

Sistemas de Tempo-Real

Aula 6

Escalonamento usando prioridades dinâmicas

Escalonamento *on-line* com prioridades dinâmicas:

O critério *Earliest Deadline First* – limite de utilização de CPU

Optimalidade e comparação com RM:

nível de escalonabilidade, número de preempções,
jitter de disparo e tempo de resposta

Outros critérios de prioridades dinâmicas:

Least Slack First, First Come First Served

Adaptado dos slides desenvolvidos pelo Prof. Doutor Luís Almeida
para a disciplina “Sistemas de Tempo-Real”

Revisto em Out/2009 por Paulo Pedreiras

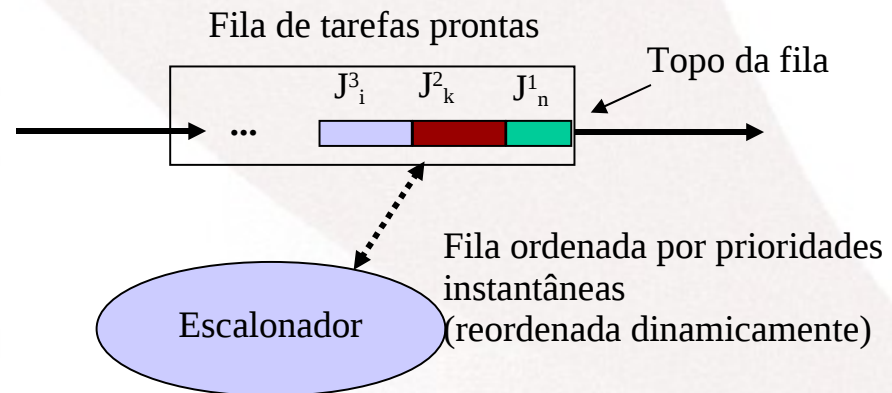
Aula anterior (5)

- Escalonamento **on-line** usando **prioridades fixas**
- O critério de escalonamento **Rate Monotonic** – análise de escalonabilidade baseada na **utilização**
- O critério **Deadline Monotonic** e de **prioridade fixa arbitrária**
- Análise usando **tempo de resposta** de pior caso.

Escalonamento on-line com prioridades dinâmicas

- O escalonamento é **construído** com o sistema **em funcionamento** (*on-line*) e baseia-se num **parâmetro dinâmico** (só conhecido em tempo de execução do escalonador).
- O **parâmetro dinâmico** usado para orientar o escalonamento pode ser entendido como uma **prioridade dinâmica**
- A fila de tarefa prontas a executar é ordenada por prioridades decrescentes sempre que há uma alteração de prioridades relativas. Executa **primeiro** a que tem **maior prioridade instantânea**.

Complexidade $O(n.\log(n))$



Escalonamento on-line com prioridades dinâmicas

A favor

- Facilmente escalável
 - alterações nas tarefas podem ser imediatamente tidas em conta pelo *scheduler*
- Acomoda facilmente tarefas esporádicas

Contra

- Implementação mais complexa
 - requer um *kernel* com suporte a prioridades dinâmicas
- *Overhead* de execução mais elevado
 - reordenação dinâmica da fila das tarefas prontas – depende do algoritmo
- Instabilidade face a sobrecargas
 - não é possível saber *a priori* quais os subconjuntos de tarefas que vão e que não vão cumprir a *deadline*

Escalonamento on-line com prioridades dinâmicas

Atribuição de prioridades

- Inversamente proporcional ao tempo para a *deadline*
 - **EDF – Earliest Deadline First**
 - óptimo em relação aos critérios de prioridades dinâmicas
- Inversamente proporcional ao tempo livre (*laxity* ou *slack*)
 - **LSF (LST ou LLF) – Least Slack First**
 - óptimo em relação aos critérios de prioridades dinâmicas
- Inversamente proporcional ao tempo de espera por serviço
 - **FCFS – First Come First Served**
 - não óptimo relativamente ao cumprimento de *deadlines*
- etc.

Escalonamento on-line com prioridades dinâmicas

Verificação de escalonabilidade

- Como o escalonamento só é construído *on-line* pode ser importante saber *a priori* se um dado conjunto de tarefas cumpre ou não os seus requisitos temporais
- Existem três tipos principais de testes de escalonabilidade:
 - Baseados na **taxa de utilização** do CPU
 - Baseados na **carga imposta** ao CPU (*processor demand*)
 - Baseados no **tempo de resposta**

Escalonamento EDF

Testes para EDF baseados na taxa de utilização

(com preempção e n tarefas independentes)

- $D=T$

- $U(n) = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{T_i} \leq 1 \Leftrightarrow$ Conjunto escalonável

- **Permite usar 100% do CPU mantendo as garantias temporais**

- $D < T$

- $\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{D_i} \leq 1 \Rightarrow$ Conjunto escalonável

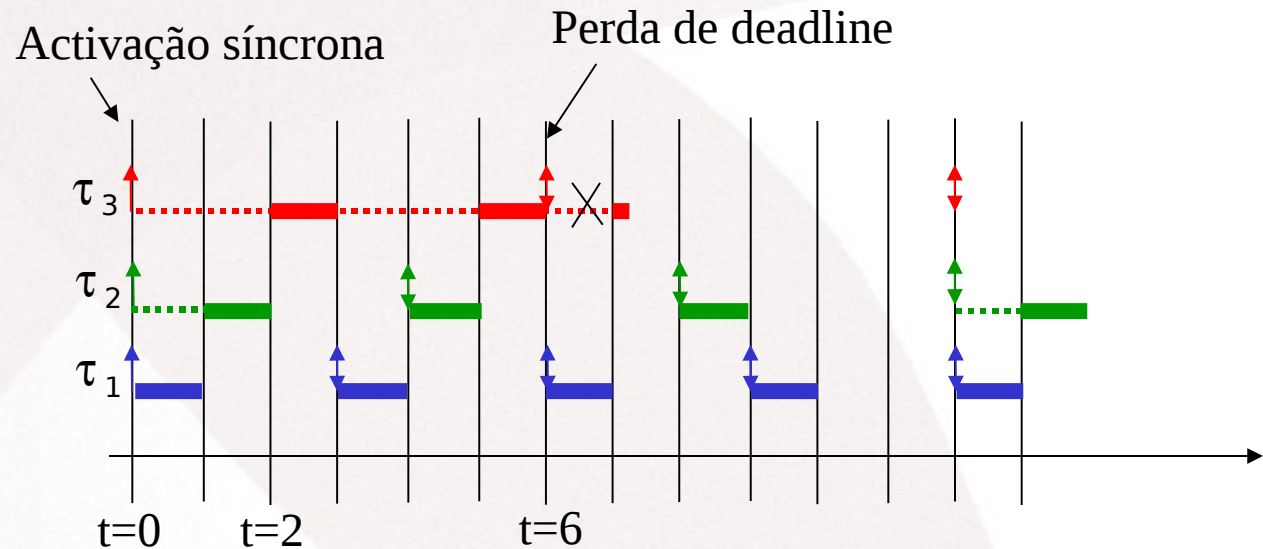
- D arbitrária

- $\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\min(D_i, T_i)} \leq 1 \Rightarrow$ Conjunto escalonável

Escalonamento RM – exemplo

Tabela de propriedades das tarefas

τ_i	T_i	C_i
1	3	1
2	4	1
3	6	2.1



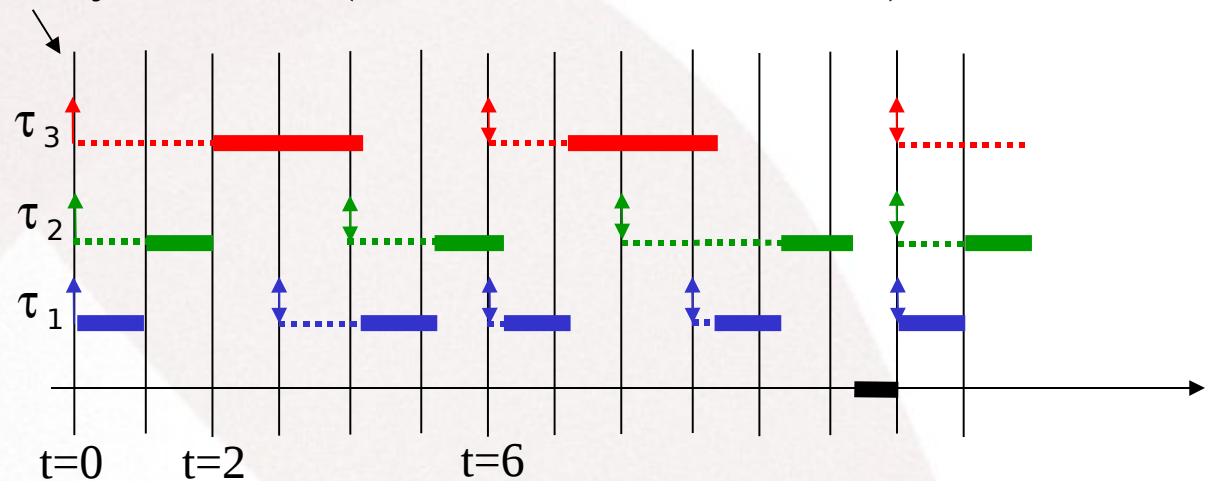
$U = 1/3 + 1/4 + 2.1/6 = 0.93 > 0.78 \Rightarrow 1 \text{ activação por período NÃO garantida, com perda de deadline em } \tau_3$

Escalonamento EDF – mesmo exemplo

Tabela de propriedades das tarefas

τ_i	T_i	C_i
1	3	1
2	4	1
3	6	2.1

Activação síncrona (irrelevante em EDF se $D=T$)



$$U = 1/3 + 1/4 + 2.1/6 = 0.93 \leq 1 \Leftrightarrow 1 \text{ activação por período garantida}$$

Tabela de propriedades das tarefas

Ativação síncrona (irrelevante em EDF se $D=T$)



- Não há perdas de deadline
- Menos preempções
- *Jitter* nas tarefas rápidas
- A resposta de pior caso não é necessariamente na activação síncrona

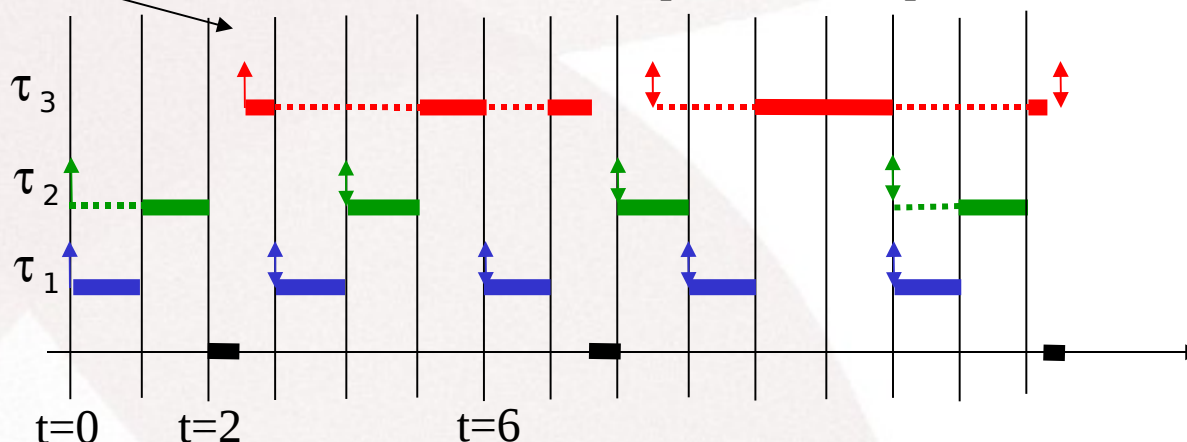
Escalonamento RM vs EDF – fases iniciais

Tabela de propriedades das tarefas

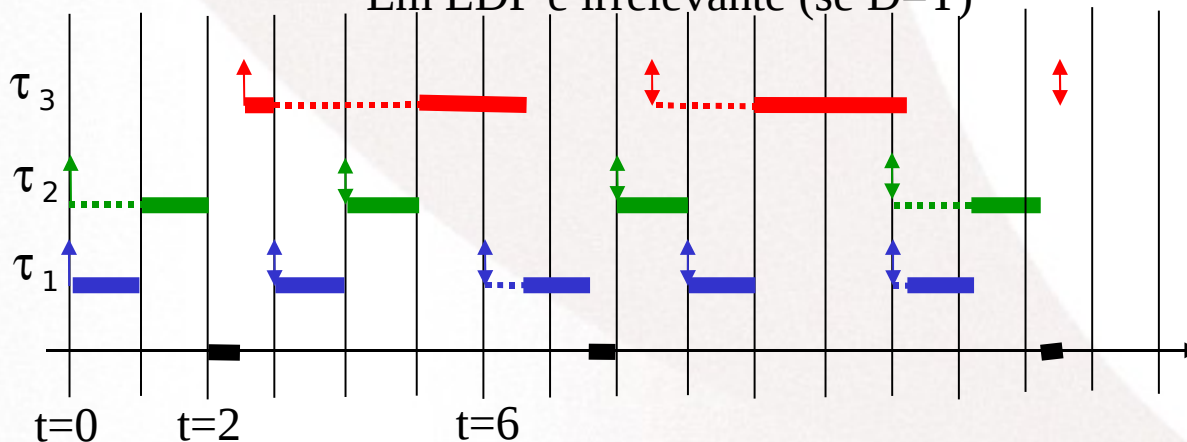
τ_i	T_i	C_i	O_i
1	3	1	0
2	4	1	0
3	6	2.1	2.5

Fase inicial O_3

Escalonamento RM passou a ser praticável !

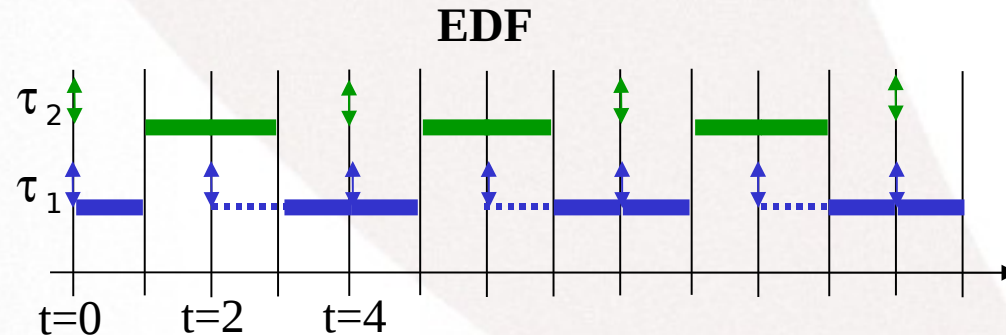
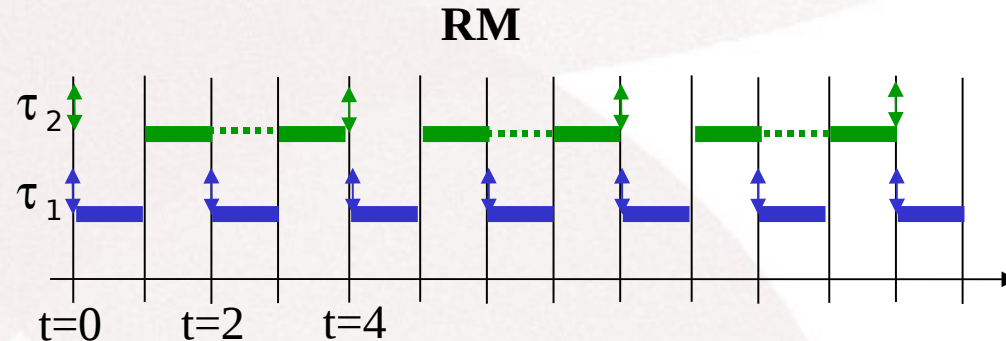


Em EDF é irrelevante (se $D=T$)



Escalonamento RM vs EDF – casos particulares

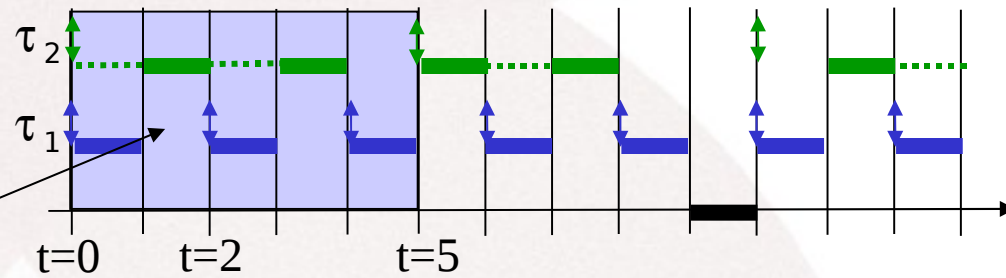
$$U = 1/2 + 2/4 = 1$$



O escalonamento efectivo depende do critério de desempate mas as deadlines são cumpridas de qualquer modo

Escalonamento RM vs EDF – casos particulares

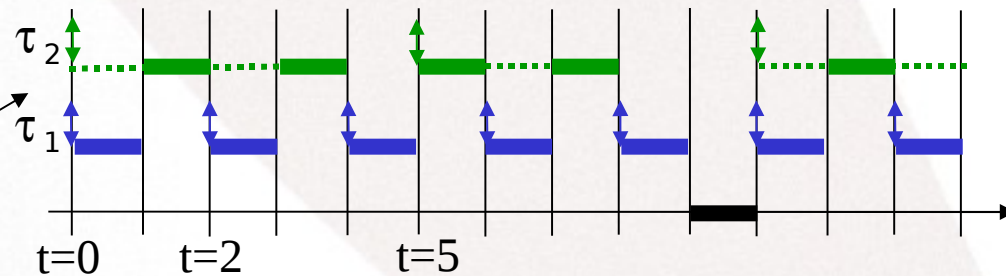
RM



$$U = 1/2 + 2/5 = 0.9$$

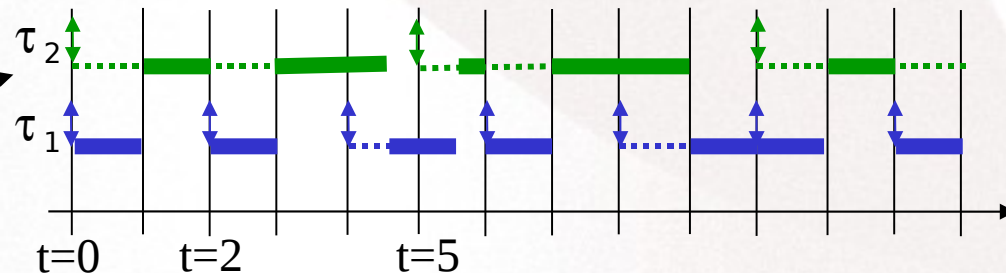
C_1 ou C_2 **não** podem ser aumentados sem causar perda de deadlines

EDF



C_1 ou C_2 **podem** ser aumentados sem causar perda de deadlines até $U=1$

$$C_2 = 2.5 \Rightarrow U=1$$



Escalonamento EDF

Noção de fairness

- Justeza na distribuição de um recurso (e.g. CPU)
- EDF é intrinsecamente mais justo (*fair*) que RM no sentido de que as tarefas vêm a sua prioridade elevada à medida que se aproximam da *deadline*, independentemente do seu período ou de outro parâmetro estático.

Consequências:

- Facilita-se o cumprimento das *deadlines*
- Evitam-se as preempções quando as tarefas se aproximam da *deadline*
- Usa-se o tempo disponível (*slack*) das tarefas de ritmo mais rápido mas cuja *deadline* é mais tardia (maior *jitter* nas tarefas de ritmo mais rápido)

Análise da carga imposta ao CPU

- Para $D \leq T$, o período de maior carga consecutiva de CPU (i.e. sem interrupção, tempo morto) corresponde à situação em que todas as tarefas são activadas sincronamente. Esse período chama-se *synchronous busy period* e tem duração L
- L calcula-se pelo método iterativo seguinte, que nos devolve o primeiro instante desde a activação síncrona em que o CPU executa todas as instâncias que lhe são submetidas

$$L(0) = \sum_i C_i$$
$$L(m+1) = \sum_i \left(\left\lceil \frac{L(m)}{T_i} \right\rceil * C_i \right)$$

Análise da carga imposta ao CPU

Sabendo L , temos de garantir a condição de carga, i.e.

$$h(t) \leq t, \forall_{t \in [0, L]} \Rightarrow \text{Conjunto escalonável (activações síncronas)}$$

em que $h(t)$ é a função de carga

$$h(t) = \sum_{D_i \leq t} \left(\left(1 + \left\lfloor \frac{(t - D_i)}{T_i} \right\rfloor \right) * C_i \right)$$

O cálculo de $h(t)$ para $\forall_{t \in [0, L]}$ é impraticável. Todavia basta verificar a condição de carga para os pontos em que a função de carga varia, i.e.

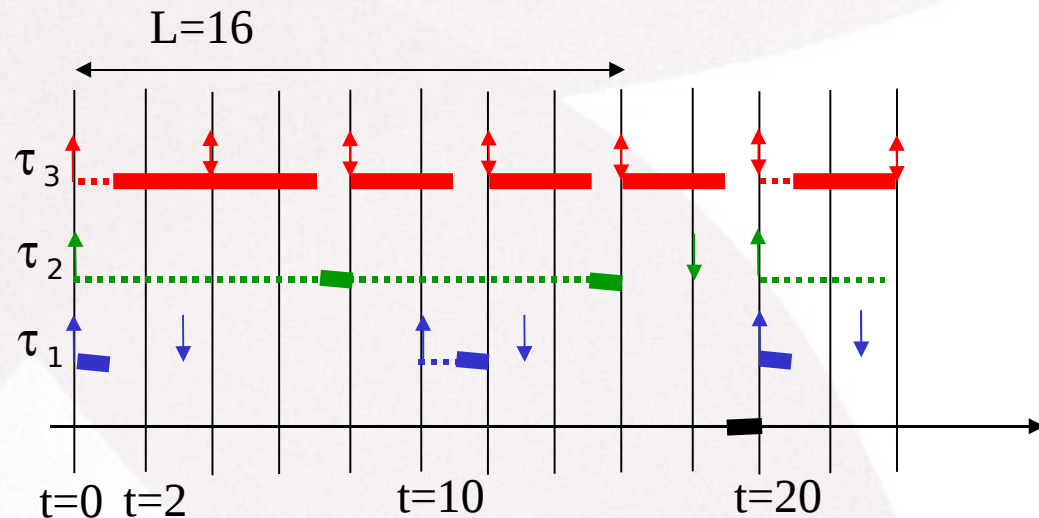
$$S = \bigcup_i (S_i), S_i = \{m * T_i + D_i : m = 0, 1, \dots\}$$

Nota: existem outros limites possivelmente mais curtos do que L

Escalonamento EDF

Tabela de propriedades das tarefas

τ_i	C_i	D_i	T_i
1	1	3	10
2	2	18	20
3	3	4	4



$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\min(D_i, T_i)} = \frac{1}{3} + \frac{2}{18} + \frac{3}{4} = 1.194 > 1 \Rightarrow \text{Escalonabilidade não garantida}$$

A análise de carga imposta ao CPU diz que o conjunto é escalonável

Análise do tempo de resposta

- Em EDF, a análise do **tempo de resposta** é mais complexa que em prioridades fixas pois não sabemos a priori qual instância que sofre a máxima interferência.
- Contudo é possível determinar o tempo de resposta de pior caso recorrendo também à noção de *busy period* mas relativo à deadline.
- Um majorante do tempo de resposta pode ser obtido muito facilmente com a seguinte expressão, desde que $U \leq 1$

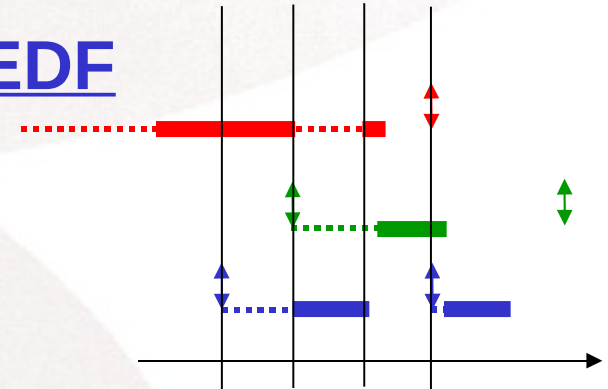
$$\forall_i, Rwc_i \leq T_i * U$$

Notar que este majorante é substancialmente pessimista!

Escalonamento LSF

Algumas propriedades de LSF vs EDF

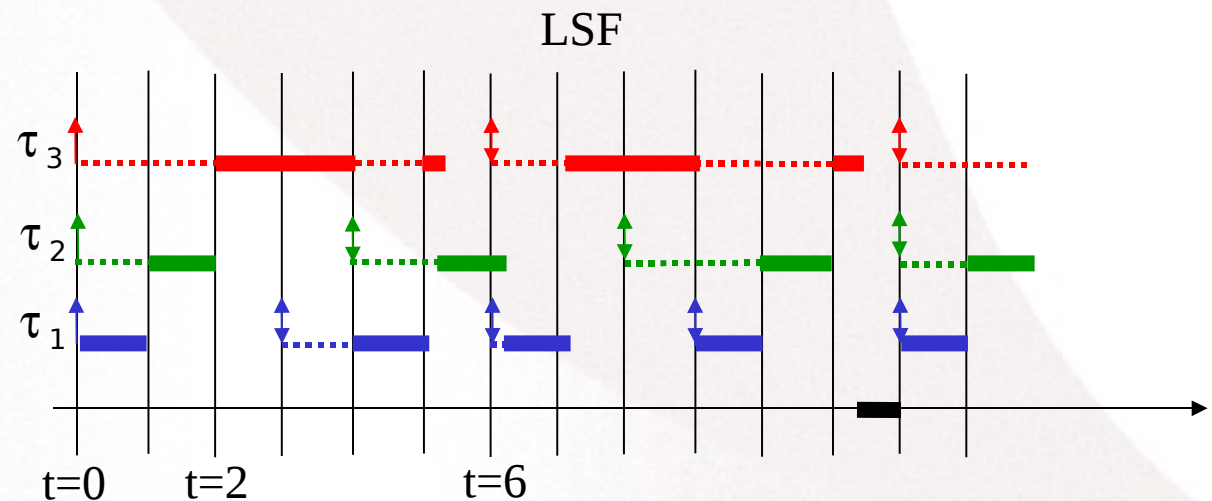
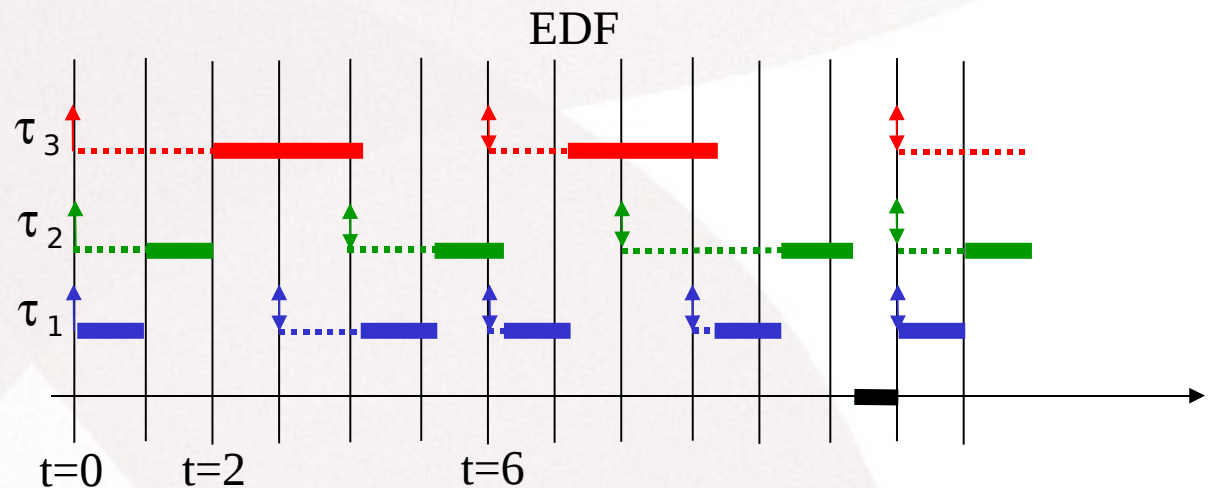
- Óptimo (tal como EDF)
- “Tempo livre” (slack) $\downarrow \Rightarrow$ Prioridade \uparrow
- Prioridade das tarefas prontas aumenta à medida que o tempo passa
- Prioridade da tarefa em execução mantém-se constante
 - em EDF, as prioridades de todas as tarefas prontas e em execução aumentam de igual modo à medida que o tempo passa
- Reescalonamento nos pontos em que há activações ou terminações
- Causa maior número de preempções do que EDF (maior overhead)
- **Não apresenta vantagens face a EDF !**



Escalonamento LSF – mesmo exemplo

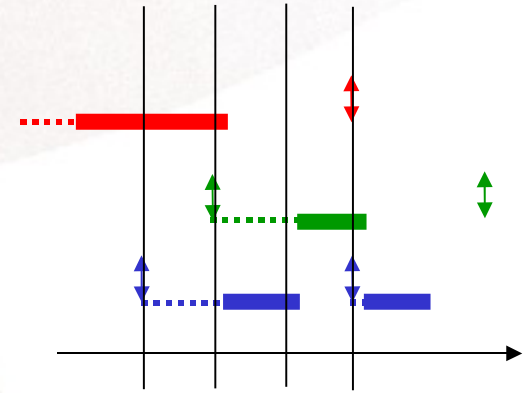
Tabela de propriedades das tarefas

τ_i	T_i	C_i
1	3	1
2	4	1
3	6	2.1



Escalonamento FCFS

Algumas propriedades de FCFS vs EDF/LLF



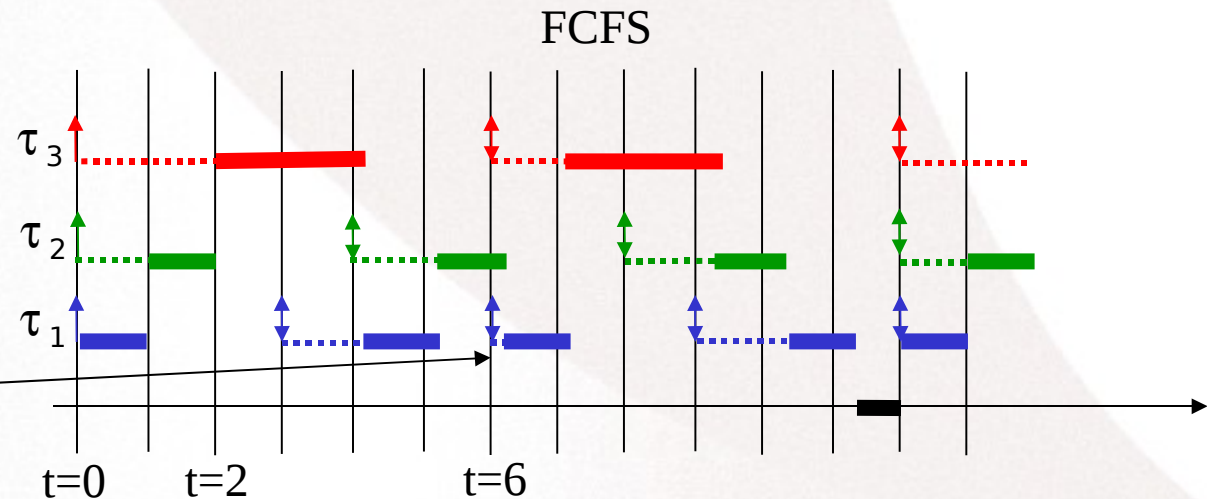
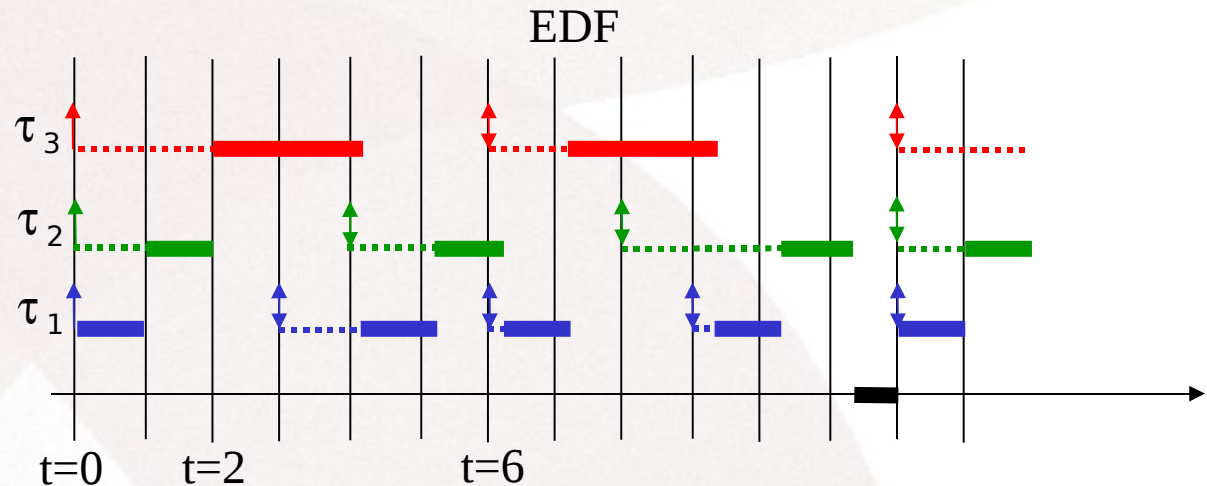
- Não óptimo
 - Pode levar a perda de *deadlines* com baixa utilização de CPU
- “Idade da instância” $\uparrow \Rightarrow$ Prioridade \uparrow
- Prioridade das tarefas prontas e em execução aumenta à medida que o tempo passa (tal como EDF)
- Quando chega uma instância nova é-lhe sempre atribuída a menor prioridade
- Não causa preempções (menor overhead – fácil implementação)
- **Comportamento temporal pobre !**

Escalonamento FCFS – mesmo exemplo

Tabela de propriedades das tarefas

τ_i	T_i	C_i
1	3	1
2	4	1
3	6	2.1

Quando a idade é igual o critério de desempate é determinante!



Resumo da Aula 6

- Escalonamento *on-line* com prioridades dinâmicas
- O critério *EDF - Earliest Deadline First*: limite de utilização de CPU
- **Optimalidade** de EDF e **comparação com RM**:
 - nível de escalonabilidade, número de preempções, *jitter* de disparo e tempo de resposta
- Outros critérios de prioridades dinâmicas:
 - *LLF (LST) - Least Laxity (Slack) First*
 - *FCFS - First Come First Served*