



PCS5761

Especificação de Sistemas de Tempo Real

Prof. Dr. Jorge Rady de Almeida Jr.



1

Conceitos Básicos



2



O que é um Sistema de Tempo Real?



3

Sistemas de Tempo Real



- ⌘ Parte de um sistema embutido ou de um sistema cyber-físico
- ⌘ Realiza tarefas específicas (não é de propósito geral)
- ⌘ Projetado de acordo com a dinâmica de processos físico/químicos
- ⌘ Grande interação com o ambiente (sensores e atuadores)
- ⌘ Importância crescente da segurança da informação

4



Quais são as principais características de um Sistema de Tempo Real?



5

Sistemas de Tempo Real - Desafios



- ⌚ Comportamento reativo
- ⌚ Operação contínua
- ⌚ Ritmo controlado pelo ambiente externo
- ⌚ Ambiente severo (temperatura, radiação, ...)
- ⌚ Eventos ocorrem em paralelo
- ⌚ Precisa ser predictível
- ⌚ Interação com dispositivos especiais
- ⌚ Grande complexidade

6

Sistemas de Tempo Real

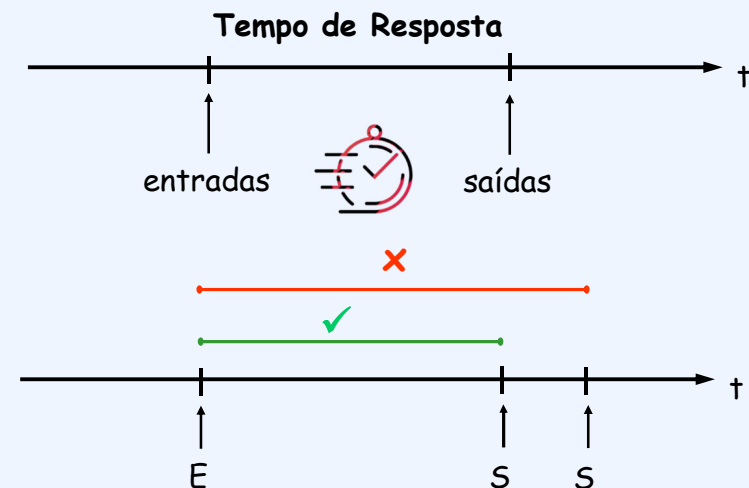


- ⌚ Embutido em diversos sistemas
 - ⌚ Transporte: trens, automóveis, controle de semáforos, aviação, ...
 - ⌚ Trabalho: elevadores, computadores, segurança, dispositivos de impressão, ...
 - ⌚ Pessoal: smartphones, tablets, ...
 - ⌚ Casa: microondas, dispositivos de segurança, TV, video game, câmeras, alarmes, ...



7

Conceitos Básicos



8




STR

Temporização Correta x Resultados Coretos

9


Conceitos Básicos




Resultados ✓ Tempo ?	×	Resultados ✓ Tempo ✓
Sistema Convencional		Sistema de Tempo Real

10

Conceitos Básicos



Complexidade ↑

Sistemas Programáveis Sistemas Distribuídos Sistemas Adaptativos/Dinâmicos
--

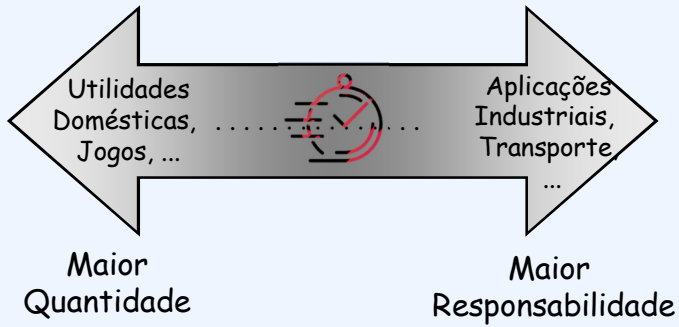
11



STR - aplicações especiais ou aplicações do cotidiano?

12

Conceitos Básicos



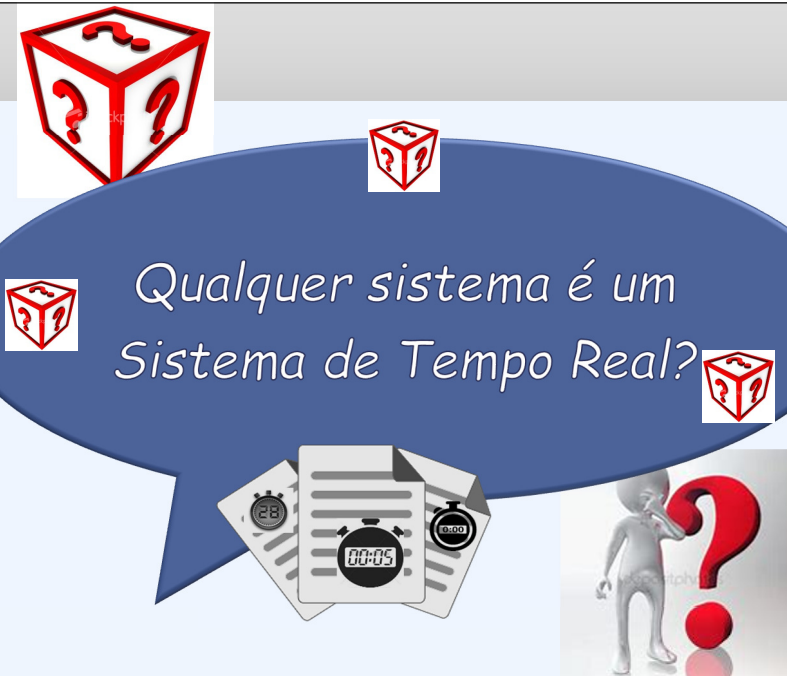
Conceitos Básicos



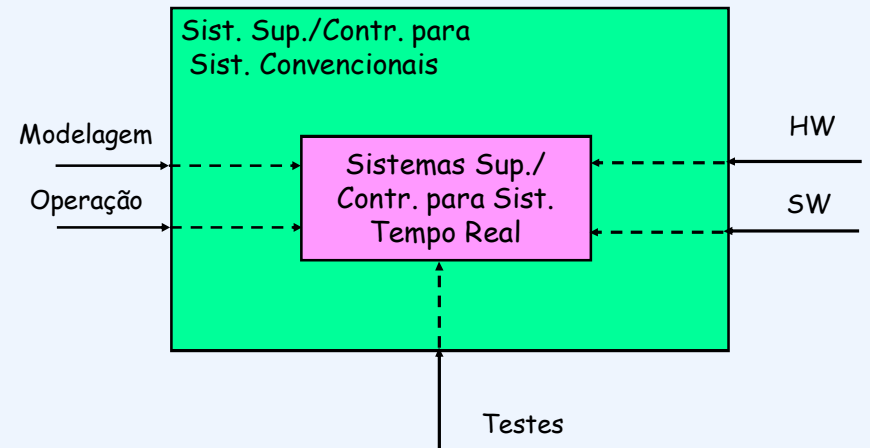
Tempo Denso	X	Tempo Discreto
Tempo Global		Tempo Local
Tempo Absoluto		Tempo Relativo



Qualquer sistema é um Sistema de Tempo Real?



Conceitos Básicos





STR - como estabelecer suas restrições temporais?

17

STR - Restrições Temporais

- Um STR deve satisfazer restrições (explícitas) de tempos de resposta sob o risco de falhar, podendo provocar graves consequências 
- Deadlines: baseados em fenômenos físicos do sistema sob controle 
- Sistemas reativos e embutidos → reação a eventos 

18

Tipos de Eventos

Assíncronos	Interrupções
	Exceções
	Relógio externo
Síncronos	Relógio interno
Periódicos	
Aperiódicos ... Esporádicos	

19



STR - por que o determinismo é importante?

20

Determinismo



• Um sistema é **determinístico** se para cada estado e cada conjunto de entradas, possa ser unicamente determinado o conjunto de saídas e o próximo estado do sistema

• Se em um sistema determinístico for respeitado o tempo para a geração das saídas, o sistema também terá **determinismo temporal**



21



STR - principais parâmetros



22

STR - Parâmetros



- ⌚ Latência para atendimento a solicitações / interrupções
- ⌚ Taxa de transferência de dados
- ⌚ Tempos de Computação
- ⌚ Clock/relógio do sistema
- ⌚ Tempos máximos permitidos - deadlines



23

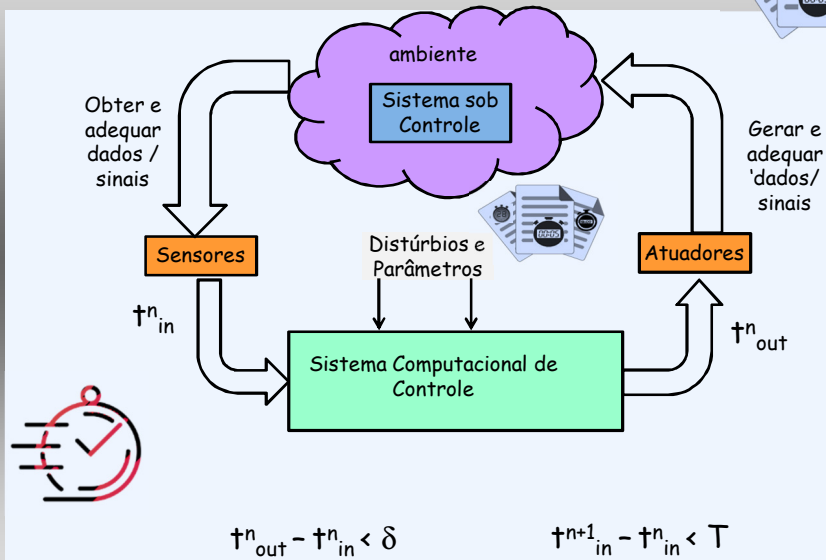
STR - Parâmetros



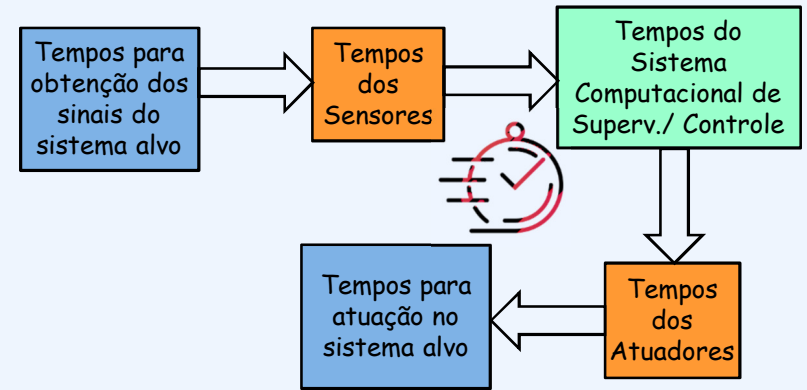
- ⌚ **Requisitos gerais**
 - ⊕ Desempenho (computação geral)
 - ⊕ Temporização
 - ⊕ Consumo de energia
 - ⊕ Custo
 - ⊕ Tamanho e peso
 - ⊕ Segurança e confiabilidade
 - ⊕ Tempo para colocar no mercado
 - ⊕ Novas versões - compatibilidade com evoluções de HW/SW

24

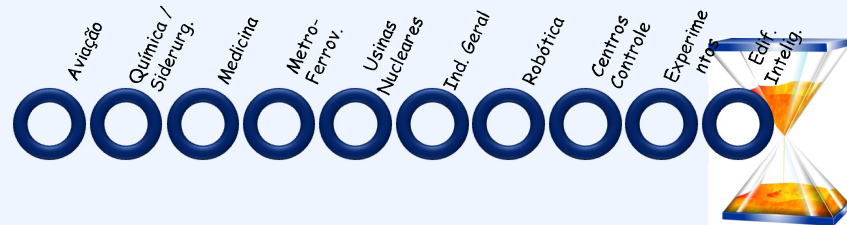
STR e o Sistema sob Controle



STR e o Sistema sob Controle



Aplicações de Sistemas de Tempo Real



Aviação

Indústria Química / Siderúrgica

Tempos para

- Taxas de subida / descida
- Controle de velocidade
- Controle de elementos móveis
- Controle de altitude
- Aproximação de aeroportos
- Taxas de aceleração
- Rotas conflitantes
- Condições climáticas

Tempos para

- Fluxo de Substâncias
- Detecção de Vazamentos
- Controle de Processos
- Controle de Pressão / Temperatura

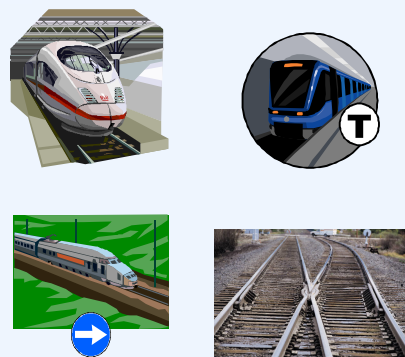
Medicina



- Tempos para
- Controle de posicionamento
 - Medição de pressão / temperatura
 - Taxa de radiação
 - Controle de visualização
 - Controle de vazão

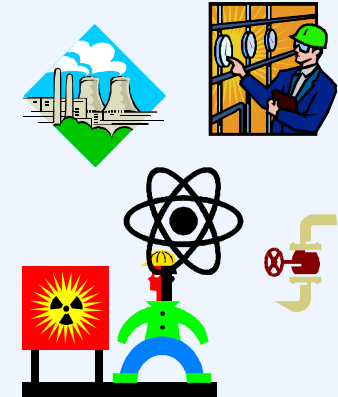


Transporte Metro-Ferroviário



- Tempos para
- Taxa de aceleração / frenagem
 - Sentido de tráfego
 - Detecção de trens
 - Parada em estações
 - Alinhamento de rotas
 - Controle de elementos

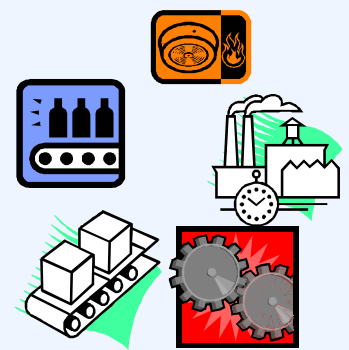
Usinas Nucleares



- Tempos para
- Controle de posicionamento
 - Medição de pressão / temperatura
 - Taxa de radiação
 - Controle de vazamentos

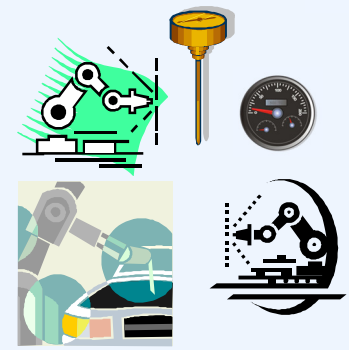


Indústria em Geral



- Tempos para
- Controle de vazões / fluxos
 - Controle de processos
 - Velocidade de produção

Robótica



- Tempos de atuação
- Tempos de detecção de objetos
- Tempos de leitura de sensores

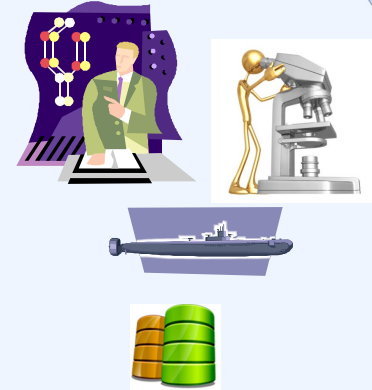


Centros de Controle



- Tempos para
- Apresentação de informações
 - Emissão de comandos
 - Confirmação de ações

Experimentos



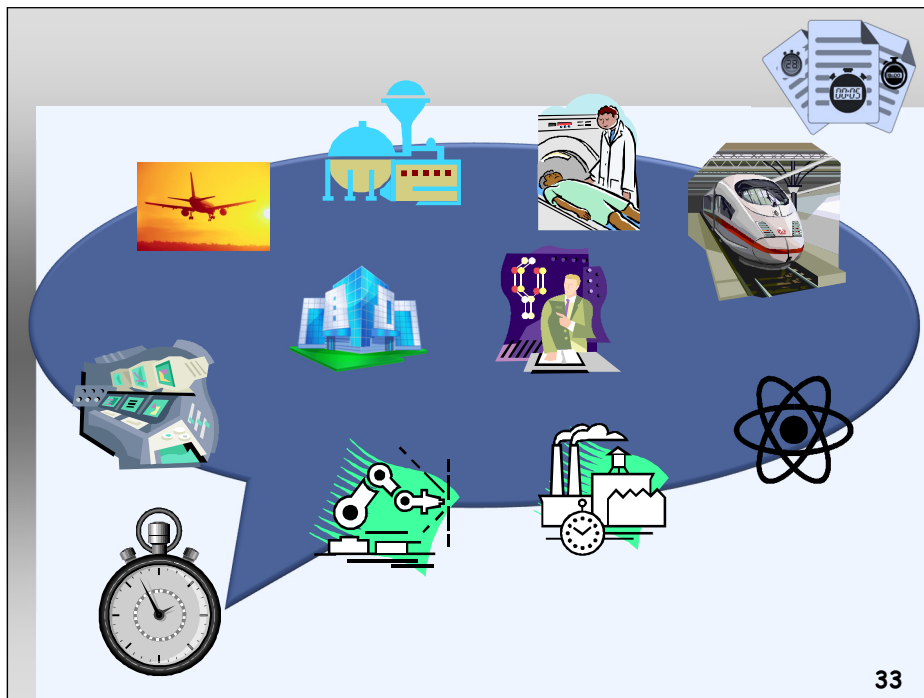
- Tempo para início de ações
- Tempo para leitura de sensores
- Tempo para armazenamento de dados
- ...



Edifícios Inteligentes



- Tempos para
- Controle de temperatura
 - Controle de elevadores
 - Controle de acesso
 - ...



33



34

Tempos Externos Importantes

Abrir/fechar uma porta de elevador

Acionar um air bag

Frear um trem de metrô

Acionar uma cancela

Regular o tempo de um raio X

Consultar o pagamento do estacionamento

Acionar um alarme

Abrir/fechar um semáforo

Movimentar um robô

Movimentar uma esteira de produção

35

Aplicação - Estacionamento de Shopping

Veículo entra no estacionamento

Motorista aciona botão da cancela

Cancela emite ticket

Motorista coleta ticket

Cancela permite entrada

Veículo entra no estacionamento

Sistema registra entrada

Motorista paga ticket

Sistema atualiza status

Motorista insere ticket na cancela

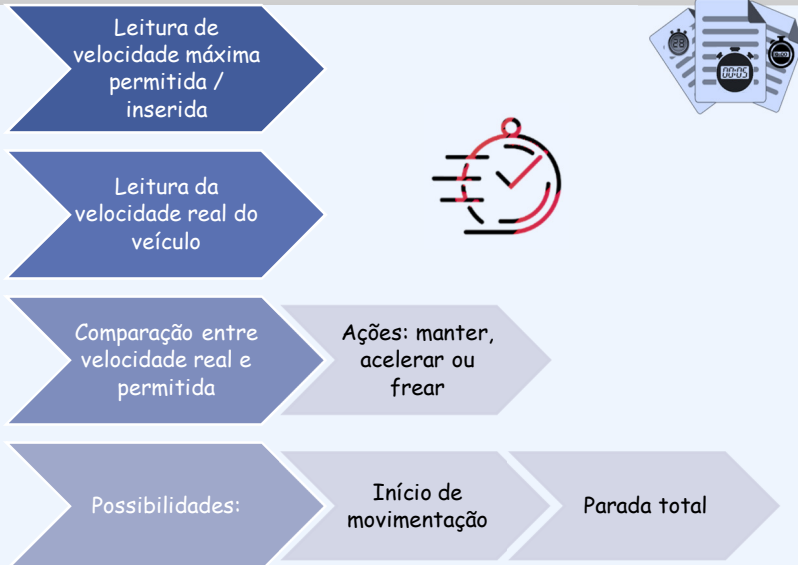
Sistema reconhece pagamento

Sistema abre cancela

Veículo sai do estacionamento

36

Aplicação - Controle de Velocidade



37



STR - exemplos de requisitos temporais



38

Alguns Requisitos Temporais

Se a temperatura do núcleo de um reator nuclear subir muito, deve ser gerado um alarme, **em um tempo máximo especificado.**

A pintura de um veículo em uma esteira deve ser iniciada em um **instante preciso**, e terminada **X unidades de tempo (conforme especificação)** após seu início.

Quando um avião entra em uma região de controle de tráfego aéreo, o controlador de voo deve ser informado em um **tempo máximo especificado.**

39

Alguns Requisitos Temporais

Detectada a aproximação de um trem em uma cancela, deve ser sinalizada a interrupção do tráfego de carros e pedestres, **em um tempo máximo especificado.**

Um robô deve interromper sua movimentação, se em **determinado período de tempo especificado**, não receber mais comandos de sua unidade de controle.

40

Sistemas de Informação

- ⌚ Grande importância da informação
- ⌚ Necessidade de organizá-la

Conjunto de componentes inter-relacionados que coletam, processam, armazenam e distribuem informações para apoiar o processo de tomada de decisões e o controle de uma organização

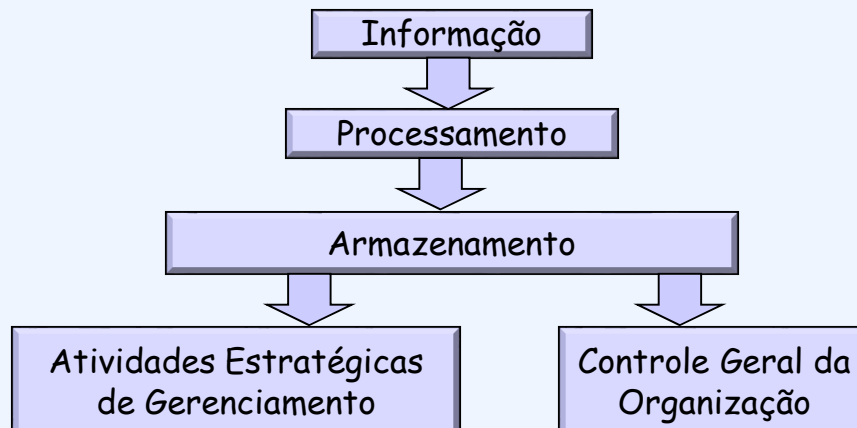
42

Sistemas de Tempo Real e Sistemas de Informação



41

Sistemas de Informação



43

SI - Alguns Tipos

- Sistemas de Suporte à Decisão (DSS)
- Gerenciamento de Relações com Clientes (CRM)
- Centrais de Atendimento
- Gerência do Conhecimento (KM)
- Sistemas de Gestão Empresarial (ERP)
- Comércio Eletrônico

44

**Sistemas de Tempo Real
x Sistemas de
Informação**

45

STR x SI

46

STR x SI

Fatores Comuns

- Disponibilidade das Aplicações
- Confiabilidade de Componentes
- Capacidade de Detecção de Falhas
- Problema nas Especificações
- Qualidade do Projeto
- Capacidade de Recuperação

47

STR x SI

HW

Redundância
Inovação

SW

COTS
Maturidade
Processo de Desenvolvimento

48

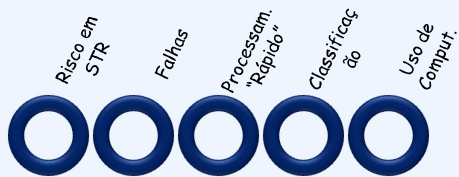
STR - Outros Exemplos



Sistemas de Informação
são Sistemas de Tempo
Real?



Risco em Sistemas de Tempo Real

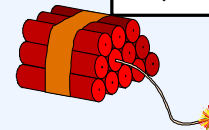


Risco em Sistemas Tempo Real



Falhas em STR

Lógicas ou Temporais



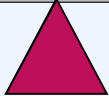
Risco em Sistemas Tempo Real

⌚ Risco aceitável



Benefícios

Riscos



⌚ Fatores sociais e culturais

⌚ "Valor" da vida, propriedade e meio ambiente

Medidas de Segurança



Falhas em STR

Falha no Sistema de Controle

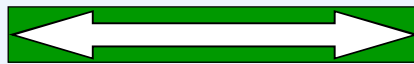
Falha em "Barreiras de Proteção"

Falhas Humanas

Risco em Sistemas de Tempo Real



Risco Inerente à tecnologia



Redução de Risco - Sistema de Controle



Redução de Risco - outras técnicas



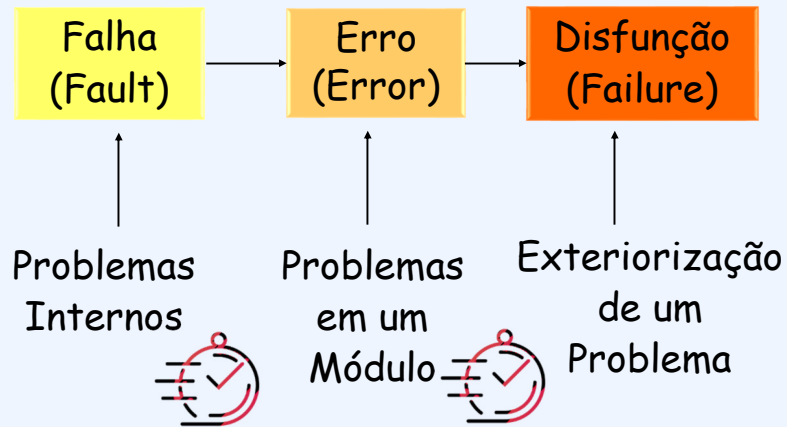
Risco residual aceitável



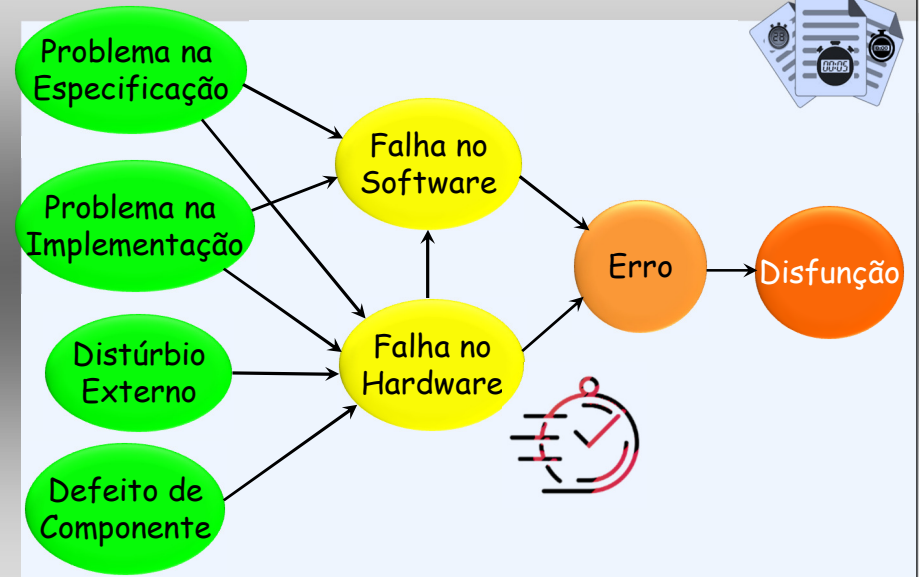
STR - Até que ponto o risco pode ser aceito?



Risco em Sistemas Tempo Real



Risco em Sistemas Tempo Real



Risco em Sistemas Tempo Real

Transientes: permanecem apenas por um período de tempo

Intermitentes: falhas transientes que ocorrem no tempo



Permanentes: permanecem no sistema até que seja feito o reparo

Computação em Tempo Real

Processamento Tempo Real

Atender timing de cada tarefa.
Determinismo

Minimizar tempo médio de resposta

Processamento Rápido

STR - um "processamento rápido" é suficiente?

61

Computação em Tempo Real

Periódicos / Irregulares

E

Sensores

Computador

Atuadores

S

T1 T2 T3

Tempos Distintos
Dependência entre Tarefas

62

Computação em Tempo Real

Efeitos da Perda de Timing

Desastrosos "Hard"

Pequenos/Corrigíveis "Firm"

Praticamente Nenhum: "Soft"

Processos Críticos

Processos Essenciais

Processos Não Essenciais

63

Computação em Tempo Real

Deadline

Hard Real-Time

Tempo Médio

Pior Tempo de Execução

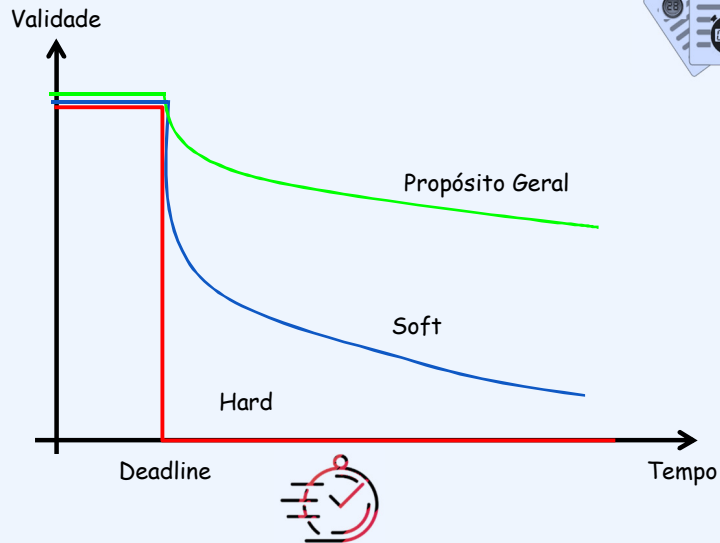
Soft Real-Time

Tempo Médio

Pior Tempo de Execução

64

Computação em Tempo Real



65

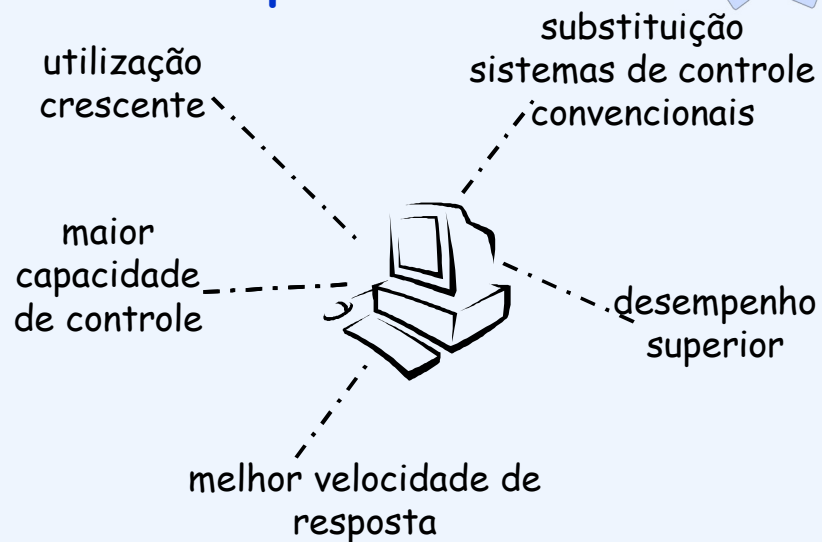


STR - o sistema de supervisão / controle computadorizado é a melhor solução?



66

Computadores em Sist. Tempo Real



67

Computadores em Sist. Tempo Real

Vantagens dos Computadores ?

Custo ?

Modos de Falhas ?

Facilidade de Alterar o software ?

Correção do Software



Robustez do Software

Não há técnica reconhecida.
Teste exaustivo ?
Prova formal ?



68

Cobertura de Falhas



Habilidade do sistema de realizar detecção, confinamento, localização e recuperação de falhas



69

Áreas de Pesquisa



70

Áreas de Pesquisa



- ⌚ Fundamentos conceituais da computação de tempo real
- ⌚ Engenharia de requisitos:
Métricas de Tempo
- ⌚ Ferramentas de projeto
- ⌚ Engenharia de confiabilidade e segurança



71

Áreas de Pesquisa



- ⌚ Linguagens de alto nível: sincronismo, comunicação e controle de tempo
- ⌚ Sistemas Operacionais para tempo real
- ⌚ Técnicas /
Algoritmos de escalção
- ⌚ Sistemas de comunicação
- ⌚ Bancos de Dados
- ⌚ Normatização



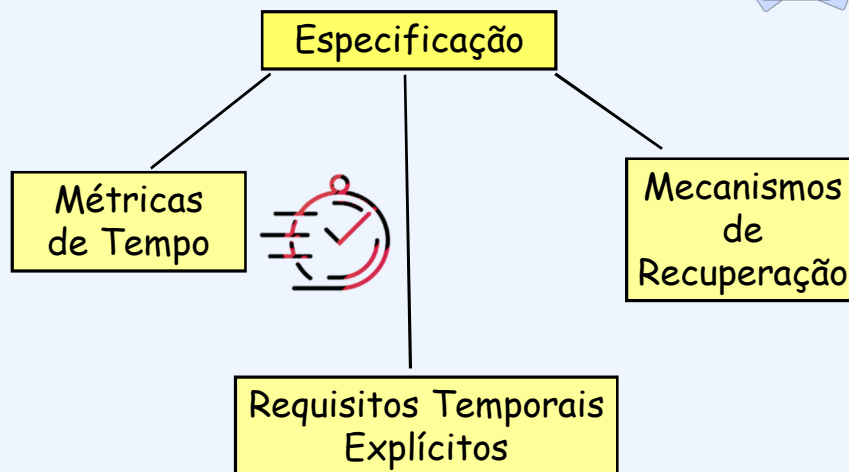
72

Projeto de Sistemas de Tempo Real



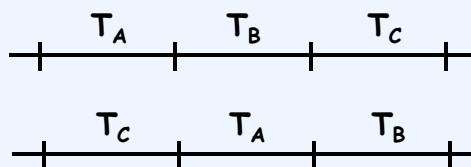
73

Projeto de STR



74

Projeto de STR



Escala Dinâmica

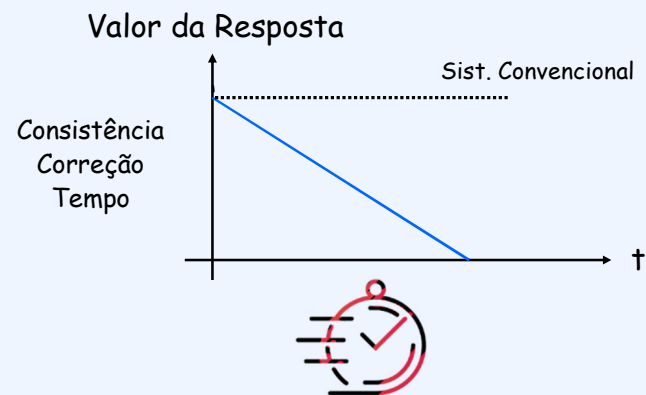


Suporte de SO /
Linguagens de
Programação

- Convencional
- Temporal
- Escalação
- Alocação de Recursos
- Predictabilidade

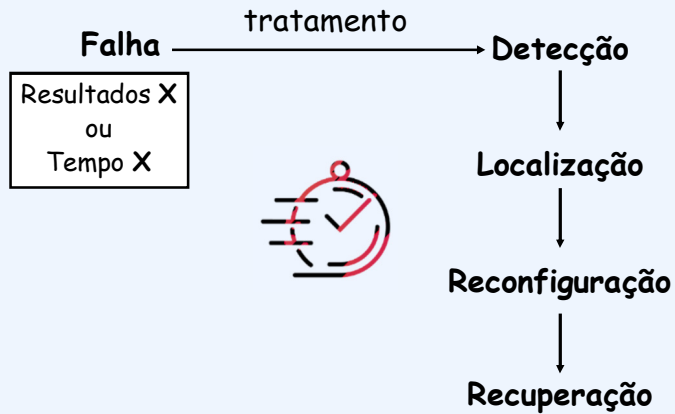
75

Projeto de STR



76

Projeto de STR



77



STR - qual a importância / influência do ambiente externo?



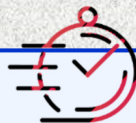
78

Modo de Operação em Tempo Real



⌚ Norma alemã DIN 44300

O modo operacional de um sistema de computação de tempo real é aquele no qual os programas que processam dados externos estão permanentemente prontos (ativos), de forma que seus resultados (saídas) estejam disponíveis em períodos pré-determinados de tempo.



79

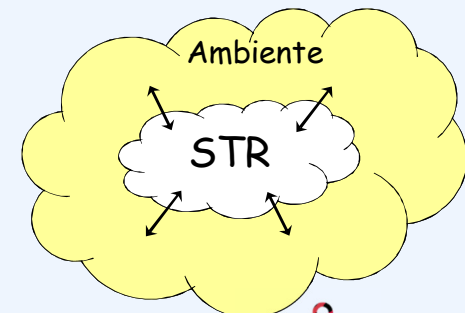
Modo de Operação em Tempo Real



Sincronismo Externo Periódico

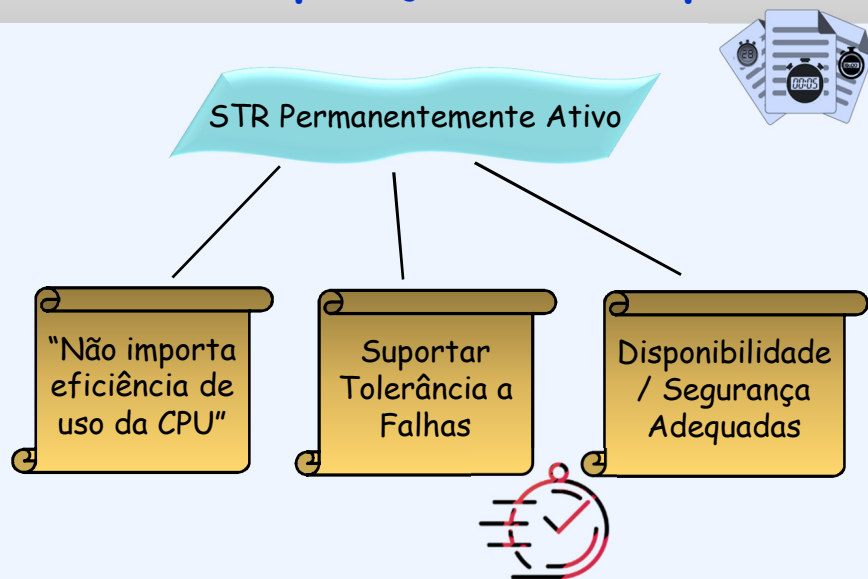
STR

Sistemas Embutidos ou Embarcados



80

Modo de Operação em Tempo Real



Modelagem de Sistemas de Tempo Real



82

Modelagem

Representação do conhecimento sobre o sistema em desenvolvimento

Idealizar como será o sistema quando concluído

Assegurar que o que se está propondo é o que o cliente realmente deseja

Pode omitir detalhes

- Modelo de um avião: conjunto de parâmetros para um SW de simulação

83

Modelagem - Propriedades

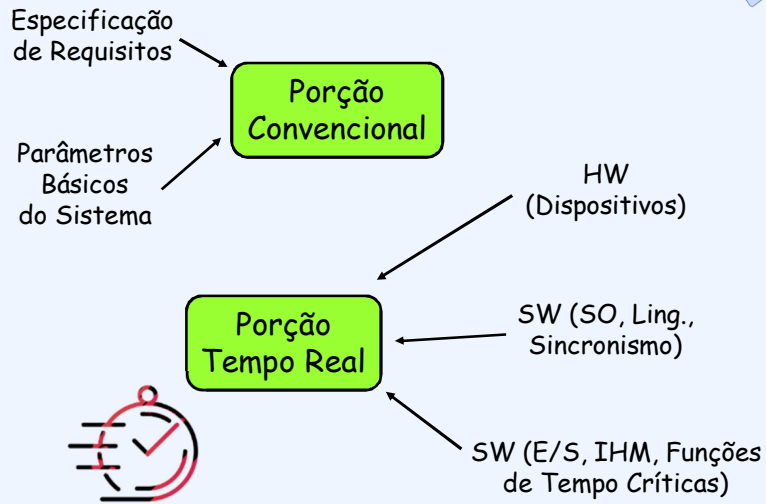
Habilidade de representar características de interesse

Determinar comportamento: processamento de dados, energia envolvida, ...

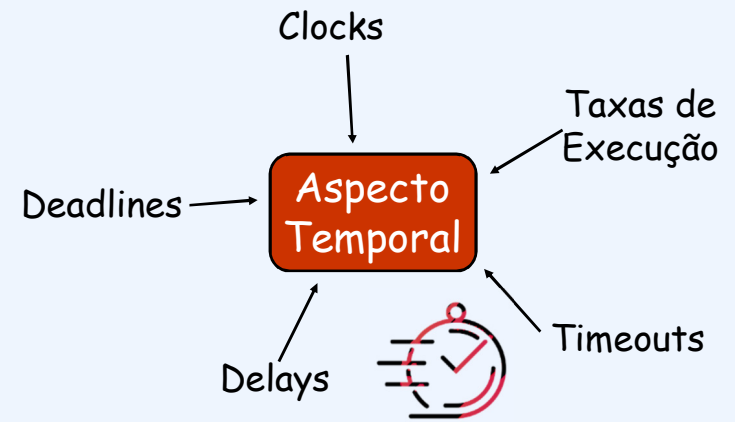
Analisar o sistema antes de investir maiores recursos

84

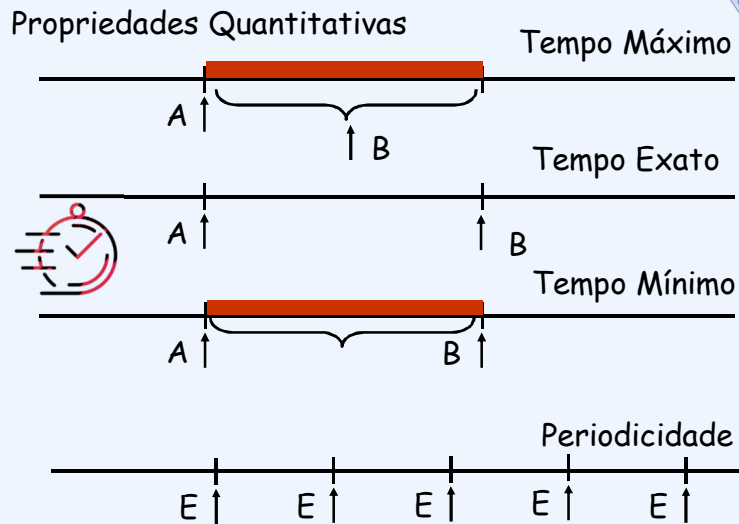
Modelagem de STR



Modelagem de STR

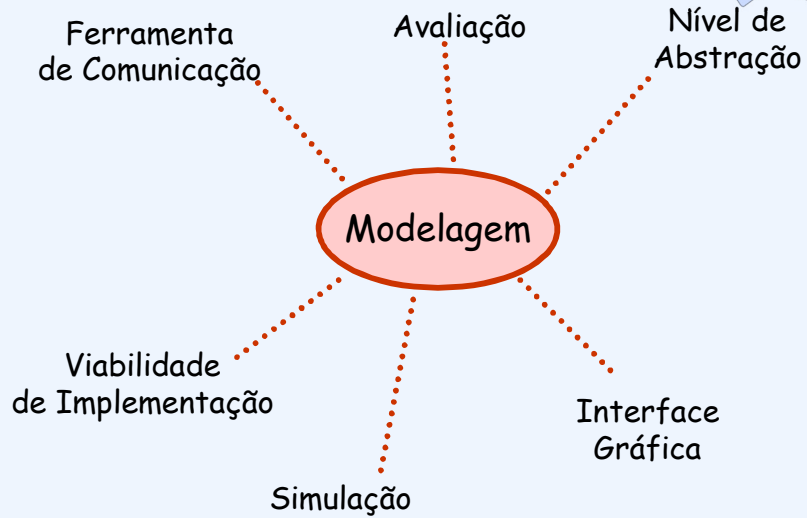


Modelagem de STR



STR - a modelagem do sistema é a primeira fase de seu desenvolvimento

Modelagem



89

Noção de Tempo



90

Noção de Tempo



STR precisa coordenar sua execução com o tempo do ambiente

Termo "**Real**": utilizado para fazer distinção com tempo de computação



91

Noção de Tempo



⌚ Bases de tempo: série de eventos que ocorrem de forma regular

- ⌚ **Dia solar** - tempo entre duas ocorrências sucessivas do ponto culminante do Sol
- ⌚ **Hora Temporal** - 1/24 do dia solar
- ⌚ **Tempo Universal UTO** (Universal Time) - dia solar médio em Greenwich (1884)

92

Noção de Tempo



- ⌚ Bases de tempo: constituídas por séries de eventos que ocorrem de forma regular
- ⌚ **Segundo** - 1/86.400 do dia solar médio
- ⌚ **Segundo** - 1/31.566.925 do ano tropical de 1900
- ⌚ **Tempo Universal UT1** - correção de UT0 devido ao movimento polar
- ⌚ **Tempo Universal UT2** - correção de UT1 devido à variação na velocidade de rotação da Terra

93

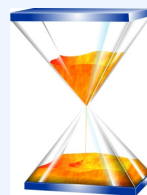
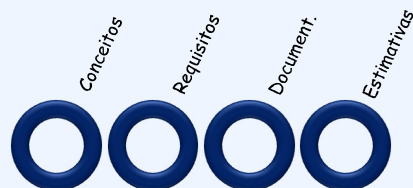
Noção de Tempo



- ⌚ Bases de tempo
- ⌚ **Segundo** - duração de 9.192.631.770 períodos de radiação correspondentes à transição entre dois níveis do Césio 133 (erro de uma parte em 10^{13})
- ⌚ **Tempo Atômico Universal** - baseado no Césio 133
- ⌚ Clock utilizado pelos programas de Sistemas de Tempo Real
- ⌚ Ambiente externo, por intermédio de interrupções
- ⌚ Clock interno de hardware

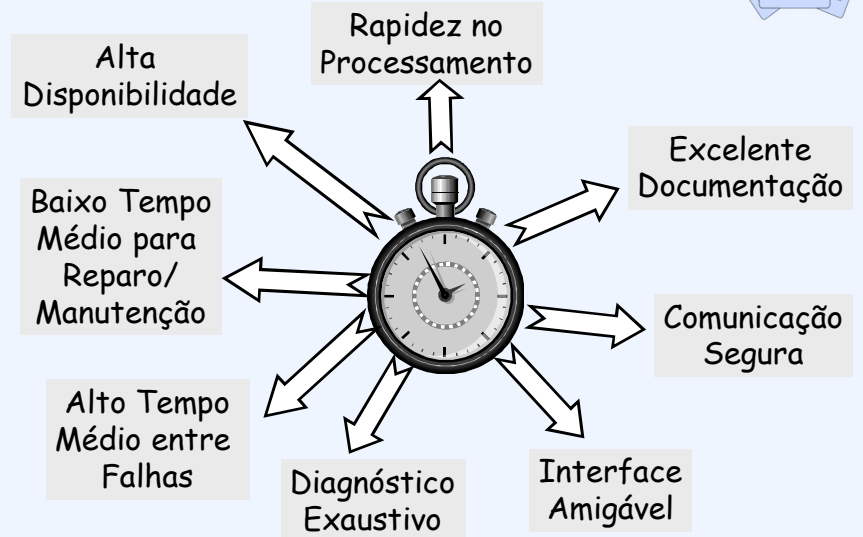
94

Princípios de Projeto em Sistemas de Tempo Real



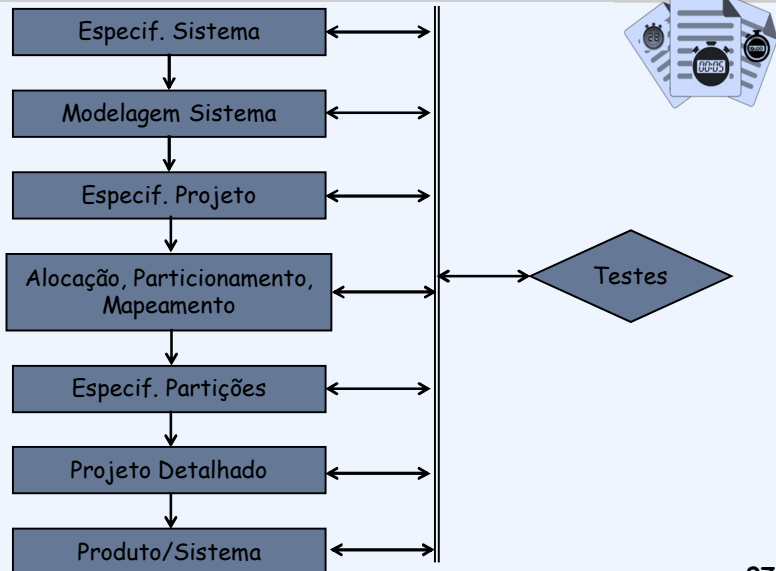
95

Princípios em STR



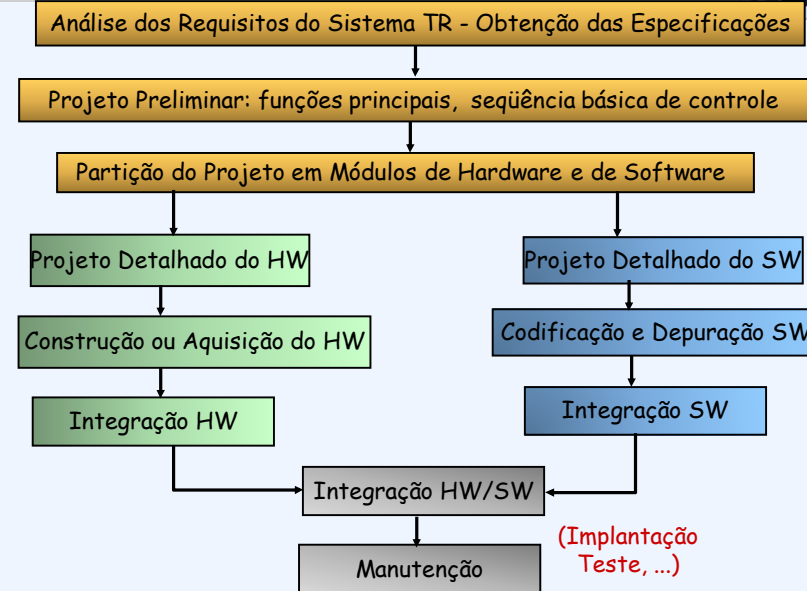
96

Projeto de Sistemas de Tempo Real



97

Projeto de Sistemas de Tempo Real



98

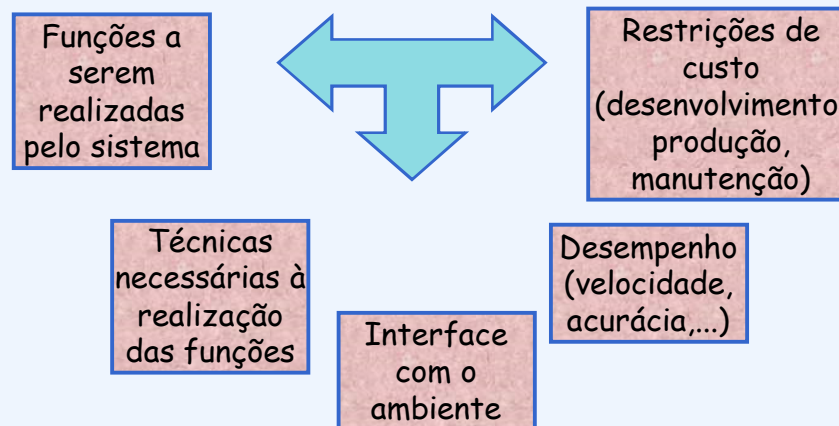
STR - importância da especificação dos requisitos e da documentação



99

Requisitos

⌚ Documento com requisitos ("o que o sistema deve fazer, mas não como fazer")



100

Classes de Requisitos



⌚ Classes de Requisitos

- ⌚ Funcionais: ações fundamentais
- ⌚ Interfaces Externas: entradas e saídas
- ⌚ Desempenho: requisitos numéricos estáticos e dinâmicos
- ⌚ Bases de Dados: requisitos para BD
- ⌚ Restrições de Projeto
- ⌚ Atributos gerais

101

Documentação



⌚ Finalidades

- ⌚ Legais
- ⌚ Apresentação
- ⌚ Registro
- ⌚ Difusão
- ⌚ Manutenção
- ⌚ Upgrade
- ⌚ Meio de comunicação

102

Tempo de Resposta



Listar todos
tempos de
resposta
críticos

Evitar sobre-
especificações dos
tempos → complexidade
e custo maiores

Listar todas ações a
serem realizadas em
sequências precisas e
temporizadas



103

Estimativas Preliminares



⌚ Tempos de Execução

- ⌚ Funções de tempo críticas: fase inicial de projeto
- ⌚ Se houver problema para atender aos tempos especificados: condições para realizar alterações necessárias.



104