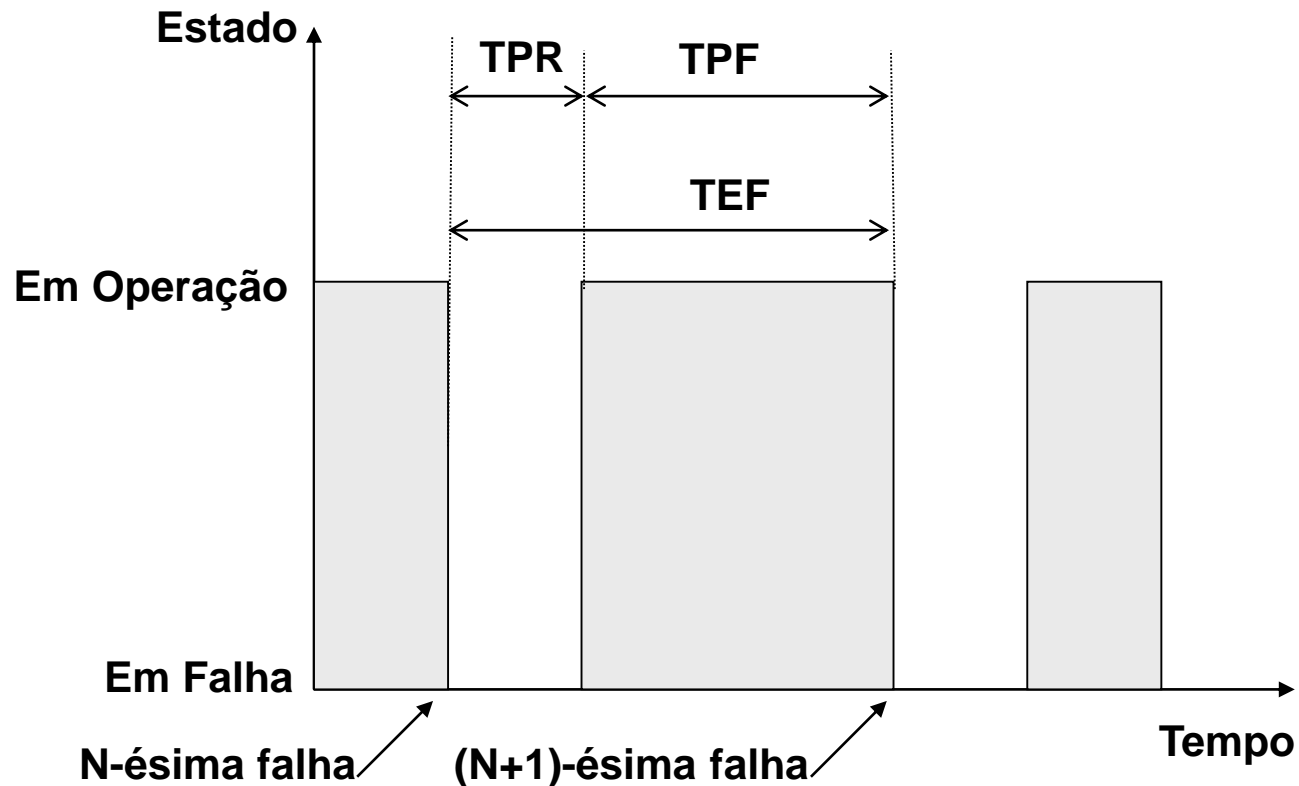
$$\lambda(t) = \frac{N_f}{n \times \Delta t}$$

Sendo: N_f a quantidade de falhas em um certo intervalo de tempo (Δt); n a quantidade de elementos em teste. Considerar $\Delta t = 1000h$.

TEMPO ATÉ FALHAR (h)	
Grupo A	100-120-130-200-240-290-300-310-330-350-380-430-460-470-480-520-540-590-640-680-690-720-830-870-920-980-1020-1040-1190-1380-1440-1560-1620-1700-1750-1920
Grupo B	2810-2820-2900-3060-3240-3300-3530-3610-4010-4280-4370-4450-5040-5120-5200-5330-5420-5560-5640-5830-6020-6370-6460-6530-6620-7010-7100-7510-7560-7840-7920-8410-8600-8790-8840-8990-9080-9110-9150-9210-9790
Grupo C	10080-10260-10320-10400-10430-10500-10580-10650-11070-11260-11350-11480-11510-11740-11830-11970-12060-12100-12290-12330-12450-12580-12660-12770-12840-12920

Retirado de Bergamo Filho, Valentino Confiabilidade Básica e Prática Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1997.

Momentos operativos de um sistema reparável



Obs.: para sistemas não-reparáveis utiliza-se o tempo até falhar.

CONFIABILIDADE ($\lambda = \text{cte}$)

$$TMEF = \frac{\sum_{i=1}^n TEF_i}{n} = \frac{1}{\lambda}$$

$$Conf. = e^{-t/TMEF} = e^{-\lambda t}$$

Taxa de falhas (λ): é a relação entre o número de falhas e um determinado período de tempo.

t: tempo de operação sob análise.

e: número irracional de Euler $\approx 2,72$

MANTENABILIDADE

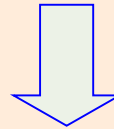
$$TMPR = \frac{\sum_{i=1}^n TPR_i}{n} = \frac{1}{\mu}$$

Taxa de reparos (μ): é a relação entre o número de reparos e um determinado período de tempo.

$$D = \frac{\textit{tempo_disponível}}{\textit{tempo_disponível} + \textit{tempo_indisponível}} = \frac{TMPF}{TMPF + TMPR}$$

Availability

Disponibilidade



Confiabilidade **Mantenabilidade**
(Tempo de Operação) (Tempo de Reparo)

Reliability

Maintainability

2) Exercício Proposto

Durante 12 meses foram analisadas 10 locos de certo tipo, cada uma contendo um compressor. Cada compressor tem 2 conjuntos de mancais (**usar TPF**) que apresentaram 19 falhas por desgaste no decorrer do período. Considerar que as locos estão na fase onde as falhas acontecem aleatoriamente.

Calcular a taxa de falhas individual e o TMPF de cada conjunto de mancais, além da quantidade provável de itens que deverão falhar (k) nos próximos 30 dias. Considerar que as locos operam 16 horas/dia.

$$k(\text{tempo}) = Qtd.Elementos \times \lambda \times PeríodoObservado$$

Adaptado de Pinto, Luis Henrique Terbeck, Análise de Falhas: Tópicos de Engenharia da Confiabilidade, 2004.

3) Exercício Proposto

Para as 19 falhas por desgaste observadas nos conjuntos de mancais do exercício anterior, foram registrados os seguintes valores, em horas, para os TPR_i : 10, 5, 2, 12, 1, 7, 10, 7, 7, 4, 10, 13, 1, 5, 3, 8, 2, e 9. Com base nestes valores calcular o TMPR.

Qual é a disponibilidade dos veículos, considerando-se as falhas nos conjuntos de mancais?

Adaptado de Pinto, Luis Henrique Terbeck, Análise de Falhas: Tópicos de Engenharia da Confiabilidade, 2004.

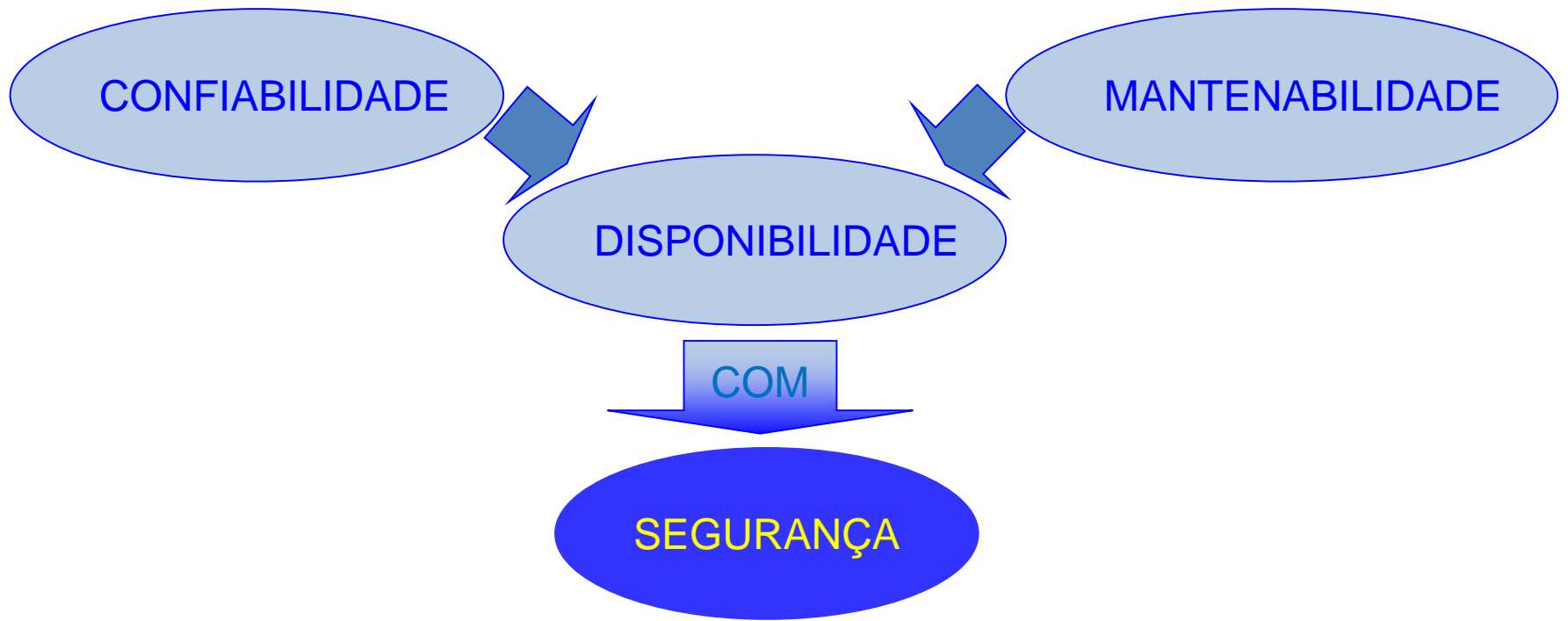
4) Exercício Proposto

Estimar o tempo para que ocorra a primeira falha no conjunto de mancais (intervalo da manutenção preventiva) considerando 10% das locos.

$$t(\text{Qtd}\%) = \frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{1}{1-p\%}\right) = \text{TMPF} \ln\left(\frac{1}{1-p\%}\right)$$

Qual é a confiabilidade desses motores em um período de 400h?

Adaptado de Pinto, Luis Henrique Terbeck, Análise de Falhas: Tópicos de Engenharia da Confiabilidade, 2004.



AVALIAÇÃO DA CRITICIDADE

A importância do componente no desempenho do sistema.

Baseia-se na análise das condições operacionais dos componentes.

Caracteriza a segurança e a operacionalidade do sistema.

1º Passo

Conhecimento do sistema

2º Passo

Decomposição do sistema

4º Passo

Determinação dos pesos referentes à severidade e às probabilidades de ocorrência e detecção de falhas dos componentes inferiores representados no diagrama (Métodos *Ad hoc* ou *Delphi*)

Imediatamente superior correspondente

MODELO SUCENA

PARA HIERARQUIZAÇÃO DE COMPONENTES CRÍTICOS

9º Passo

Reavaliação dos pesos após tempo determinado

N

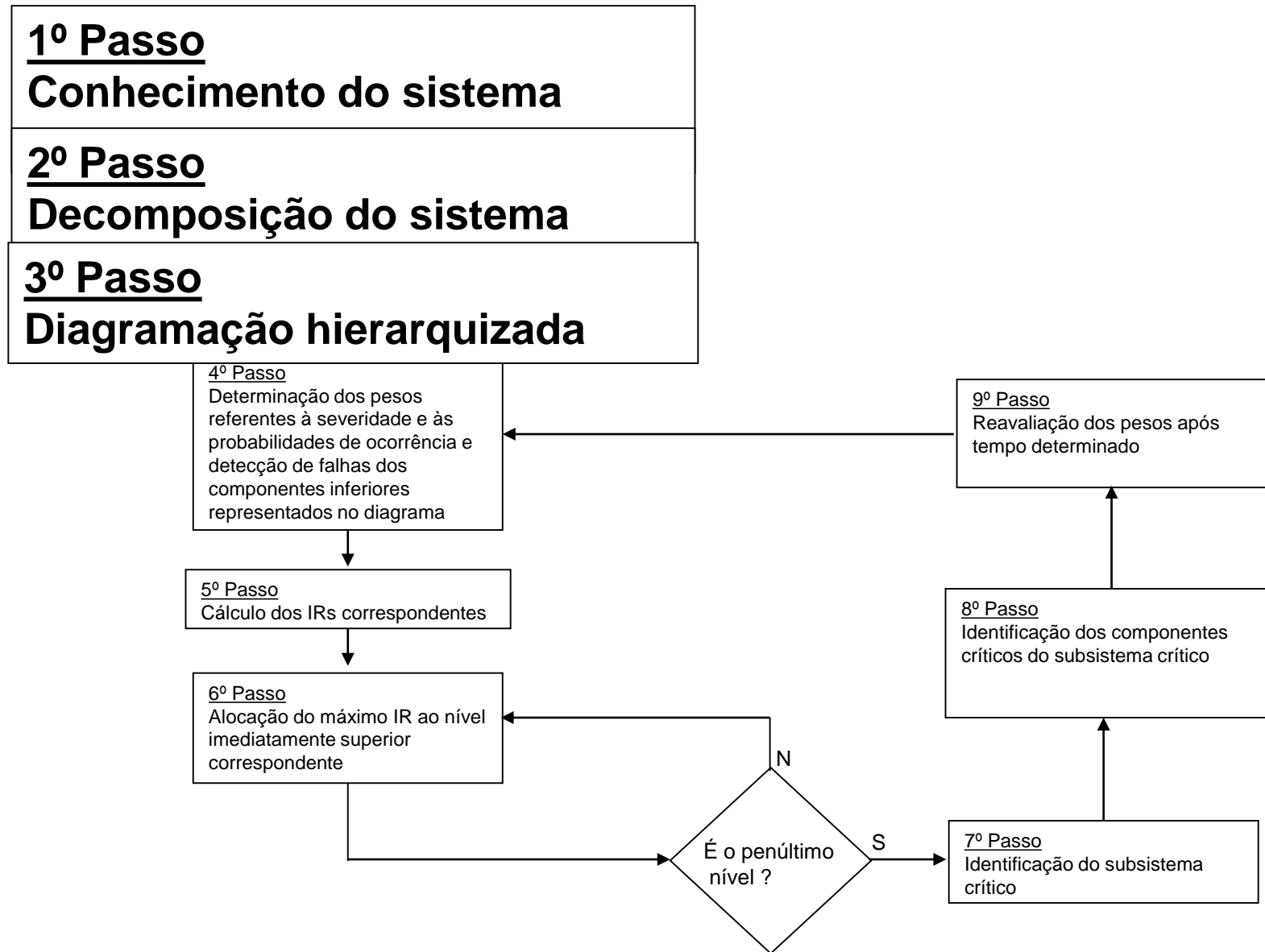
Nº Passo

Identificação dos componentes críticos do subsistema crítico

É o penúltimo nível ?

S

Identificação do subsistema



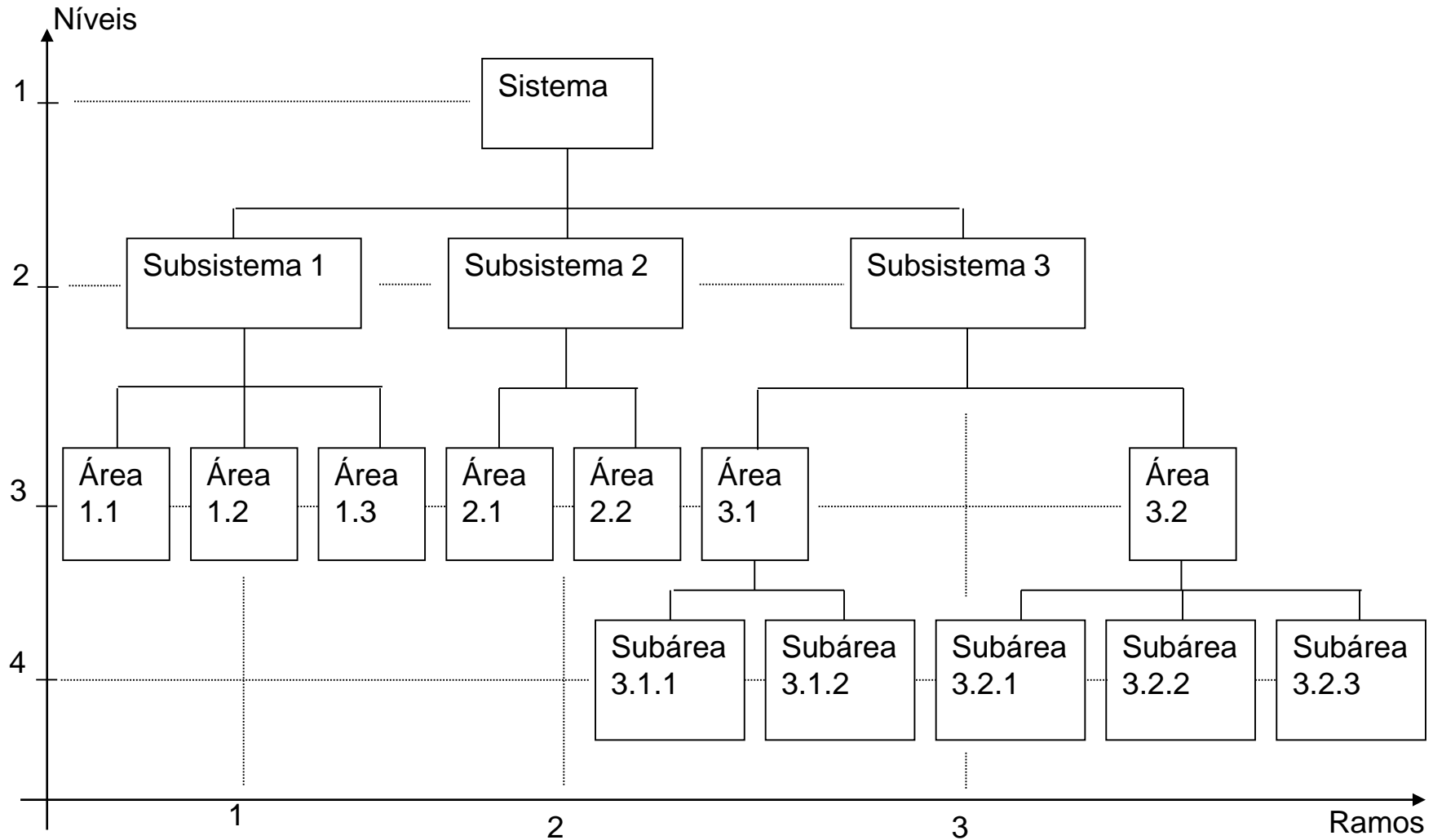
1º Passo – Conhecimento do sistema

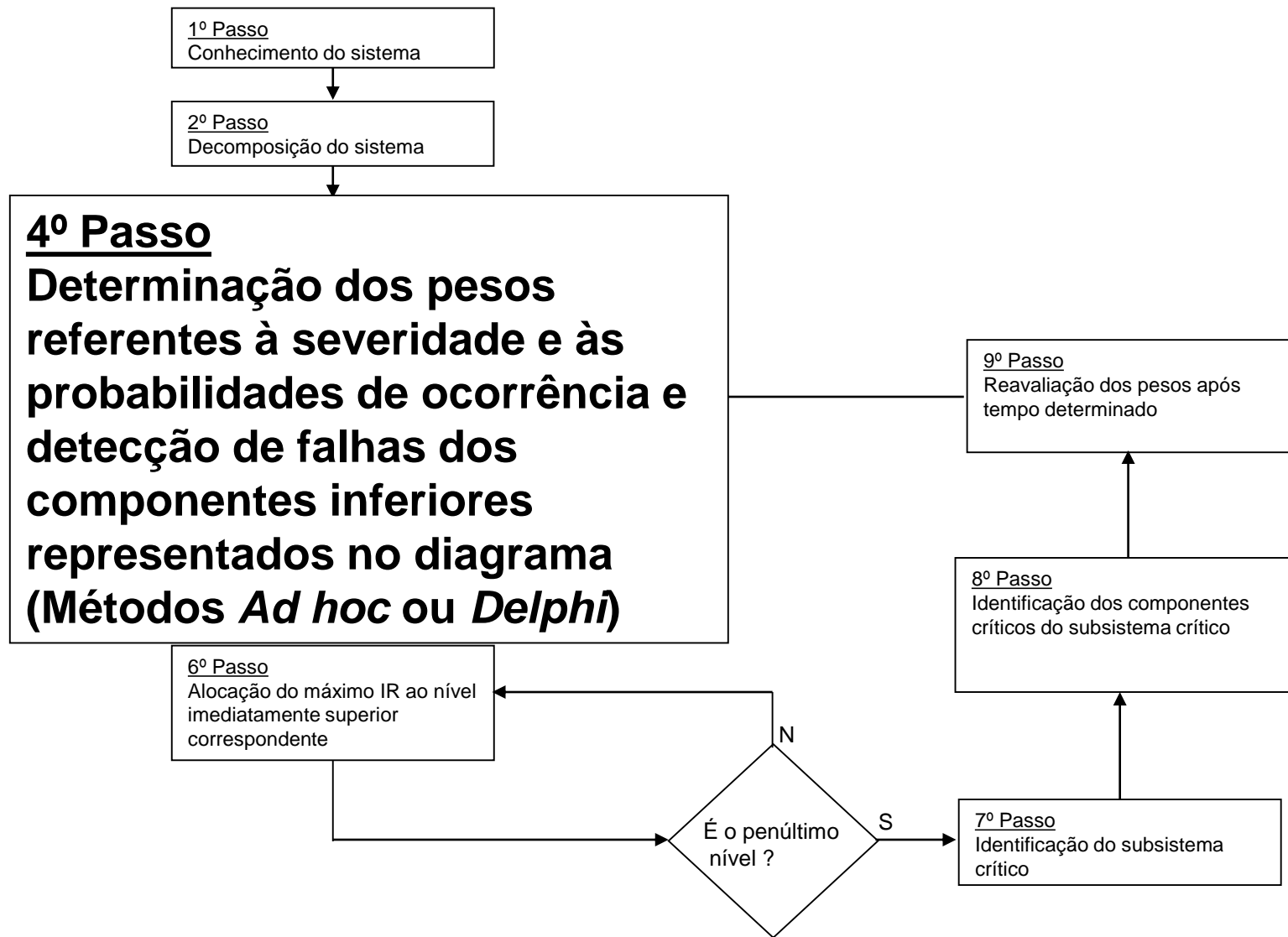
Definição dos objetivos e metas operacionais do sistema sob análise, contemplando suas importâncias ambiental e social.

2º Passo – Decomposição do sistema

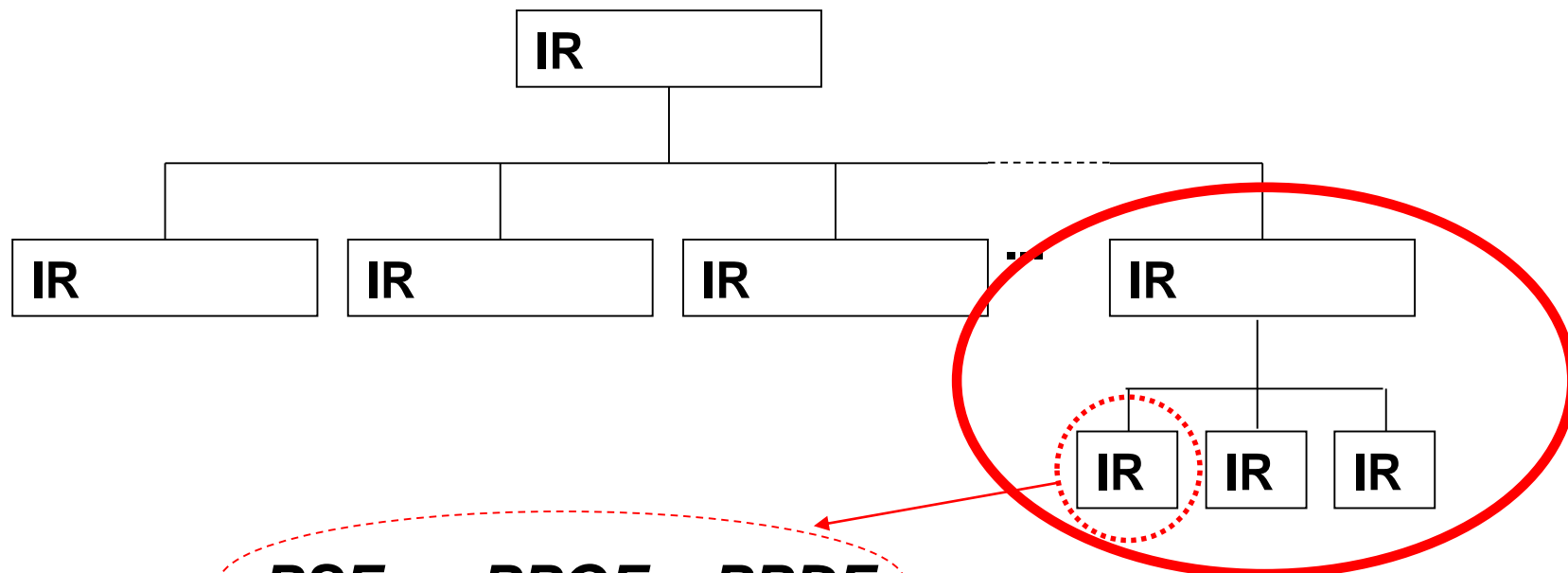
Decomposição do sistema e definição de cada um dos seus subsistemas e respectivos componentes, com suas características técnicas e operacionais. Caracterização das possíveis falhas, suas consequências ou severidades e probabilidades de ocorrência e detecção das mesmas.

3º Passo – Exemplo de Diagramação Hierarquizada

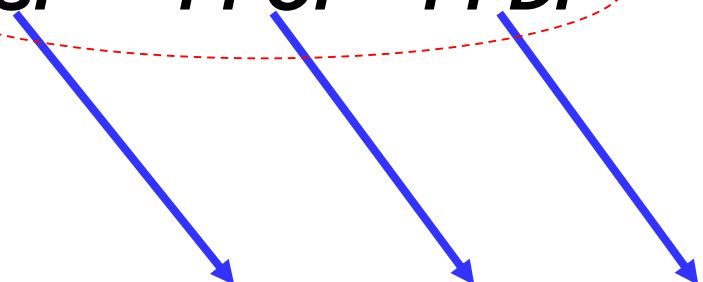




Inicia-se pela análise do diagrama hierarquizado identificando o ramo com maior número de níveis.



PSF ***PPOF*** ***PPDF***



Peso que representa a probabilidade de ocorrência da falha

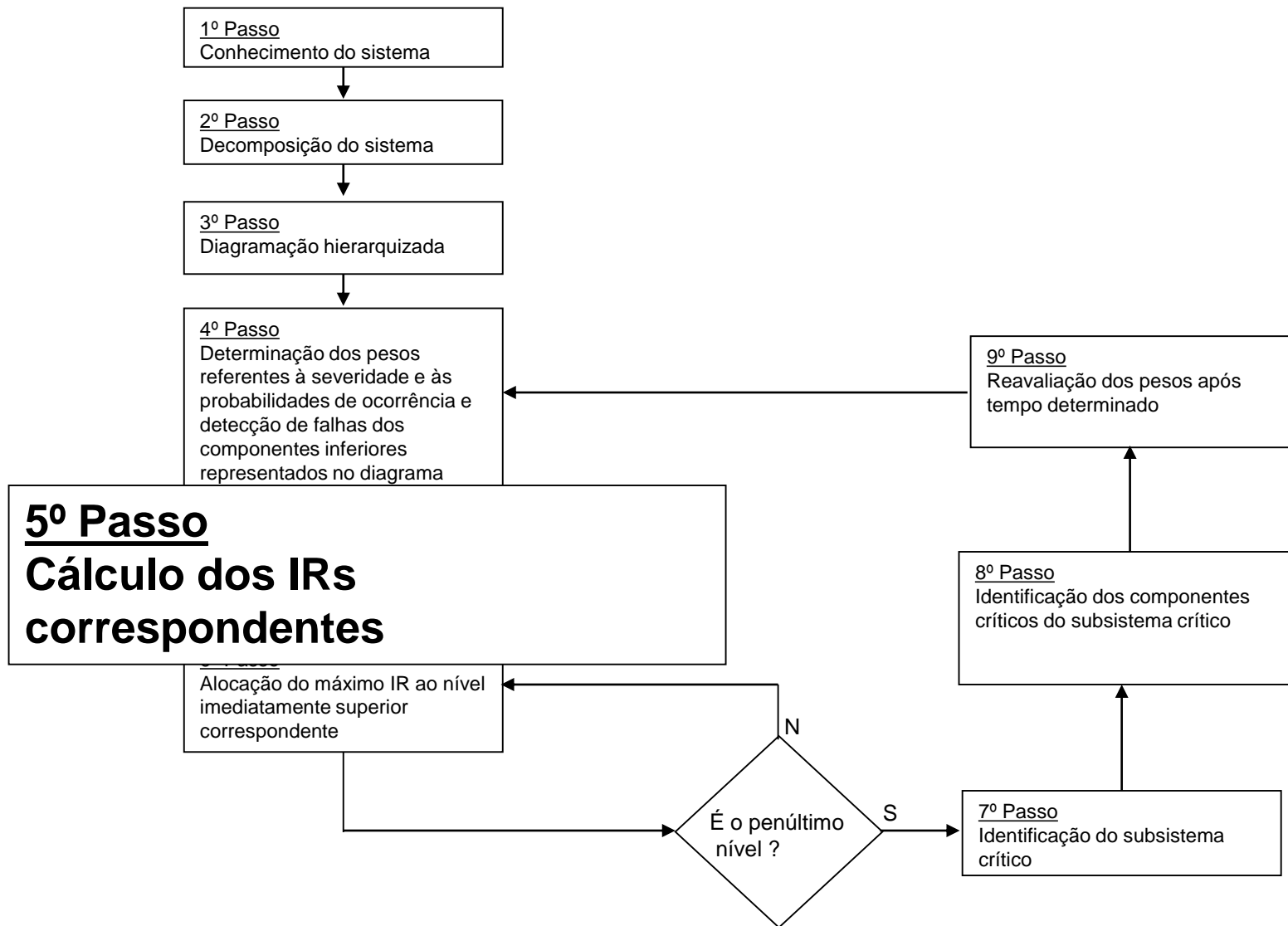
Classificação	Severidade	PSF
Nenhuma	A falha não tem efeito real no sistema não afetando o usuário	1
Leve	A falha causa leves transtornos ao cliente não afetando o nível de serviço do sistema	2
Baixa	A falha causa pequenos transtornos ao cliente afetando pouco o nível de serviço do sistema	3
Moderada	A falha causa relevantes transtornos ao cliente afetando o nível de serviço do sistema	4
Média	A falha causa relevantes transtornos ao cliente deixando-o desconfortável, degradando o nível de serviço do sistema	5
Média/Alta	A falha causa irritação ao cliente deteriorando sensivelmente o nível de serviço	6
Alta	A falha causa alto grau de insatisfação ao cliente devido ao nível de deterioração do nível de serviço. Não envolve riscos à segurança dos usuários nem descumprimento dos requisitos legais	7
Muito Alta	A falha envolve alto risco à segurança dos equipamentos e leve risco à segurança dos usuários, não causando descumprimento de requisitos legais	8
Altíssima	A falha envolve alto risco à segurança operacional e dos usuários causando descumprimento legal de requisitos legais.	9
Grave	A falha promove acidente com graves proporções.	10

Classificação da Probabilidade de Ocorrência		Taxa de Falhas	PPOF
Remota	A falha é improvável	<1 falha em 106 horas	1
Baixa	Poucas falhas	1 falha entre 106 e 20.000 horas	2
		1 falha entre 20.000 e 4.000 horas	3
Moderada	Falhas ocasionais	1 falha entre 4.000 e 1.000 horas	4
		1 falha entre 1.000 e 400 horas	5
		1 falha entre 400 e 80 horas	6
Alta	Falhas repetitivas	1 falha entre 80 e 40 horas	7
		1 falha entre 40 e 20 horas	8
Muito Alta	Falhas quase inevitáveis	1 falha entre 40 e 8 horas	9
		1 falha entre 8 e 2 horas	10

Classificação da Probabilidade de Detecção		PPDF
Muito Alta	A falha é detectada durante o projeto, fabricação, montagem ou na operação	1
Alta	A falha é detectada durante a fabricação, montagem ou na operação	2
Média/Alta	A falha é detectada pela montagem ou pelos processos de controle na operação	3
Moderada	A falha é detectada pelos processos de controle na operação	4
Média	Existe 50% de chance da falha ser detectada na operação	5
Média/Baixa	Há possibilidade de detecção da falha pelos processos de controle na operação	6
Baixa	Há alguma possibilidade de detecção da falha pelos processos de controle operacionais	7
Muito Baixa	É improvável a detecção da falha pelos processos de controle na operação	8
Baixíssima	Os sistemas de controle na operação não estão apropriados para detecção da falha	9
Não detectável	A falha não será detectada com certeza	10

4º Passo – Exemplo de Alocação de Pesos

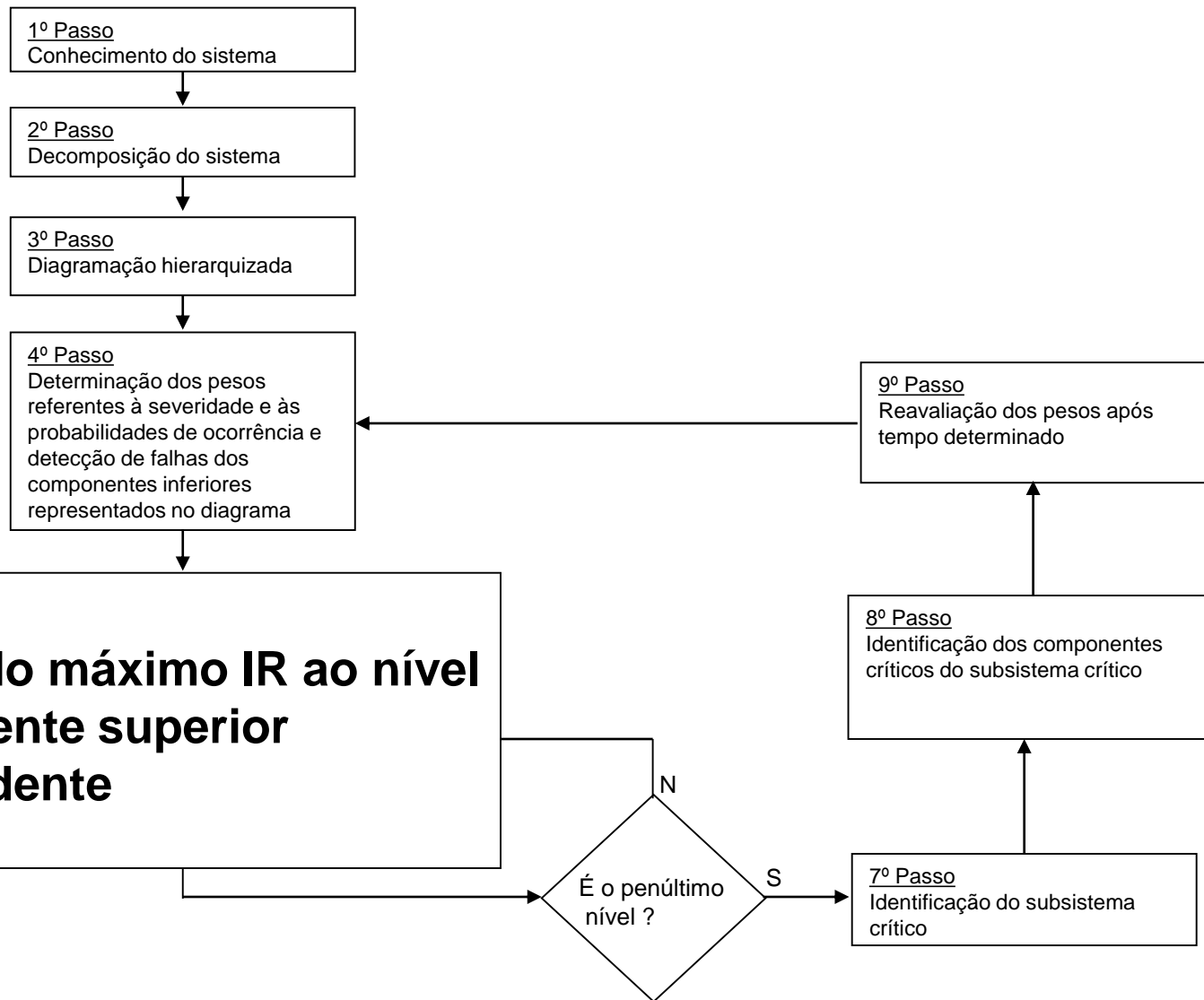
Nível 2	Nível 3	Nível 4	DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	PSF	PPOF	PPDF
X			SUBSISTEMA 3			
	X		ÁREA 3.1			
		X	SUBÁREA 3.1.1	10	3	1
		X	SUBÁREA 3.1.2	6	2	1
	X		ÁREA 3.2			
		X	SUBÁREA 3.2.1	5	2	2
		X	SUBÁREA 3.2.2	10	2	2
		X	SUBÁREA 3.2.3	3	8	4



5º Passo – Cálculo dos IRs

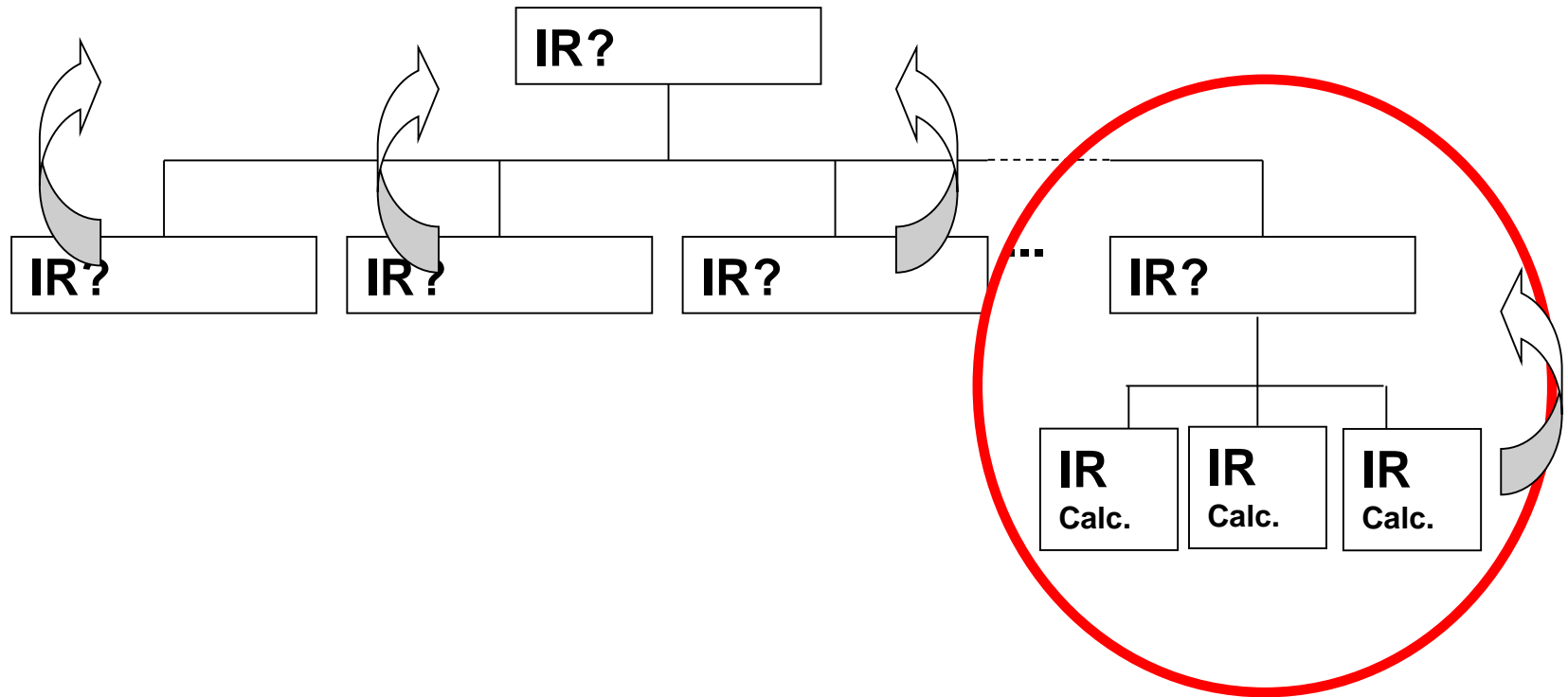
$$IR = PSF \times PPOF \times PPDF$$

Nível 2	Nível 3	Nível 4	DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	PS F	PPO F	PPD F	IR
X			SUBSISTEMA 3				
	X		ÁREA 3.1				
		X	SUBÁREA 3.1.1	10	3	1	30
		X	SUBÁREA 3.1.2	6	2	1	12
	X		ÁREA 3.2				
		X	SUBÁREA 3.2.1	5	2	2	20
		X	SUBÁREA 3.2.2	10	2	2	40
		X	SUBÁREA 3.2.3	3	8	4	96

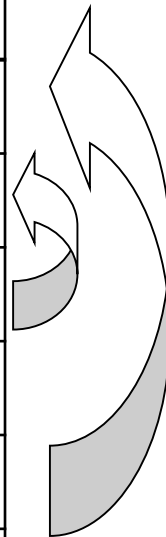


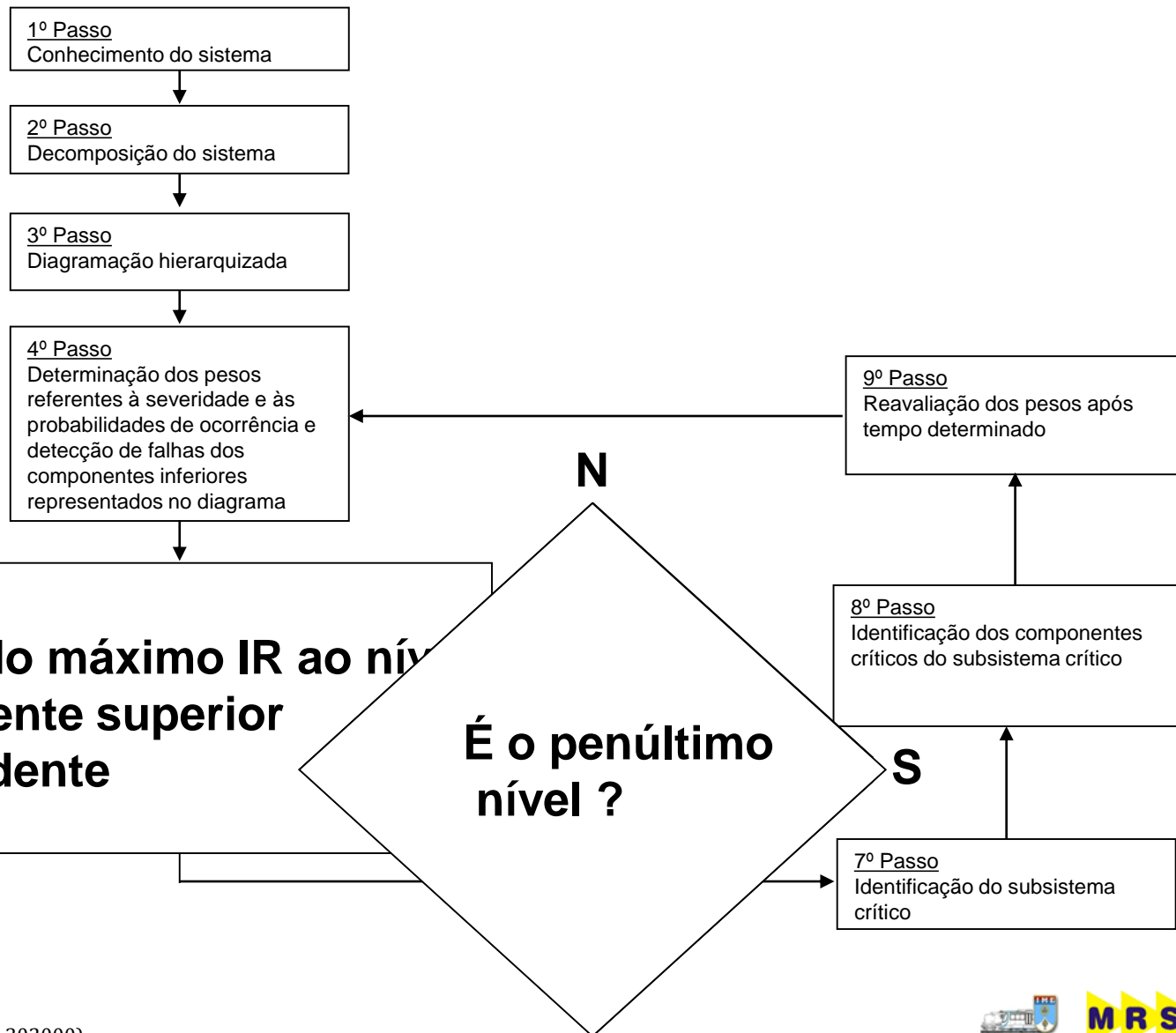
6º Passo
Alocação do máximo IR ao nível
imediatamente superior
correspondente

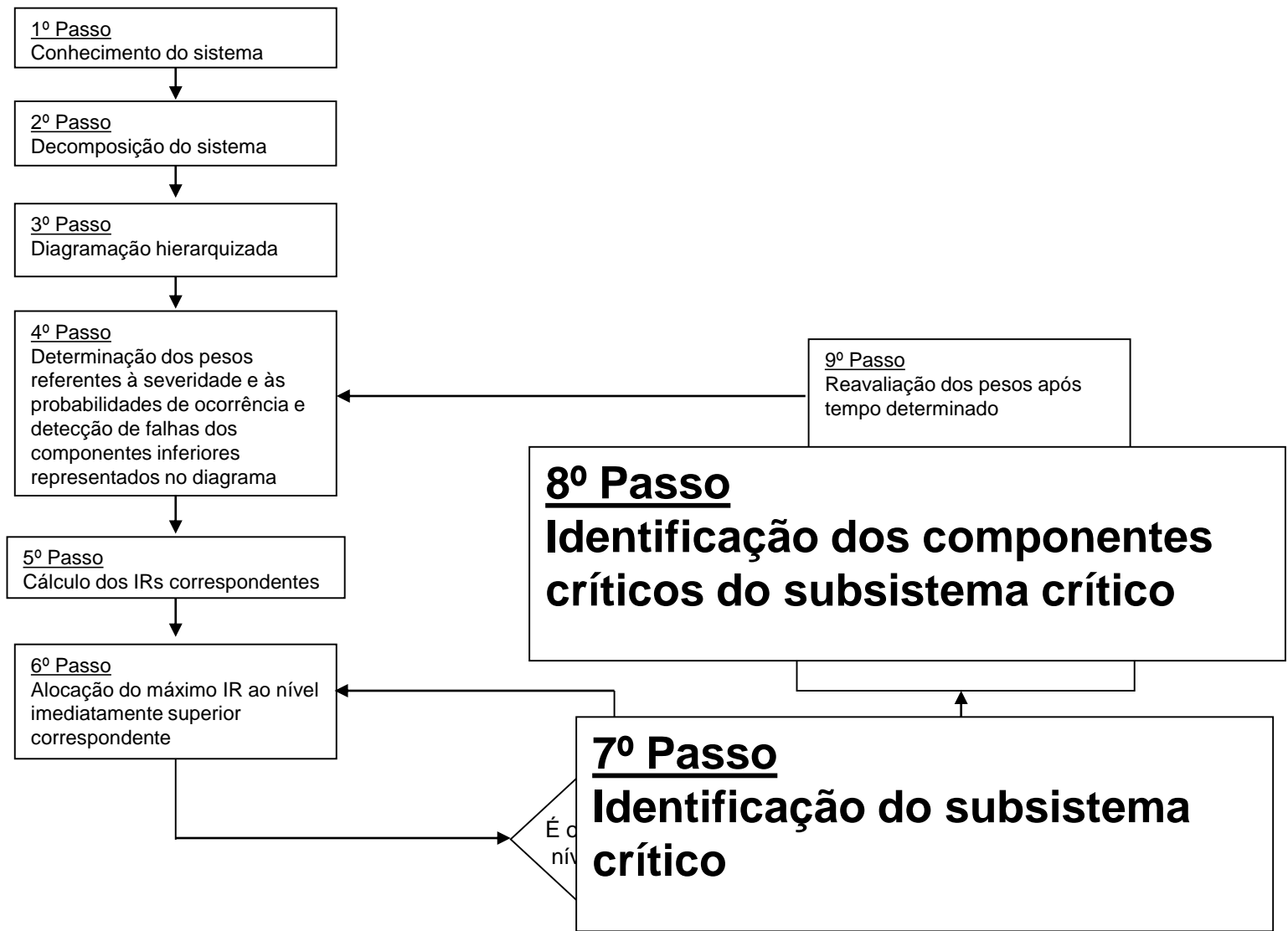
Inicia-se pela análise do diagrama hierarquizado identificando o **ramo com maior número de níveis.**



Nível 2	Nível 3	Nível 4	DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
X			SUBSISTEMA 3				96
	X		ÁREA 3.1				30
		X	SUBÁREA 3.1.1	10	3	1	30
		X	SUBÁREA 3.1.2	6	2	1	12
	X		ÁREA 3.2				96
		X	SUBÁREA 3.2.1	5	2	2	20
		X	SUBÁREA 3.2.2	10	2	2	40
		X	SUBÁREA 3.2.3	3	8	4	96







7º e 8º Passos – Identificação dos Componentes do Subsistema Crítico

DESCRIÇÃO DOS COMPONENTES DO SUBSISTEMA 3 (IR = 96)	IR
<i>SUBÁREA 3.2.3</i>	96
SUBÁREA 3.2.2	40
SUBÁREA 3.1.1	30
SUBÁREA 3.2.1	20
SUBÁREA 3.1.2	12

CONSIDERAÇÕES IMPORTANTES

- ✓ **Aplicação nas fases de projeto e de operação;**
- ✓ **Sistemas Complexos;**
- ✓ **Visão Holística;**
- ✓ **Subsidia a aplicação de modelos para alocação de recursos;**
- ✓ **Pode-se avaliar outros requisitos para composição do índice de risco;**
- ✓ **Por técnica específica, deve-se analisar as causas da criticidade dos componentes.**

5) Exercício Proposto

Aplicar a técnica anterior para avaliar a criticidade de um dos sistemas a seguir:

- ✓ **Grade ferroviária (trilho, dormentes e fixações);**
- ✓ **Freio de vagão plataforma;**
- ✓ **Circuito de via;**
- ✓ **Suprimento de energia elétrica.**

Obrigado!

*LABFER - Laboratório para Ensino e Pesquisa de Engenharia
Ferroviária no Estado do Rio de Janeiro*

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
Praça General Tibúrcio, 80 - Praia Vermelha. CEP: 22.290-270 Rio de
Janeiro – RJ. Telefone: (21) 3820-4199. www.ime.eb.br

