



---

---


---

---


---

---

---



### Plano de Ensino



- Introdução: Conceitos e Definições.
- Processos, Comunicação e Sincronização de Sistemas Distribuídos.
- Pseudo-Paralelismo
- Processamento Paralelo e Multiprocessadores.
- **Tolerância a falhas.**
- Aplicações Distribuídas: Socket.
- Objetos Distribuídos: RMI.

---

---


---

---


---

---

---



### Livro-Texto



- Bibliografia Básica:
  - » TANENBAUM, Andrew S; STEEN, Maarten Van. Sistemas Distribuídos : Princípios e Paradigmas. 2ª Ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- Bibliografia Complementar:
  - » DANTAS, Mario. Computação Distribuída de Alto Desempenho : redes, clusters e grids computacionais. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Axcel Books, 2005.
  - » SILBERSCHATZ, Abraham; GALVIN, Peter Baer; GAGNE, Greg. Sistemas Operacionais - Conceitos e Aplicações. 1ª Ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Introdução



- Capacidade de manter o serviço desejado mesmo na presença de falhas.
- Evitar que o usuário do serviço seja o componente tolerante a falhas do sistema.
- Motivação para tolerância a falhas:
  - » Componentes de hardware cada vez mais confiáveis.
  - » Falha ocorre geralmente no software.
- Contras:
  - » Software e projeto cada vez menos confiáveis.
  - » Sistemas cada vez mais complexos.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Introdução



- Desafios atuais:
  - » bugs no projeto de hardware e software: altíssima complexidade dos sistemas.
  - » paralelismo em alta escala: uso de novas tecnologias (não provadas).
  - » sistemas distribuídos: para sistemas críticos.
  - » para operação em tempo real: computadores móveis
    - baixa potência → difícil usar replicação de componentes.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Introdução



- Causas usuais de Defeitos em TI:

Defeitos	Sistemas Tradicionais		Sistemas C/S
	Não TF	TF	Não TF
	Indisponibilidade média: 2,5 horas		Disponibilidade média: 98%
Hardware	50%	8%	16%
Software	25%	65%	60%
Operação	10%	10%	24%
Comunicação/Ambiente	15%	7%	16%

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Falha/Erro/Defeito



- Estado errôneo (ou erro) → se processamento posterior pode levar a defeito.
- Falha → causa física ou algorítmica do erro.
- Falhas podem ser toleradas, defeitos não.

***fault → error → failure***



---

---

---

---

---

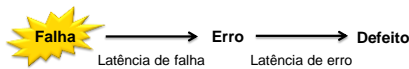
---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Falha/Erro/Defeito



- Latência de falha → período de tempo desde a ocorrência da falha até a manifestação do erro devido aquela falha.
- Latência de erro → período de tempo desde a ocorrência do erro até a manifestação do defeito devido aquele erro.



---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Falha/Erro/Defeito



- Confiabilidade sempre foi um problema de engenharia, assim falhas físicas, que afetam diretamente o hardware, tradicionalmente vem recebendo atenção especial.
- Falhas são inevitáveis.
  - » Falhas físicas → permanentes ou temporárias (intermitentes ou transitórias).
  - » Humanas → falhas de projeto ou interação (intencionais ou não intencionais)

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Falha/Erro/Defeito



- Causas de falhas:
  - » Problemas de especificação.
  - » Problemas de implementação.
  - » Componentes defeituosos:
    - Imperfeições de manufatura.
    - Fadiga.
  - » Distúrbios externos:
    - Radiação, interferência eletromagnética, variações ambientais (temperatura, pressão, umidade), problemas de operação.
  - » Descrição de falhas:
    - Natureza → falha de hardware, falha de software, etc.
    - Duração → permanente ou temporária.
    - Extensão → local a um módulo ou global.
    - Valor → determinado ou indeterminado no tempo.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Objetivos de TF



- Dependabilidade (dependability) →
  - » Qualidade do serviço fornecido por um dado sistema
  - » Confiança no serviço fornecido
  - » Atributos (medidas) →
    - Confiabilidade, disponibilidade, segurança (safety), manutenibilidade, testabilidade, performabilidade, etc.
    - Segurança (security) também é considerada por alguns autores como atributo de dependabilidade.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Objetivos de TF



- Confiabilidade (reliability) → capacidade de atender à especificação:
  - » dentro de condições definidas;
  - » durante certo período de funcionamento e;
  - » condicionado a estar operacional no início do período.
  - » Falha é um fenômeno aleatório →
    - probabilidade que um sistema funcione corretamente durante um intervalo de tempo  $[t_0, t]$ 
      - probabilidade condicional (deve estar operacional em  $t_0$ ).
    - $R(t) = P \{ X > t \}$ ; onde  $X$  = tempo sem falhas de um sistema e  $t$  = tempo de funcionamento ou duração da missão.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Objetivos de TF



- » A confiabilidade é mais usada como medida em:
  - Sistemas em que mesmo curtos períodos de operação incorreta são inaceitáveis.
  - Sistemas em que reparo é impossível.
  - Exemplos:
    - Aviação → intervalo de tempo: 10 a 12 horas
    - Exploração espacial → intervalo de tempo: 10 anos

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Objetivos de TF



- **Disponibilidade (*availability*) →**
  - » probabilidade do sistema estar operacional no instante de tempo  $t$
  - » alternância de períodos de funcionamento e reparo
    - Um sistema pode ser altamente disponível mesmo apresentando períodos de inoperabilidade desde que esses períodos sejam curtos
  - » Disponibilidade e confiabilidade são os atributos mais conhecidos e usados, muitas vezes aparecem como sinônimos de dependabilidade.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Objetivos de TF



- **Segurança (*safety*) →** probabilidade do sistema:
  - » De estar operacional e executar sua função corretamente.
  - » Descontinuar suas funções de forma a não provocar dano a outros sistema ou pessoas que dele dependam.
  - » Medida da capacidade *fail-safe* do sistema.
  - » Não está relacionado diretamente a *security*.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Objetivos de TF



- **Performance (*performability*)** → relacionado a queda de desempenho provocada por falhas.
  - » Sistema continua a operar, mas com queda de desempenho.
  - » *Graceful degradation*: degradação suave ou degradação gradual.
  - »  $P(L, t)$  → probabilidade que o desempenho do sistema seja no mínimo  $L$  no instante de tempo  $t$ .

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Objetivos de TF



- **Manutenabilidade** → facilidade de realizar a manutenção do sistema:
  - » Quantitativamente: probabilidade que um sistema com defeitos seja restaurado a um estado operacional dentro de um período  $t$ .
  - » Restauração:
    - localização do problema;
    - reparo físico;
    - colocação em operação.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Objetivos de TF



- **Testabilidade** →
  - » Capacidade de testar certos atributos internos ao sistema.
  - » Facilidade de realizar certos testes.
  - » Relacionada a manutenabilidade:
    - A testabilidade aumenta a manutenabilidade.
  - » Testes:
    - Manuais;
    - Automáticos.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Aplicações de TF



##### ▪ Computação crítica →

» Aplicações críticas: segurança humana, proteção de equipamento ou segurança do meio ambiente.

» Áreas:

- controle de tráfego aéreo;
- sistemas militares;
- sistemas aeroespaciais;
- controle de plantas industriais.

##### ▪ Sistemas com Longevidade →

» Sistemas que necessitam de longevidade para operacionalizar uma determinada tarefa.

» Áreas:

- Satélites e sondas espaciais: média de 10 anos de missão; após isso possuem probabilidade de 0,95% de estar operacional.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Aplicações de TF



##### ▪ Alta Disponibilidade →

» Aplicações que exigem alta disponibilidade; ou seja, precisam estar em operação (on-line) a maior parte do tempo.

» Áreas:

- transações financeiras e comerciais;
- sistemas de reservas internacionais;
- aplicações na Internet (e-Commerce).

##### ▪ Manutenção difícil ou impossível →

» Sistemas que operam em situações críticas ou lugares inacessíveis, gerando alto custo de manutenção.

» Áreas:

- aplicações espaciais;
- aplicações de pesquisa: tufão, vulcão.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Dependabilidade



▪ É a propriedade que define a capacidade dos sistemas computacionais de prestar um serviço que se pode justificadamente confiar.

» Entre os atributos estão: confiabilidade, segurança (*safety*), disponibilidade e manutenibilidade.

» Técnicas para alcançar dependabilidade → depende de decisões de projeto desse sistema:

- Necessidade do emprego de técnicas de projeto adequadas.
- Nem todas as técnicas estão relacionadas a TF.
  - Exemplo 1: bons componentes podem levar a uma boa confiabilidade dos sistema.
  - Exemplo 2: bom projeto de software pode levar a um software mais confiável.

---

---

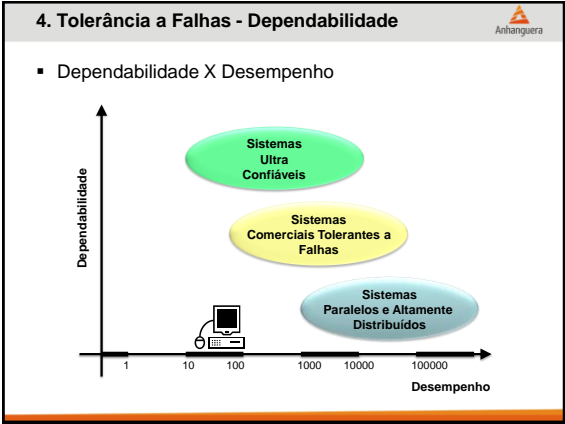
---

---

---

---

---



---

---

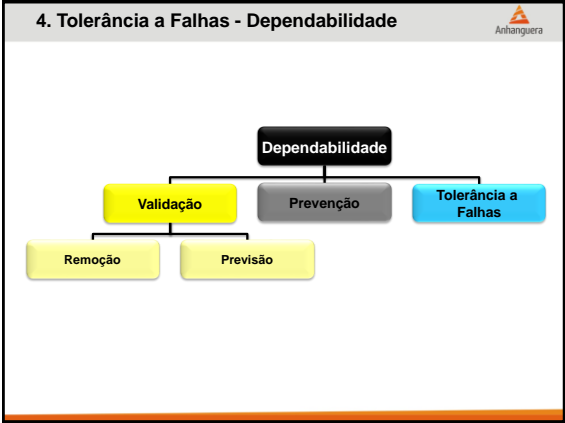
---

---

---

---

---



---

---

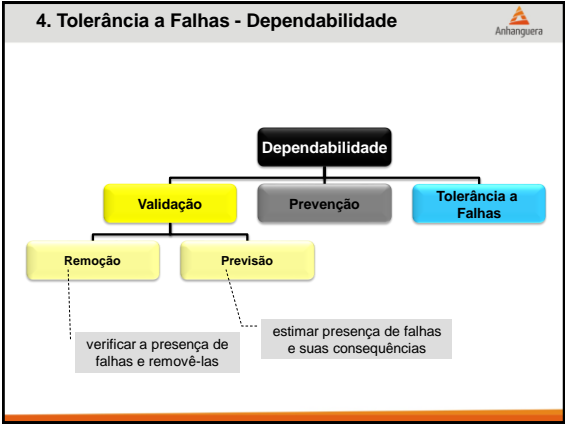
---

---

---

---

---



---

---

---

---

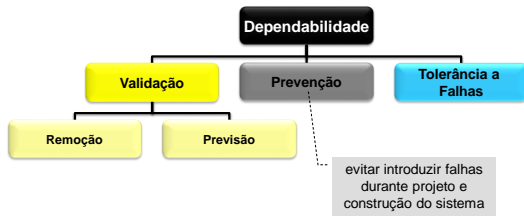
---

---

---



#### 4. Tolerância a Falhas - Dependabilidade



---

---

---

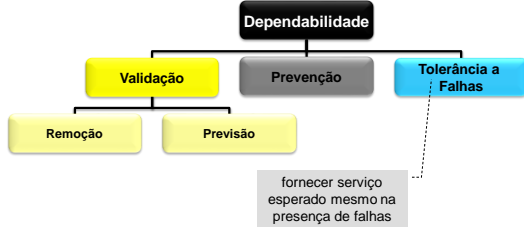
---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Dependabilidade



---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF



- Prevenção e remoção de falhas não são suficientes quando o sistema exige:
  - » alta confiabilidade ou,
  - » alta disponibilidade.
- Técnicas de TF exigem:
  - » componentes adicionais;
  - » algoritmos especiais.



---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF



- Mascaramento → falhas são mascaradas e não chegam a provocar defeito.
- Detecção, localização e recuperação →
  - » erros (ou falhas) devem ser inicialmente detectados;
    - no universo físico → falha;
    - no universo da informação → erro.
  - » o sistema entra em um estado de tratamento de exceção até poder voltar a operação normal.

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF



- Classificação:
  - » 4 fases (Anderson & Lee):
    - detecção
    - confinamento e avaliação
    - recuperação
    - tratamento da falha



---

---

---

---

---

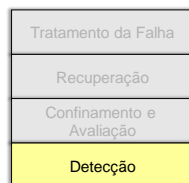
---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF



- **Detecção →**
  - » Duplicação e comparação.
  - » Testes de limites de tempo:
    - Time-out, cão de guarda (watchdog timers)
  - » Testes reversos.
  - » Codificação.
  - » Teste de razoabilidade:
    - limites ou compatibilidades.
  - » Testes estruturais:
    - consistência.
  - » Diagnóstico.



---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF



##### ▪ Confinamento e Avaliação →

- » Latência de falha → pode provocar espalhamento de dados inválidos.
- » Confinamento → estabelece limites para a propagação do dano.
- » *Confinamento e avaliação dependem de decisões de projeto do sistema.*
- » Mecanismos de Confinamento e Avaliação:

- Confinamento:
  - restrições ao fluxo de informações;
  - evitar fluxos acidentais;
  - estabelecer interfaces de verificação para detecção de erros.
- Avaliação dos danos:
  - estática: projeto inicial e hardware;
  - dinâmica: execução e software.



---

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF



##### ▪ Exemplos de Confinamento e Avaliação:

- » ações atômicas:
  - operações primitivas auto encapsuladas;
  - sem efeitos secundários.
- » isolamento de processos:
  - tudo que não é permitido é proibido.
- » hierarquia de processos:
  - clareza conceitual.
- » controle de recursos.

---

---

---

---

---

---

---

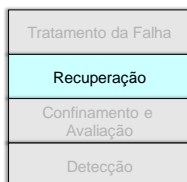
---

#### 4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF



##### ▪ Recuperação de Erros →

- » Troca do estado atual incorreto para um estado livre de falhas:
  - pode ser um estado anterior, livre de falhas do sistema;
  - pode ser um novo estado;
  - em último caso, pode ser o estado inicial.
- » Ocorre após detecção.
- » Tipos de Recuperação:
  - Retorno → retorna para uma posição que havia sido declarada como segura antes da execução inicial.
  - Avanço → troca o estado de execução para um estado posterior sem erro.



---

---

---

---

---

---

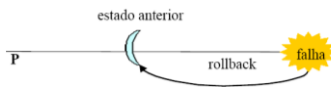
---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF



##### » Retorno



##### » Avanço



---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF



##### ▪ Retorno (*backward error recovery*) →

- » Condução a **estado anterior** consistente.
- » Alto custo mas de aplicação genérica.
- » Exemplo de técnica de recuperação por retorno → pontos de verificação (*checkpoints*):
  - mais simples;
  - salvamento de todo o estado do sistema periodicamente.

##### ▪ Avanço (*forward error recovery*) →

- » Condução a **novo estado** consistente:
  - ainda não ocorrido desde a última manifestação de erro.
- » Eficiente, mas específica a cada sistema:
  - danos devem ser previstos cuidadosamente.
- » *Mais usadas em sistemas de tempo real, onde o retorno para um estado anterior (no tempo) torna-se inviável.*

---

---

---

---

---

---

---

#### 4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF



##### ▪ Recuperação é simples em um único processo e complexa em processamento distribuído.

- » usualmente retroativa (de retorno);
- » pode provocar efeito dominó:
  - retorno ao início do processamento;
  - problema com mensagens órfãs e perdidas.
- » solução → restrições a comunicação entre processos.

---

---

---

---

---

---

---

4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF

Anhanguera

▪ Tratamento da Falha →

» Localizar a origem do erro (falha):

• localizar a falha de forma precisa;

• reparar a falha;

• recuperar o restante do sistema.

» Hipótese de falha → uma única falha de cada vez.

» Localização da Falha → em 2 fases:

• localização grosseira (módulo ou subsistema): deve ser rápida;

• localização fina: reparos de menor custo.

Tratamento da Falha

Recuperação

Confinamento e Avaliação

Deteção

---

---

---

---

---

---

---

4. Tolerância a Falhas - Técnicas de TF

Anhanguera

» Diagnóstico para localização da falha →

• manual;

• automático (componentes livres de falha são responsáveis pela execução do teste).

» Reparo da falha →

• Remoção do componente defeituoso: manual ou automática.

• Automática: *degradação suave: reconfiguração para operação com menor número de componentes;*

• Auto-reparo: *substituição imediata por componente disponível no sistema*

---

---

---

---

---

---


---

Anhanguera

Aqui o seu esforço ganha força.

Sistemas Distribuídos – Aula 04

[clayton.valdo@anhanguera.com](mailto:clayton.valdo@anhanguera.com)



---

---

---

---

---

---

---

13