

# Sistemas de Tempo Real e Tolerante a Falhas

Eduardo Ferreira dos Santos

Engenharia de Computação  
Centro Universitário de Brasília – UniCEUB

Fevereiro, 2017

## Sumário

1 Introdução

2 Definição

3 Conceitos

1 Introdução

2 Definição

3 Conceitos

# Caixas Eletrônicos

- Como sacar dinheiro em um caixa eletrônico?
  - 1 Inserir o cartão no leitor:
    - 1 Cartão transmite agência e conta;
    - 2 Leitor lê as informações e transmite.
  - 2 Caixa eletrônico verifica o saldo do cliente;
    - 1 Verifica saldo;
    - 2 Autoriza saque.
  - 3 Gavetas de metal contendo notas de valores diferentes:
    - 1 Sistema de correias de borracha conta as notas;
    - 2 Libera o valor solicitado.
  - 4 Sensor ótico
    - 1 Identifica células grudadas e outros erros;
    - 2 Desvia para gaveta diferente cédulas rejeitadas.
  - 5 Opcionalmente manda ordem para imprimir o comprovante.

# Questões Computacionais

- Tem dinheiro na conta?
- O caixa está abastecido?
- Está em horário bancário?



Figura 1.1: Caixa eletrônico por dentro

# Controle de tráfego aéreo

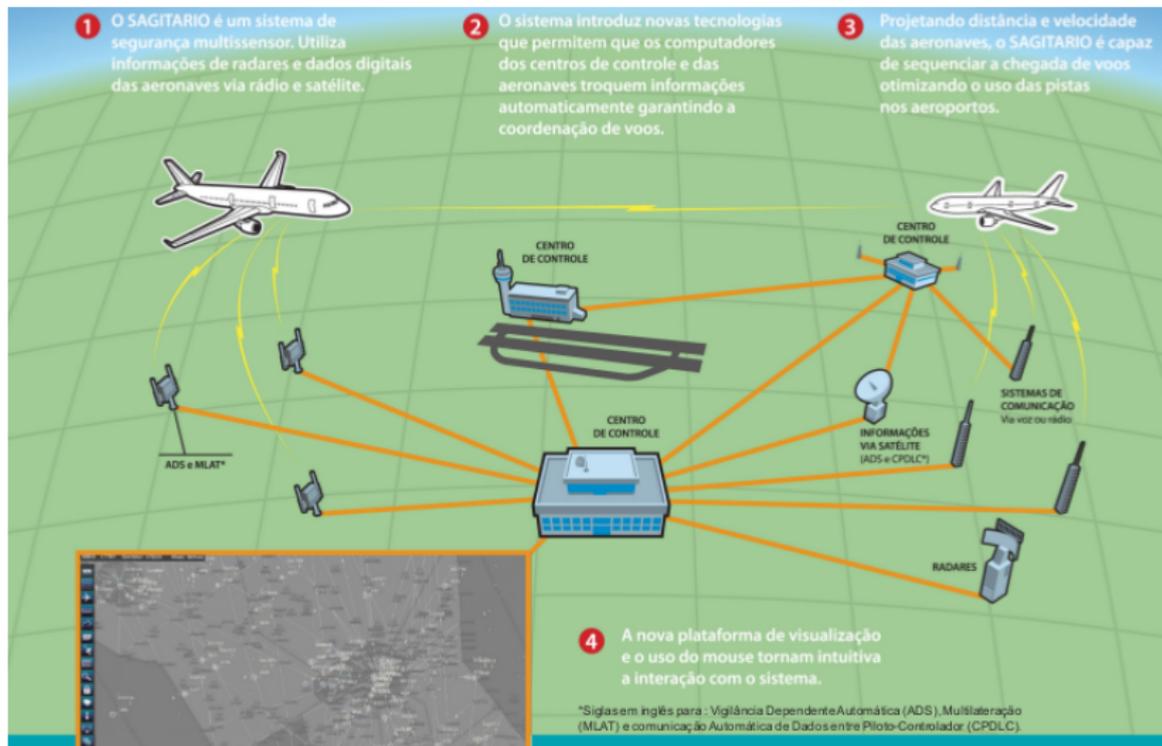


Figura 1.2: Sagitario - Sistema brasileiro de controle de tráfego aéreo

# Questões computacionais

- Qual a velocidade do avião A?
- Qual a velocidade do avião B?
- Qual a altura de ambos?
- De onde vêm as informações?
- Qual deve ser a rota prevista?



Figura 1.3: Mapas de tráfego aéreo

# Justificativa

- Motivação: antedimento de **restrições temporais**;
  - Abertura da cancela do trem;
  - Controle de tráfego aéreo;
  - Sistema bancário eletrônico.
- Um sistema computacional de tempo real implementado com “ferramentas convencionais de verificação e de implementação” [FARINES and MELO, 2000, p.2]:
  - Normalmente não se preocupaa tanto com as restrições temporais;
  - Escalonamento dirigidos a **prioridades**.
- O atendimento às restrições de tempo necessitam de **mecanismos especializados**. Ex.: O relógio do computador é confiável?
- Na prática, contudo, a utilização de mecanismos mais convencionais continua [FARINES and MELO, 2000, p.3], o que pode levar a resultados desastrosos.

1 Introdução

2 Definição

3 Conceitos

# Sistema Computacional

- Mapeamento de entrada e saída

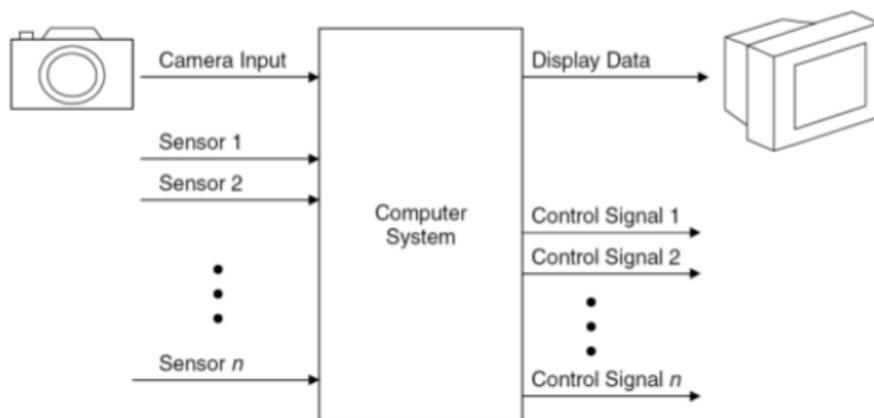


Figura 2.1: Tratamento de mecanismo computacional, entrada e saída [Chagas, 2016]

# Tempo Computacional

- Tempo de resposta: tempo entre o estímulo e a resposta

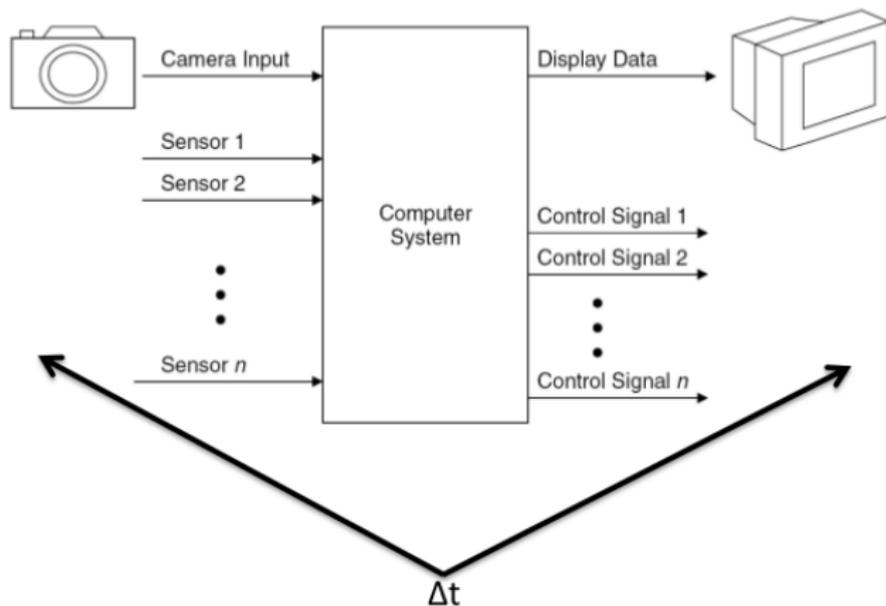


Figura 2.2: Definição de tempo computacional [Chagas, 2016]

# Tempo de CPU

- O tempo de CPU em um sistema computacional pode ser definido de acordo com a Equação 1

$$\text{Tempo de Execução} = \text{Ciclos de clock} \times \text{Tempo de ciclo} \quad (1)$$

- A equação pode ser resumido ao formato da Equação 2:

$$\left[ \frac{\text{segundos}}{\text{programa}} \right] = \left[ \frac{\text{ciclos}}{\text{programa}} \right] \times \left[ \frac{\text{segundos}}{\text{ciclos}} \right] \quad (2)$$

- Os “tiques” de clock indicam quando iniciar as atividades;
- Tempo de ciclo: tempo entre os tiques (segundos por ciclo);
- Pergunta: como aumentar/diminuir o tempo de CPU?

# Tempo de resposta x Tempo de CPU

- O tempo de CPU **não leva em consideração** o acesso aos dispositivos externos (Entrada e Saída)
- Fatores externos à CPU **podem afetar** o tempo de resposta.
- Qual a quantidade de fatores externos presente na Figura 13?

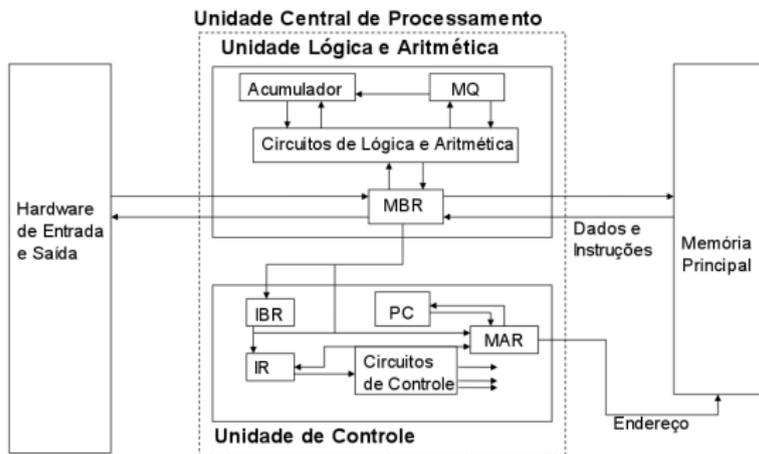


Figura 2.3: Arquitetura de Von Neumann

## Corretude [Chagas, 2016]

- Um sistema falho é um sistema que não pode satisfazer um ou mais dos requisitos estipulados em sua especificação;
- O comportamento correto de um sistema de tempo real depende:  
Correção lógica (correctness) integridade dos resultados obtidos.  
Correção temporal (timeliness) valores de tempo em que são produzidos.
- Uma reação que ocorra além do prazo especificado pode ser inútil ou até representar uma ameaça.

*Um Sistema de Tempo Real deve ser então capaz de oferecer garantias de correção temporal para o fornecimento de todos os seus serviços que apresentem restrições temporais.*

*[FARINES and MELO, 2000]*

# Problemas de corretude



Figura 2.4: Acidente com trens na Alemanha

# Problemas de corretude



Figura 2.5: Acidente da Gol na Amazônia

# Sistemas de Tempo Real [Chagas, 2016]

- Os sistemas de tempo real podem ser classificados conforme a interação em:

## Reativos

- Sistemas cujo escalonamento é dirigido pela interação com seu ambiente.
- Exemplo: Sistema para controle de incêndios que reage ao pressionar de um botão.

## Embarcados

- Fazem partes de sistemas maiores não computacionais.
- Exemplo: controle de injeção de combustível, airbag, freios, etc.

# Classificação [Chagas, 2016]

- Os sistemas de tempo real podem ser classificados conforme o **impacto** gerado por uma falha ao atender seus requisitos de tempo em:

**SRT Tolerantes (Soft Real Time)** Sistema em que o desempenho é degradado mas não resulta em falhas, no caso de não atendimento de suas restrições de tempo.

**STR Rigorosos (Hard Real Time)** Sistema em que uma falha relacionada a um único deadline pode provocar falhas completas do sistema ou até mesmo catástrofes.

**STR Seguros (Firm Real Time)** Sistema em que a perda de poucos deadlines não provocam falha total, no entanto, a perda de uma quantidade muito grande podem provocar falhas completa do sistema ou até mesmo catástrofes

# Exemplos e classificação

Sistema	Tipo de Sistema	Cenário
Máquinas de auto-atendimento	Tolerante	Perda de muitos <i>deadlines</i> não provocarão falhas catastróficas, somente o desempenho é degradado.
Sistema de navegação embutida para controle de robôs autônomos agrícolas.	Seguro	Excessiva perda de <i>deadlines</i> podem fazer que o robô danifique toda uma plantação.
Sistema de controle de armas em caças.	Rigoroso	Perda de um único <i>deadline</i> pode fazer com que o alvo seja perdido.

Figura 2.6: Exemplos e Classificação [Chagas, 2016]

1 Introdução

2 Definição

3 **Conceitos**

# Eventos [Chagas, 2016]

Quanto à Sincronia:

**Eventos Síncronos** Eventos que podem ser previstos no fluxo de controle.  
Exemplo: desvios condicionais.

**Eventos Assíncronos** Acontecem em pontos imprevisíveis do fluxo de controle e causados por fontes externas. Exemplo: interrupção.

Quanto ao Tempo:

**Eventos Periódicos** Eventos que ocorrem em intervalos regulares. Exemplo:  
Um clock que pulsa regularmente a cada 5 segundos.

**Eventos Aperiódicos** Eventos que não ocorrem em intervalos regulares.

**Eventos Esporádicos** Eventos aperiódicos que ocorrem raramente.

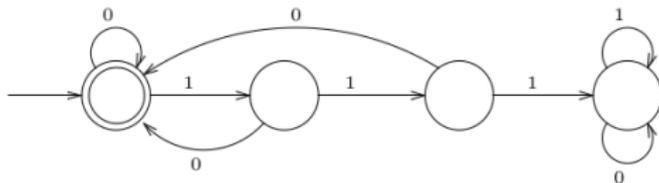
# Determinismo [Chagas, 2016]

- Um sistema é **determinístico** se, para cada possível estado e cada conjunto de **entradas**, um único conjunto de **saídas** e o próximo estado do sistema podem ser determinados.
- Se um sistema é determinístico, todos os **eventos** que o compõem são **determinísticos**.
- Se um sistema determinístico, possui **tempo de resposta** conhecido para cada conjunto de respostas conhecidos, o sistema também possui **determinismo temporal**.

# Exemplos e classificação

## Determinístico

Exatamente uma trajetória sobre uma  $w \in \Sigma^*$ .



## Não-determinístico

Nenhuma, uma ou várias trajetórias sobre uma  $w \in \Sigma^*$ .

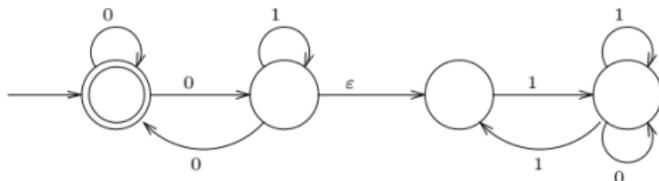


Figura 3.1: Autômatos e máquinas de estado

# Conceitos relacionados

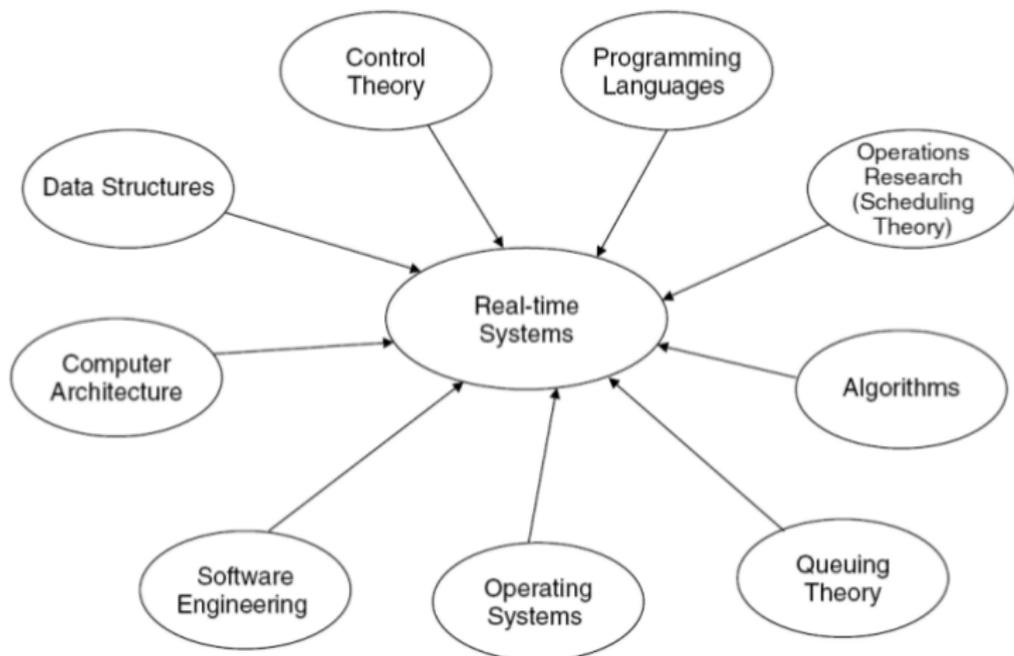


Figura 3.2: Conceitos relacionados na disciplina [Chagas, 2016]

# Questões de projeto

- Problema do tratamento do tempo. Ex.: relógio do computador
- Utilização de sistemas operacionais de tempo real:
  - Um SO tradicional também é um software, e vai ocupar tempo de processamento;
  - Prioridades em SO não respeitam importância relativa;
  - O SO de tempo real respeita os requisitos temporais da aplicação.
- Outras questões:
  - Seleção de hardware e software;
  - Consideração de aspectos temporais no projeto;
  - Tolerância a falhas;

# Tolerância

Característica	STR Rigoroso	STR Tolerante
Tempo de resposta	Requisito alto	Requisito desejável
Desempenho sob alta carga	Previsível	Não previsto
Segurança	Geralmente Crítica	Não Crítica
Tamanho dos dados	Pequeno/médio	Grande
Deteção de erros	Autônoma	Assistida pelo usuário

Figura 3.3: SRT Tolerantes x STR Rigorosos [Chagas, 2016]

# Outras questões [Chagas, 2016]

- Falha-Seguro vs Falha-Operacional
  - Em sistemas do tipo **falha-seguro**, o STR ao falhar entra em um estado seguro.
  - Ex.: Sistema de controle de trens.
  - Em sistemas do tipo **falha-operacional**, o STR ao falhar deve prover um conjunto mínimo de serviços e continuar operacional.
  - Ex.: Sistema de controle de um avião.
- Garantia de Resposta vs Melhor Esforço
  - Em garantia de resposta, o sistema é projetado para sempre cumprir seus deadlines.
  - Em melhor esforço, o sistema faz o melhor possível.

# Equívocos comuns

- Sistemas de tempo real são rápidos
  - O mais importante é atender os requisitos temporais;
  - O desempenho médio não tem importância;
  - Conceito mais importante: previsibilidade.
- Existe uma teoria universal. Logo, não é necessário desenvolver novos sistemas;
- O tema mais importante é escalonamento.

# STR x Convencional

- Reações determinísticas** Não é possível determinar o **tempo médio** de transição entre os estados. Ex.: cancela de ferrovia
- Concorrência** Projetar Sistemas de Tempo Real concorrentes pode ser significativamente mais complexo.
- Confiabilidade e Tolerância a Falhas** Probabilidade de falha. Quanto mais o **custo de falha**, mais **crítico** o sistema.
- Dedicação exclusiva** Sistemas de Tempo Real normalmente possuem todo o hardware software dedicados.

-  Chagas, F. (2016).  
Notas de aula do Prof. Fernando Chagas.
-  FARINES, J. M. and MELO, R. (2000).  
*Sistemas de Tempo Real*, volume 1.  
IME-USP.

**OBRIGADO!!!**  
**PERGUNTAS???**