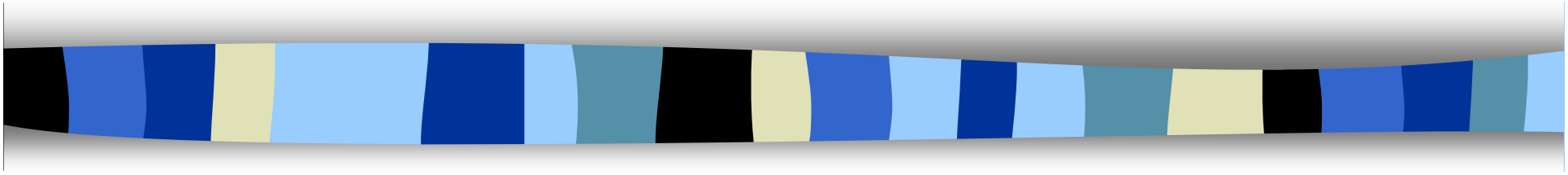
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Eletrônica e Computação

Arquiteturas de Software



Lucas Cordeiro
lucascordeiro@ufam.edu.br

Notas de Aula

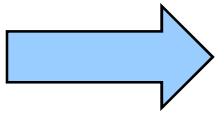
- Estes slides são baseados no livro do Prof. Alan Shaw e nas notas de aula Prof. Francisco Vasques. http://www.fe.up.pt/~vasques

- Os slides estão disponíveis em: http://home.ufam.edu.br/lucascordeiro/ptr/

Conceitos e Definições (1)

- Programas em Sistemas de Tempo-Real
  - … constituídos por *tarefas*
- Conceito de Tarefa:
  - Tarefa (τ_i)*:* Segmento de código de software que deverá ser executado múltiplas vezes com diferentes dados de entrada
  - Uma tarefa é caracterizada por ter uma execução com *características temporais próprias*
  - Instância (“*job*”) ($\tau_{i,k}$) *é a execução k da tarefa* τ_i

Tarefa τ_1	Tarefa τ_2
a_1	b_1
a_2	b_2



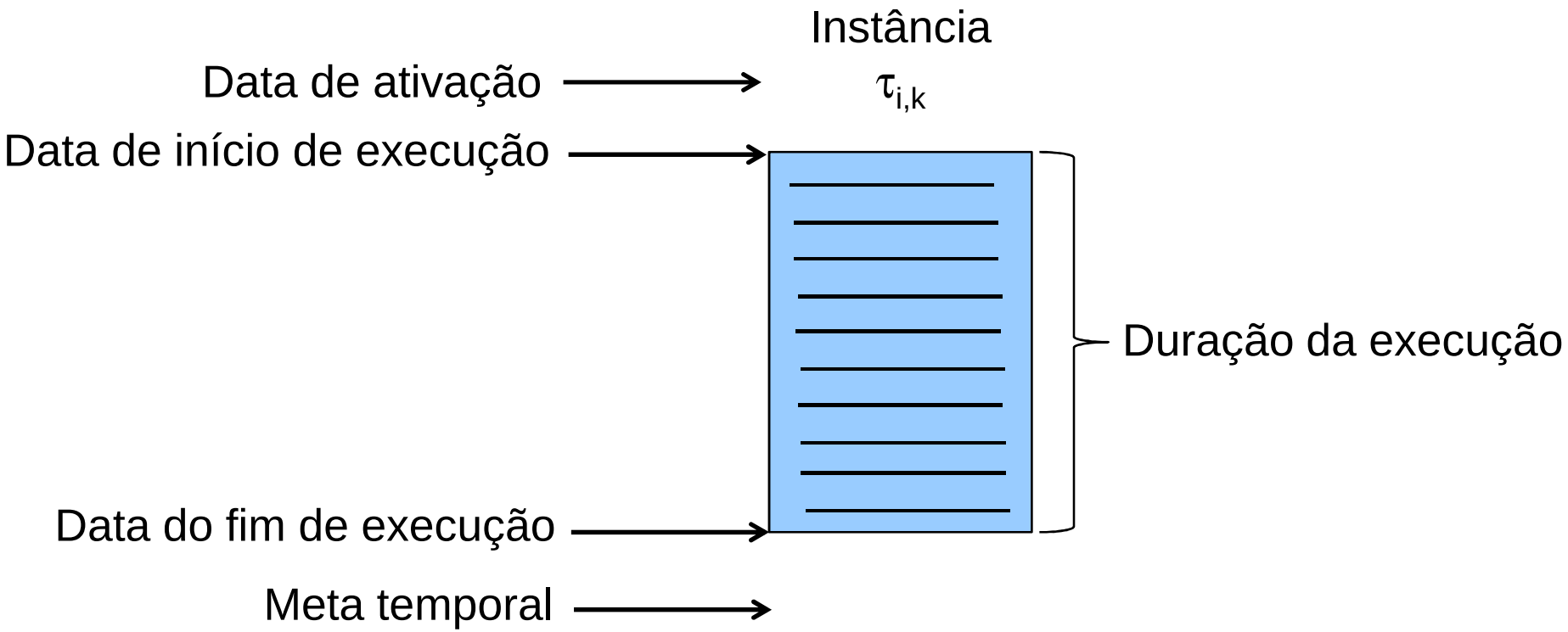
Intercalações das tarefas:

$a_1; a_2; b_1; b_2$

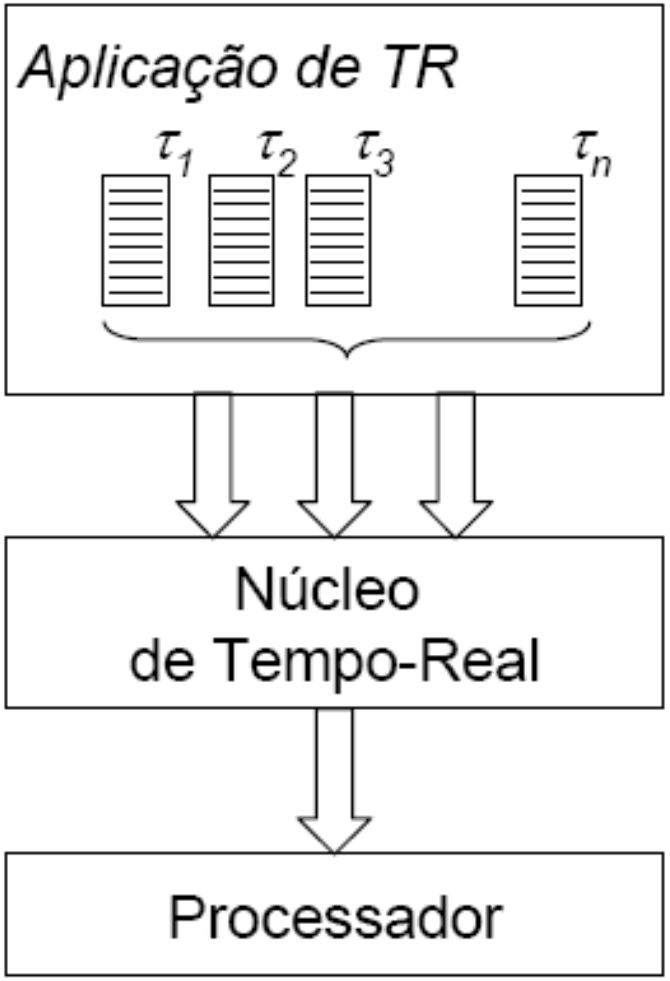
$a_1; b_1; a_2; b_2$

…

Conceitos e Definições (2)



Núcleo de Tempo-Real (1)



- O núcleo de TR implementa:
  - ilusão de concorrência
  - métodos de sincronização
  - chaveamento e escalonamento
  - serviço de medição de tempo
  - tratamento de interrupções
- Gerência de recursos:
  - gerência de memória
  - controle de dispositivo de E/S
  - alocação de recursos

Núcleo de Tempo-Real (2)

Núcleo de Tempo-Real (3)

- Objetivo: **transparência** para a aplicação de tempo-real do processador e dos seus mecanismos de interface
- Permitir a execução de múltiplas tarefas num ambiente **pseudo-paralelo**, garantindo o respeito das metas temporais associadas a cada uma das tarefas
- Pseudo-paralelismo: O processador executa *sucessivamente múltiplas tarefas*
  - Se as diferentes tarefas são executadas sequencialmente: ***escalonamento não preemptivo***
  - Se uma tarefa em curso de execução pode ser interrompida por uma outra tarefa: ***escalonamento preemptivo***

Núcleo de Tempo-Real (4)

- Por quê utilizar um núcleo de TR?
  - Desenvolvimento mais rápido das aplicações (***ganho de produtividade***), *visto o compartilhamento* do processador ser transparente
  - Utilização de espaço **otimizado de memória**, com *menor custo em termos de* ***tempo*** **de execução**
- Critérios para a seleção de um núcleo de tempo-real
  1. Hardware-alvo suportado
  2. Linguagens de programação suportadas (p.e. ,*C, C*++)
  3. Dimensão de memória ocupada (“*footprint”)*

Núcleo de Tempo-Real (5)

4. Serviços fornecidos pelo núcleo
   - **Escalonamento**: adaptado para o suporte de aplicações de tempo-real?
   - **Sincronização entre tarefas**: Que tipo de gestão de filas (FIFO, por prioridades)? Que mecanismos para gerir a inversão de prioridades?
   - **Gestão de memória**: estática ou dinâmica?
   - **Gestão do tempo**: ativação de tarefas periódicas? Qualidade das temporizações (granularidade, precisão)?
   - Interruptibilidade do núcleo? Quais os serviços mínimos que têm que ser incluídos numa versão reduzida do núcleo?
5. Componentes de software fornecidos além do núcleo
   - Pilhas de protocolos, base de dados de tempo-real, serviços Web?

Núcleo de Tempo-Real (6)

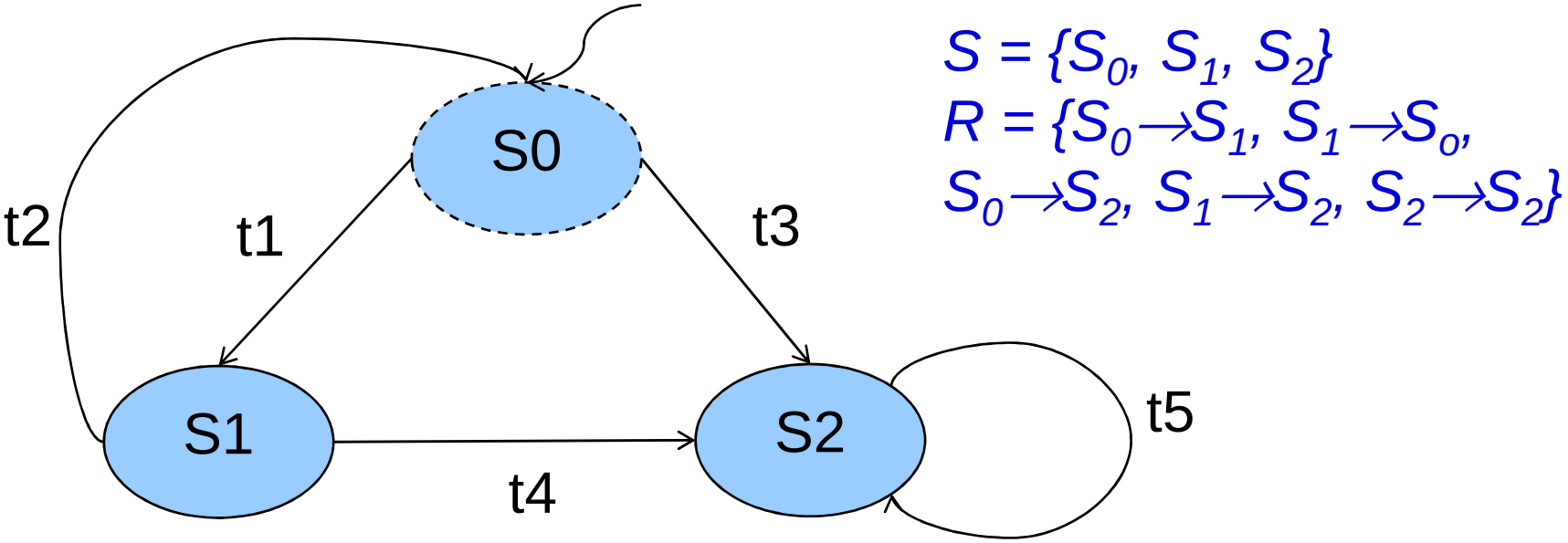
6. Desempenho (“*performance”):*
   - A existência de análises efetuadas pelos fabricantes devem ser examinados com base nos seguintes elementos:
     - Qual a plataforma para a qual foram efetuadas?
     - Em que condições de medida?
     - Tempos médios, máximos ou mínimos?
     - Presença de interrupções?
7. Existência de ***drivers*** *para os periféricos*
8. Qualidade do suporte técnico, para futura evolução para novas arquiteturas
9. Natureza do produto (código fonte ou binário?)
10. Custo (preço por licença?)
11. Certificação para a área de aplicação pretendida?

Núcleo de Tempo-Real (7)

- Objetivo de um Núcleo (“*Kernel”) de Tempo-Real*
  - O elemento fundamental de um núcleo (“*Kernel”) de tempo-real* é o **escalonador,** que tem como função permitir a execução de múltiplas tarefas num ambiente pseudo-paralelo, garantindo o respeito das sua metas temporais
- Escalonamento (“*Scheduling*”) de Tempo-Real
  - O escalonamento de tempo-real pretende atribuir de uma forma ótima ao processador às tarefas que os pretendem utilizar, garantindo o respeito das metas temporais (“*deadlines”) associadas à execução de cada uma das tarefas*

Estados de uma Tarefa (1)

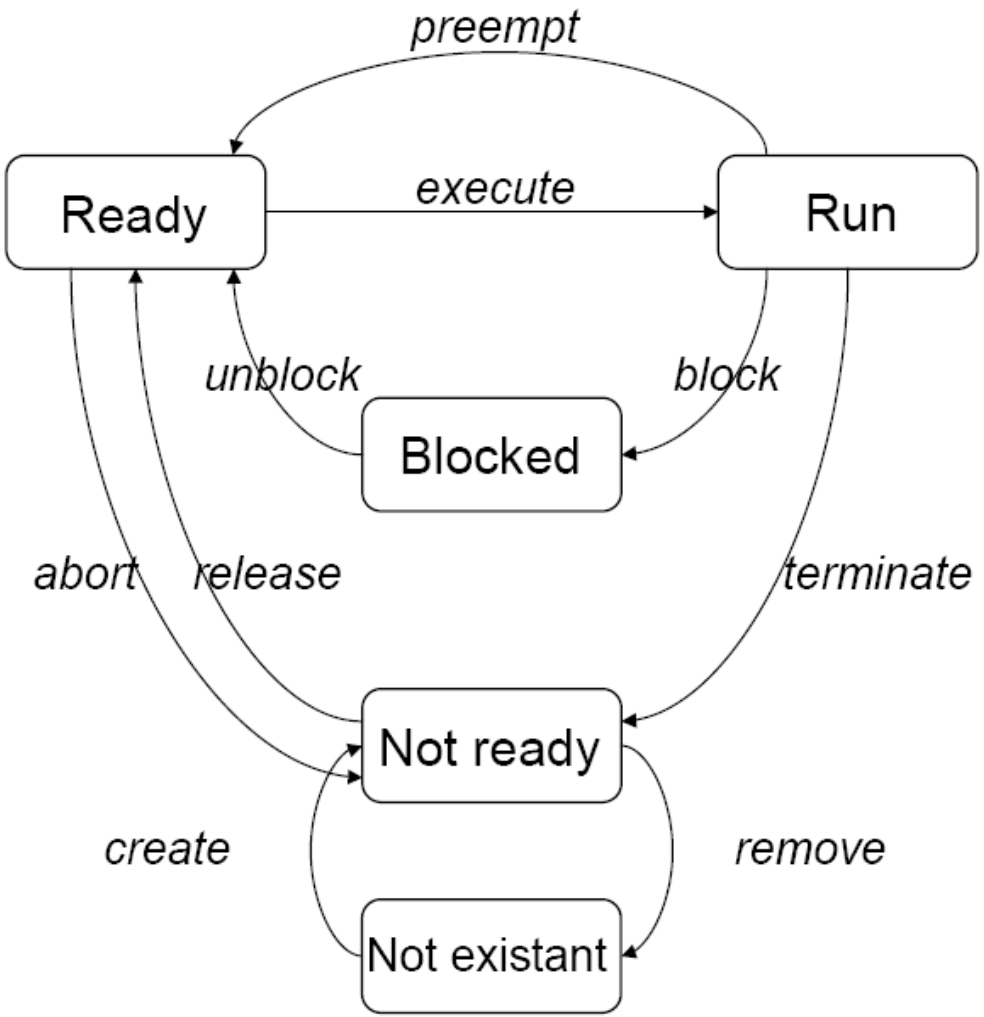
- **Definição:** Um sistema de transição de estados, denotado por *M*, é definido por uma tripla (S, R, S_0) onde S representa o conjunto de estados, $R \subseteq SxS$ representa o conjunto de transições e $S_0 \subseteq S$ representa o conjunto de estados iniciais (i.e., cada elemento de S_0 é também elemento de S)



$S = \{S_0, S_1, S_2\}$
$R = \{S_0 \rightarrow S_1, S_1 \rightarrow S_0, S_0 \rightarrow S_2, S_1 \rightarrow S_2, S_2 \rightarrow S_2\}$

Estados de uma Tarefa (2)

- Durante a sua execução, uma tarefa de uma aplicação de tempo-real pode estar num, e num só, dos seguintes estados

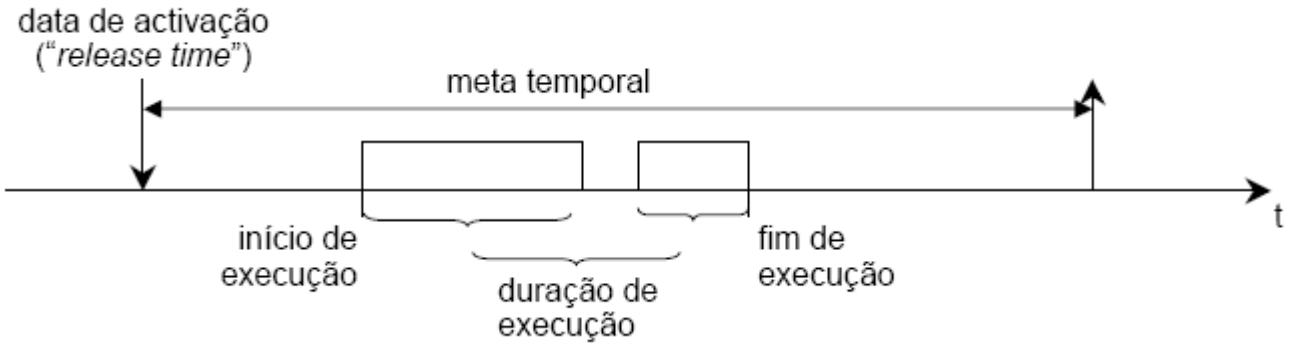


Escalonamento de Tempo Real

- Um algoritmo de escalonamento de tempo-real deve:
  - Selecionar entre as **tarefas pendentes** (“ready”), qual a que deve ser executada
  - Verificar se deve **interromper a tarefa** que está sendo executada (“*preemption”),* para permitir a execução de uma tarefa de maior prioridade
  - Verificar se as **regras de execução** impõem o bloqueio (“*blocking”) da tarefa* que está sendo executada
  - **Otimizar a execução** do conjunto de tarefas (tipicamente existem mais tarefas sendo executadas do que processadores diposníveis)

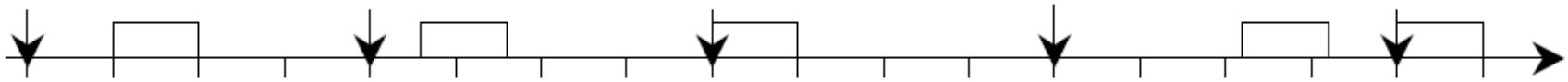
Modelo de Tarefas (1)

- Parâmetros fundamentais de um modelo de tarefas, que permita descrever de uma forma adequada as *propriedades temporais de um sistema de tempo-real:*
  - *Periodicidade de ativação de cada tarefa:* P_i
  - Máxima *duração de execução de cada tarefa (sem preempção):* C_i
  - *Meta temporal ("deadline") associada à execução de cada tarefa:* D_i
  - *Tempo de ativação da instância k da tarefa* τ_i: $\mathbf{r}_{i,k}$
  - *Tempo de início de execução da instância k da tarefa* τ_i : $\mathbf{s}_{i,k}$
  - *Tempo de fim de execução da instância k da tarefa* τ_i : $\mathbf{f}_{i,k}$



Modelo de Tarefas (2)

- **Tarefas periódicas** são ativada de forma **regular** entre **intervalos fixos** de tempo (monitoramento sistemático, *polling*)
  - ler a temperatura de um líquido a cada 50 milisegundos
- ***Tarefas esporádicas*** são dirigidos por **eventos**; elas são ativadas por um sinal externo ou uma mudança de alguma relação (reagir a um evento indicando uma falha de alguma peça do equipamento)
  - Tratar as notificações de chegada através do sistema de comunicações



Executivos cíclicos (1)

- Historicamente é o enfoque mais usado para organizar software de tempo-real
- Só tarefas periódicas
  - Tradução de tarefas esporádicas em periódicas
    - Assumir tempo de execução negligenciável
- Objetivo: tarefas satisfazendo restrições de *prazos-limite*
- Solução: predefinir, explicitamente, e antes da execução, uma intercalação (escala) de execução de tarefas que produza um escalonamento viável de execução

Executivos cíclicos (2)

- Um programa **executor cíclico** (despachante) controla a execução das tarefas de acordo com esse escalonamento de pré-execução (*pre-runtime scheduling*)
- Vantagens:
  - Simples
  - Eficiente
  - Altamente previsível
  - Menos *overheads*
- Desvantagens:
  - Muito baixo nível
  - Inflexível
  - Difícil projetar, alterar e manter os sistemas

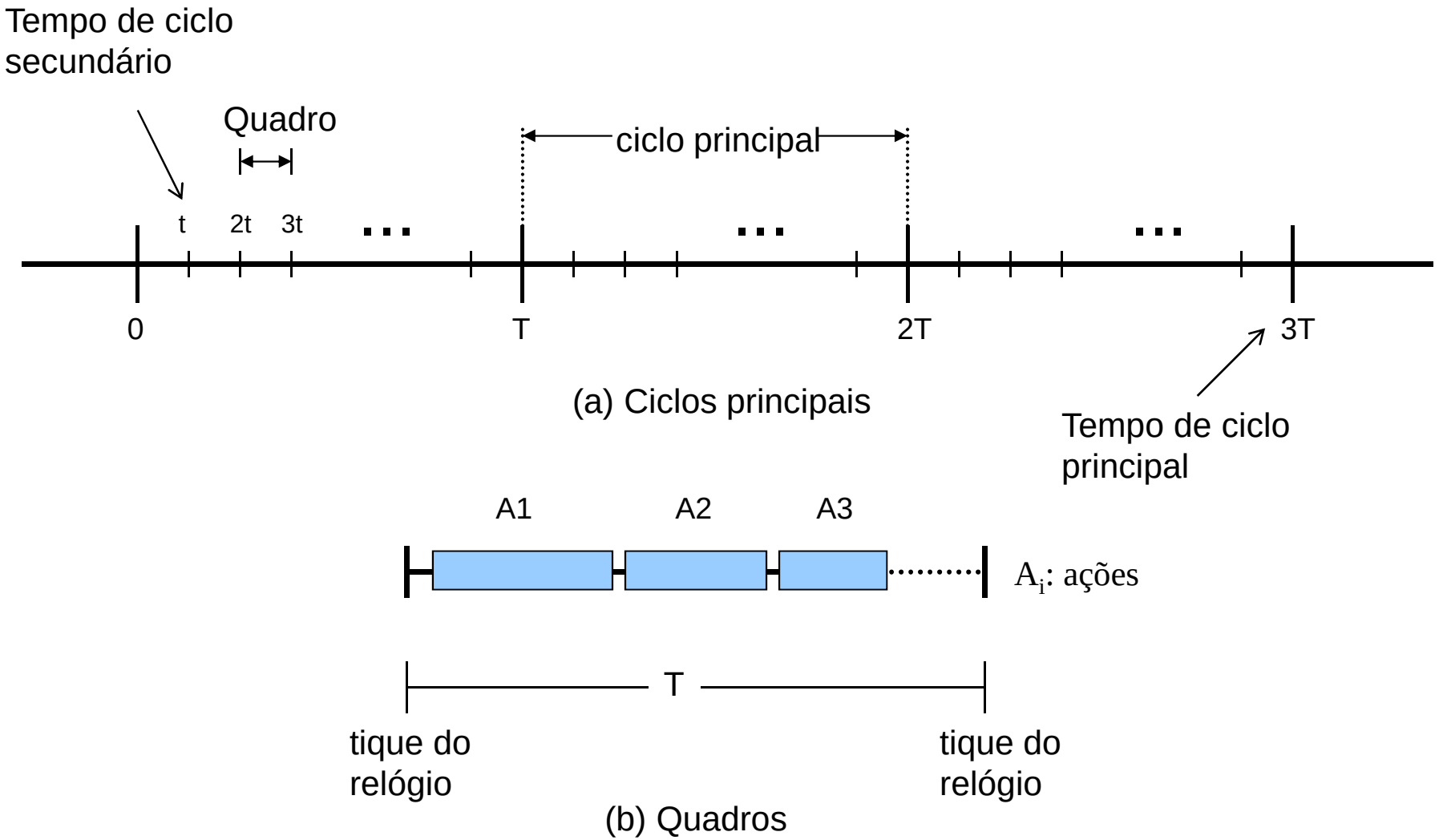
Definições e propriedades (1)

- Código do programa *S* para um processo periódico é quebrado em uma seqüência (ou blocos)
  - $S = S_1; S_2;...;S_n$
  - cada S_i poderia ser uma chamada de sub-rotina, uma seqüência de comandos sem desvios ou um laço
- Cada bloco é não-preemptível e tem um WCET (*worst-case execution time*)
- Escalonamento principal: alocação de blocos tal que *prazos-limite* e períodos sejam satisfeitos
- É cíclico porque pode ser repetido
- É usual que o tempo de ciclo principal (TCP) ou *macro-ciclo* seja o **MMC entre os períodos de todos os processos**

Definições e propriedades (2)

- Um escalonamento principal é dividido em ciclos secundários (ou quadros)
- O tempo do quadro é chamado de tempo de ciclo secundário (**tcs**) ou *micro-ciclo*
- Blocos são alocados nos quadros
- Controle de tempo é definido e imposto apenas nos limites de quadro, através de eventos de tique de relógio

Definições e propriedades (3)



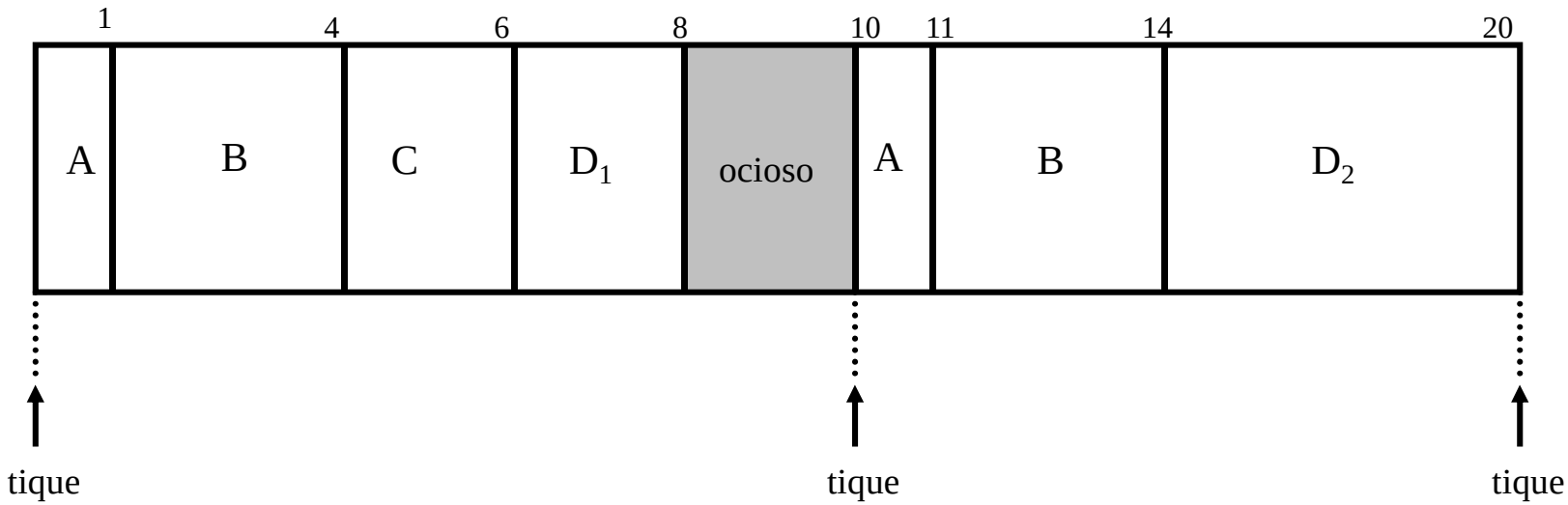
Exemplo

1) Considere 4 processos periódicos (c,d,p):
   - A=(1,10,10); B=(3,10,10); C=(2,20,20); e D=(8,20,20)
   - A, B e C são fatias únicas
   - D é dividido em 2 fatias D1 (c=2) e D2 (c=6)
   - TCP = 20 (o escalonamento inteiro pode ser repetido a cada 20 unidades de tempo)
   - Vamos assumir que *tcs* vale 10

a) Escreva uma escala (diagrama temporal ou de *Gantt*) para este conjunto de processos

b) Escreva um programa executor cíclico (ou despachante) para essa escala

Diagrama temporal do exemplo



Código do Executor Cíclico do Exemplo

```
tcs: constant := 10; --tempo de ciclo secundário
prox_momento : time := Clock + tcs; --próximo momento
  de tique, clock retorna hora atual
Num_Quadro: integer := 1;
loop delay_until prox_momento; --bloqueio da tarefa
  Num_Quadro := (Num_Quadro++) mod 2;
  case Num_Quadro is
    when 0 => A; B; C; D1;
    when 1 => A; B; D2;
  end case;
  prox_momento := prox_momento + tcs;
  if Clock > prox_momento
    then Trata_Quadro_excedido;
  end if;
end loop;
```

Chama sub-rotina caso um quadro tome muito para computar (por causa de uma estimativa incorreta)

Considerações sobre TCP e tcs

- *TCP* = *mmc*(p_1,...,p_n) – é o menor tempo repetível que as tarefas podem executar ao menos uma vez
- *TCP* é o múltiplo de *tcs*
- *tcs* é maior ou igual que o maior tempo de computação do maior bloco
- O *tcs* tem que ser menor ou igual que o menor *deadline*
- Relacionamento entre *tcs*, período e *deadline:*

$$tcs + (tcs - MDC(tcs, p_i)) \leq d_i$$

Derivação de TCP e tcs

- A=(1,14,14); B=(2,20,20); e C=(3,22,22)
- Qual seria o valor de TCP e tcs?
- TCP = MMC(14, 20, 22) = 1540
- tcs ≤ 14 e tcs ≥ 3
- Candidatos de 3 até14
- Quais os divisíveis por 1540?
  - 4, 5, 7, 10, 11 e 14

Derivação de TCP e tcs

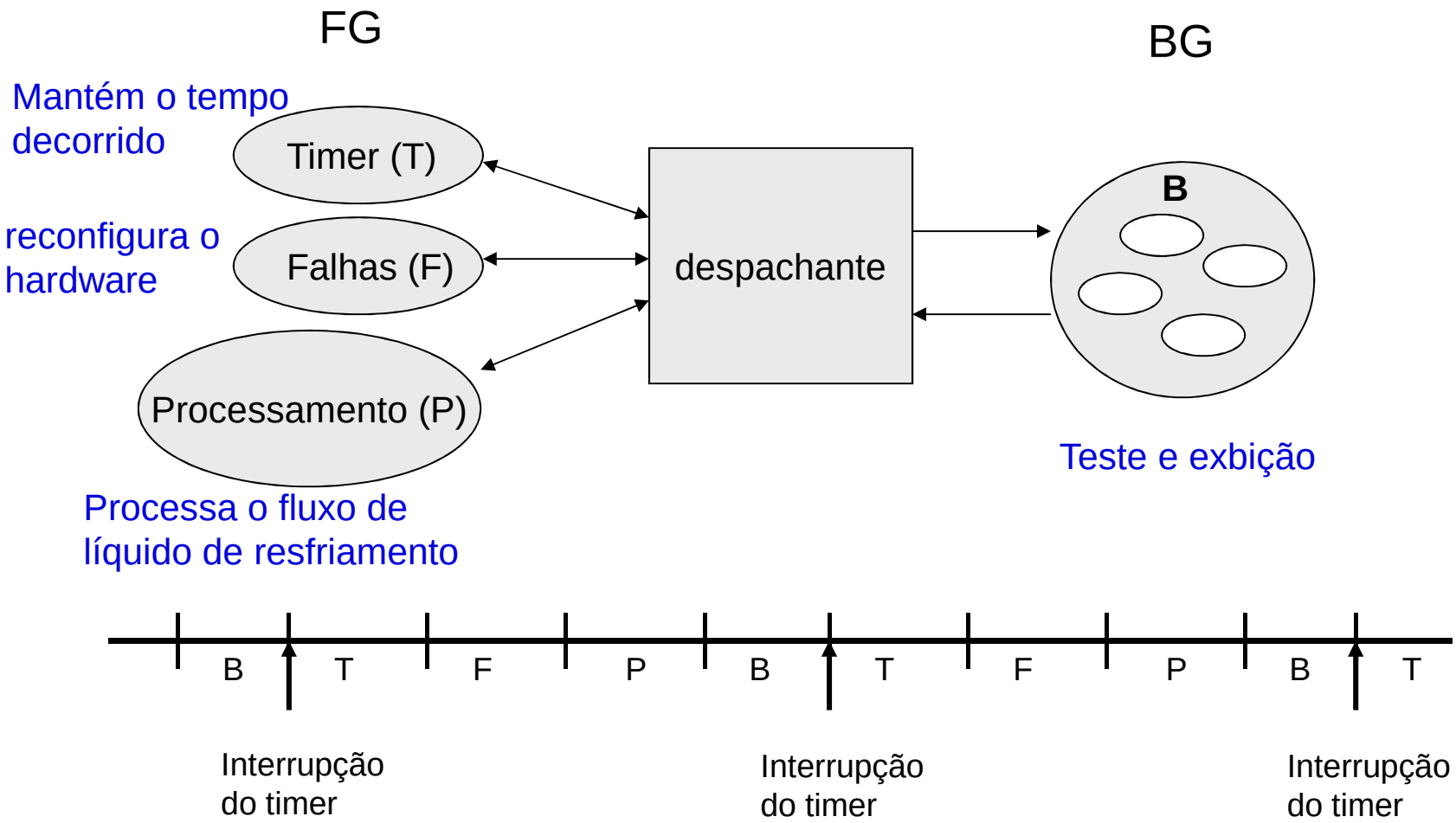
- Aceitando somente os que satisfazem o relacionamento fica {4, 5, 7}
- Testando o 10 $(tcs + (tcs – MDC (tcs, p_i)) \leq d_i)$
  - 10 + (10 – MDC (10, 14)) ≤ 14
  - 10 + (10 – 2) ≤ 14
  - 18 ≤ 14 X
- Testando o 4
  - 4 + (4 – MDC(4,14)) ≤ 14 ∴ 6 ≤ 14 √
  - 4 + (4 – MDC(4,20)) ≤ 20 ∴ 4 ≤ 20 √
  - 4 + (4 – MDC(4,22)) ≤ 22 ∴ 6 ≤ 22 √

Organizações FG e BG

- Pode-se considerar até mais simples que o EC
- Sistema consiste de 2 conjuntos de tarefas:
  - *Foreground* (FG): alta prioridade, críticos no tempo, não preemptíveis
  - *Background* (BG): baixa prioridade, processos que não são de tempo-real ou *soft* (brandos)
  - Processos em BG podem ser interrompidos por processos em FG
- Processos FG são executados de acordo com uma escala prévia
- Quando há tempo livre, processos em BG são despachados.
- Um *timer* interrompe o processo corrente (de *background*) sinalizando o início de um novo ciclo

Exemplo: monitor de usina nuclear

Sistema opera com redudância quádrupla e eleição sobre os resultados



Exercício

- Um sistema tem três tarefas periódicas *A=(2, 9, 9)*, *B=(4, 12, 12)* e *C=(1, 15, 15)*.

  a) Qual é o TCP para um escalonamento cíclico EC para este sistema?

  b) Assumindo que os blocos sejam idênticos em relação ao código completo para todas as tarefas, derive os valores possíveis para o *tcs*

  c) Tome uma das respostas de *(b)* e construa um escalonamento principal para as três tarefas

  d) Substitua *C* por *C' = (5,15,15)*. Usando os valores *tcs* computados em *(b)*, mostre que um escalonamento EC não pode ser construído