



- Escalonador

- Referências

Sistemas Embarcados: (ELF74)

Prof: DaLuz



- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Estático:

- ☐ Determinação **antecipada** de um **cronograma** de execução para um sistema de tarefas, de forma que todos os serviços **atendam** seus respectivos **prazos**.
- ☐ A cargo do **programador** (compilação).
- ☐ Ambiente de execução **colaborativo**.



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Dinâmico:

- ☐ Determinação em **tempo real** de qual serviço deve ser executado em seguida, de forma que **todos** os serviços atendam seus respectivos **prazos**.

- ☐ A cargo do **escalonador** do RTOS (execução).
 - Ambiente de execução não-preemptivo: **Prioridades fixas**
 - Ambiente de execução preemptivo: **Prioridades fixas ou variáveis**



- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo:

- ☐ Seja o seguinte sistema de tarefas **aperiódicas**:

Tarefa	Ativação (Φ)	Tempo de Execução (E)	Prioridade (P)
J1	6	2	3
J2	3	4	2
J3	0	5	1

- ☐ Vejamos como ficam os diagramas de **Gantt** da execução desse sistema em:

1. Ambiente **não-preemptivo**
2. Ambiente **preemptivo**



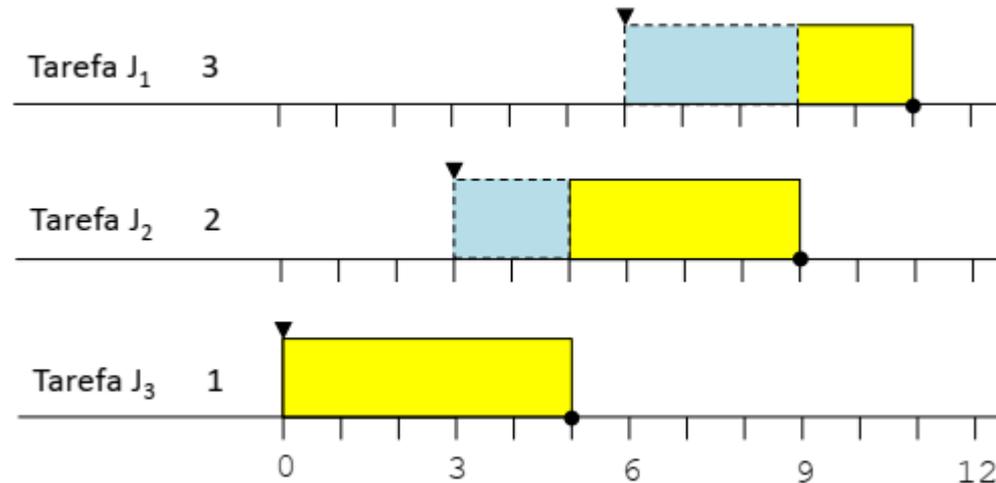
- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo:

- ☐ Ambiente **Não-preemptivo**:

Diagrama de Gantt:



- ☐ Há **inversão** de prioridade na execução das tarefas



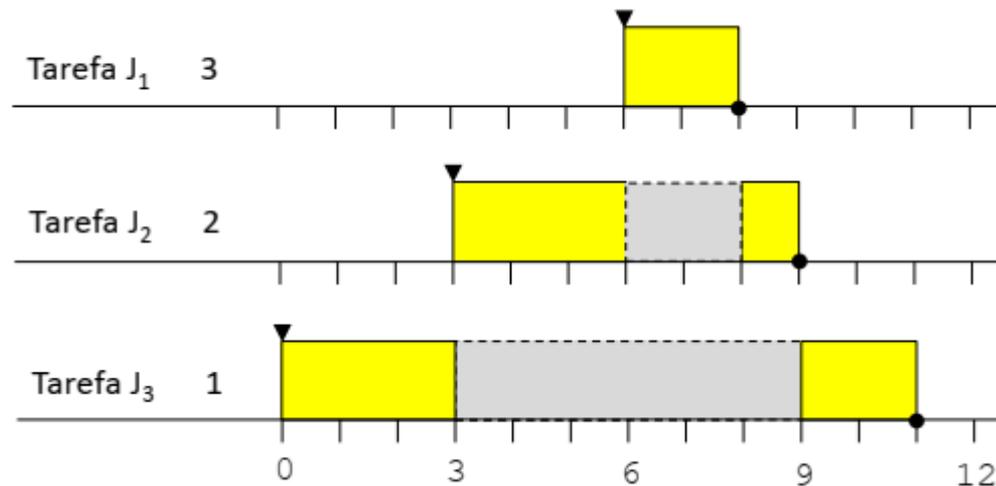
- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo:

- ☐ Ambiente **Preemptivo**:

Diagrama de Gantt:



- ☐ As prioridades na execução das tarefas são **efetivas**



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Políticas – Prioridades estáticas:

First Come First Served

- Escalonamento **dinâmico não-preemptivo** em que a ordem de execução dos serviços é determinada pela **ordem de entrada** das tarefas no estado “pronto”.
- Raramente** utilizado em aplicações de tempo real, a não ser como **meio de desempate** entre serviços de uma mesma fila de prioridade em escalonadores dinâmicos mais sofisticados.



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Políticas – Prioridades estáticas:

Round Robin

- Escalonamento **dinâmico preemptivo** similar ao FCFS quanto à ordem de execução dos serviços, mas cada serviço é executado por um intervalo máximo de tempo **Tq**.
- Se o serviço não terminar dentro do intervalo **Tq**, este será interrompido e terá que **aguardar** um próximo intervalo para continuar.



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo:

- Seja o seguinte sistema de tarefas **aperiódicas**, com prioridades **iguais**:

Tarefa	Ativação (Φ)	Tempo de Execução (E)
J1	0	5
J2	1	4
J3	5	3

- Vejam como fica o diagramas de **Gantt** da execução desse sistema em um escalonador **Round Robin** com intervalo de tempo **$T_q = 2$** .

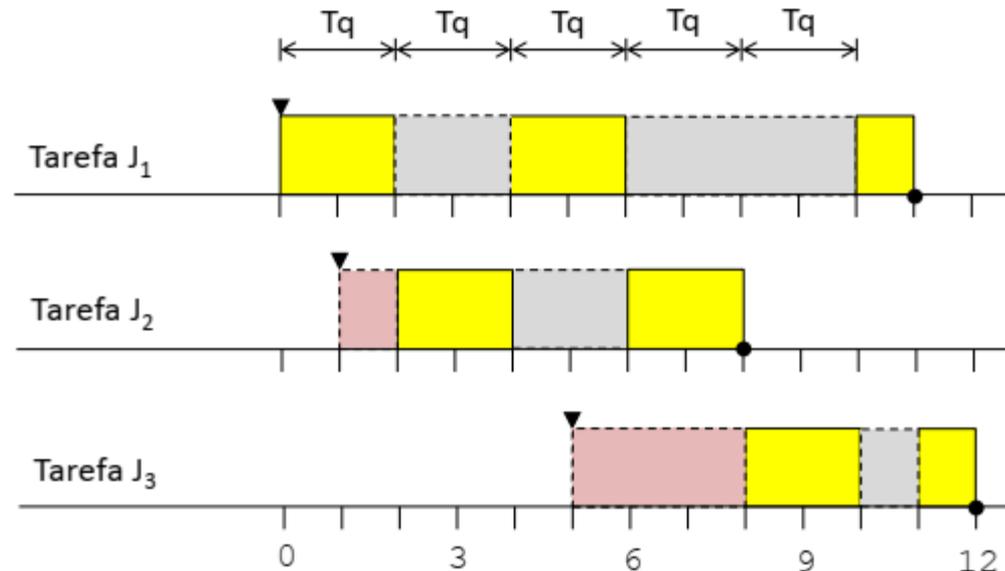


- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo:

Diagrama de Gantt:



☐ Tarefas **prontas** e não estão executando ...



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Desempenho do Round Robin

- ☐ É fortemente **influenciado** pelo intervalo de tempo **T_q** , pelos tempos de **execução** das tarefas e pelo **número** de tarefas ativas.

- ☐ Casos **extremos**:
 - **T_q** \geq tempo de execução da tarefa mais demorada:
 - Comportamento semelhante ao **FCFS**
 - **T_q** \leq tempo de execução da troca de contexto:
 - Ineficiência total (tarefas não são executadas)



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Políticas – Prioridades Dinâmicas:

Highest Priority First

- ▣ Escalonamento **dinâmico preemptivo** em que a ordem de execução das tarefas é determinada por **prioridades** fixas.
- ▣ Critérios de atribuição de prioridade:
 - Taxa Monotônica (*Rate Monotonic*, **RMS**)
 - Prioridade maior para serviços com períodos menores
 - Prazo Monotônico (*Deadline Monotonic*, **DMS**)
 - Prioridade maior para serviços com prazos menores



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Desempenho: RMS *versus* DMS

- ☐ **RMS** e **DMS** são políticas que **garantem** a escalonabilidade ótima de tarefas periódicas com prioridades fixas **se** a taxa de utilização do processador for **menor** do que **69%**.
- ☐ **RMS** é preferida quando os **períodos** das tarefas são mais **curtos** do que seus **prazos**.
- ☐ **DMS** é preferida quando os **prazos** das tarefas são mais **curtos** do que seus **períodos**.



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Políticas – Prioridades:

Round Robin com HPF

- ☐ Uma combinação das políticas *Round Robin* e HPF resulta em várias filas de execução com mesmo **Tq**, sendo uma para cada prioridade.
- ☐ É preciso atentar para o **risco** de que tarefas **menos** prioritárias **nunca** sejam executadas, apesar do uso da política *Round Robin*.



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Escalonabilidade por Taxa de Utilização

- Um sistema de n tarefas pode ser escalonável **se** a soma das taxas de utilização de todas as suas tarefas for menor ou igual a **1**:

$$\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{T_i} \leq 1$$

- Na prática, **somente** sob certas condições:
 - Os serviços devem encaixar-se perfeitamente em todas as combinações de fase entre suas ativações.



- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo 1:

- Seja um sistema de tarefas com as seguintes características de tempo e com prioridades por taxa monotônica (**RMS**):

Tarefa	Período (T) / Prazo (D)	Tempo de Execução (E)
J1	6	2
J2	12	3
J3	12	5

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{2}{6} + \frac{3}{12} + \frac{5}{12} = 1,0$$

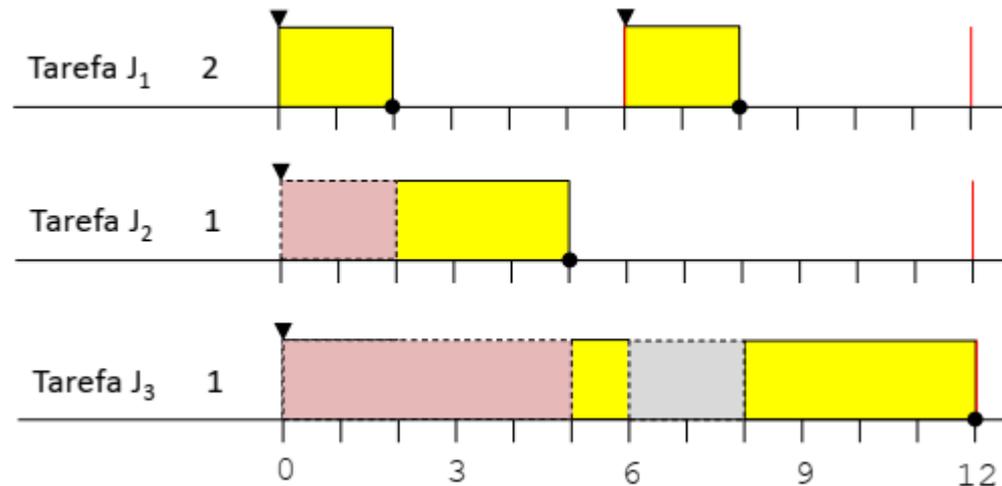


- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo 1:

Diagrama de Gantt:



▣ Períodos harmônicos: encaixe perfeito



- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo 2:

- Seja um sistema de tarefas com as seguintes características de tempo e com prioridades por taxa monotônica (**RMS**):

Tarefa	Período (T) / Prazo (D)	Tempo de Execução (E)
J1	3	1
J2	5	1
J3	11	5

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{5}{11} = 0,99$$

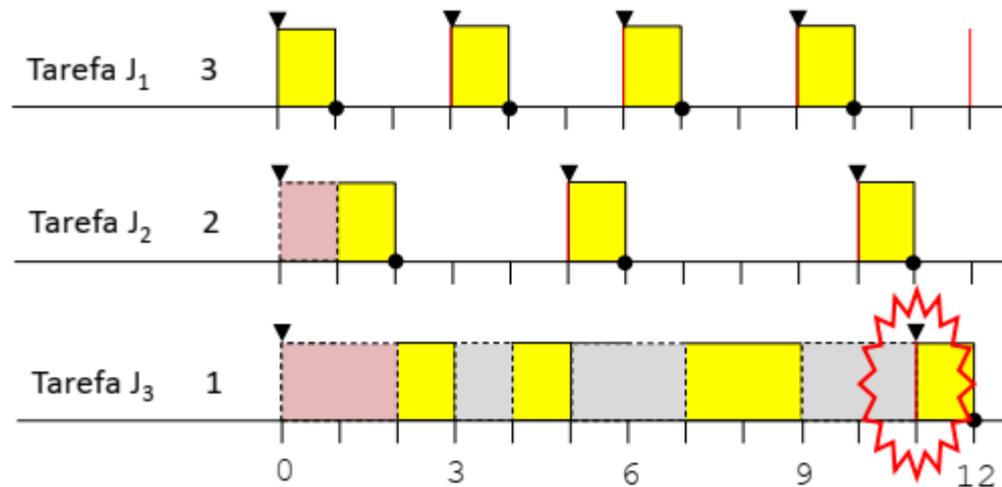


- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo 1:

Diagrama de Gantt:



☐ Períodos não-harmônicos: não escalonável



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Simulador de Escalonamento:

📖 Simulador de escalonamento **SimSo** *Web*:

SimSo:

<http://projects.laas.fr/simso/simso-web/>

📖 O **SimSO** fornece várias informações úteis:

- Diagrama de *Gantt* das tarefas
- **Estatísticas** da execução das tarefas
- Taxa de **utilização** do processador
- Número de **preempções**
- **Prazos** não atendidos



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Simulador de Escalonamento:

- ▣ O **SimSO** pode ainda ser configurado para:
 - Simulação de sistemas **multiprocessados**
 - Simulação de **overheads** do escalonador*
 - Simulação de tarefas **aperiódicas** e **esporádicas***

**Configurações no modo "expert"*



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Exercício 1:

- Simule o escalonamento do sistema de tarefas do quadro abaixo com o **SimSO Web**:

Task	Period	Deadline	WCET	Act. Date
J1	6 ms	6 ms	2 ms	0 ms
J2	12 ms	12 ms	3 ms	0 ms
J3	12 ms	12 ms	5 ms	0 ms

- Parâmetros da simulação:

– *General: Duration = 100 ms, Processors = 1,*

Execution time model = WCET (worst-case execution time)

– *Scheduler = simso.schedulers.RM*

Obs: O tempo de execução do pior caso (WCET) de uma tarefa computacional é o tempo máximo que a tarefa pode levar para ser executada em uma plataforma de hardware específica.



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Exercício 2:

- Simule o escalonamento do sistema de tarefas do quadro abaixo com o **SimSO Web**:

Task	Period	Deadline	WCET	Act. Date
J1	3 ms	3 ms	1 ms	0 ms
J2	5 ms	5 ms	1 ms	0 ms
J3	11 ms	11 ms	5 ms	0 ms

- Parâmetros da simulação:

– *General: Duration = 100 ms, Processors = 1,*

Execution time model = WCET (worst-case execution time)

– *Scheduler = simso.schedulers.RM*

Obs: O tempo de execução do pior caso (WCET) de uma tarefa computacional é o tempo máximo que a tarefa pode levar para ser executada em uma plataforma de hardware específica.



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Garantias de Escalonabilidade:

- ☐ O Artigo de Liu & Layland (1973):
- ☐ Liu, C. L. and Layland, J. W., **Scheduling Algorithms for Multiprogramming in a Hard-Real-Time Environment**, Journal of the ACM 20(1), 1973, pp. 46-61.
- ☐ **Enunciado** e **demonstração** de vários teoremas
- ☐ Escalonamento por taxa monotônica (**RMS**)
 - Política ótima para prioridades estáticas ($\leq 69\%$)
- ☐ Escalonamento por prazo mais próximo (**EDF**)
 - Política ótima para prioridades dinâmicas ($\leq 100\%$)



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Teorema 1 – Liu & Layland:

- ▣ Dado um sistema de n tarefas periódicas com prazo igual aos período e prioridades por **RMS** em ambiente preemptivo, existe um limite superior **$U(n)$** para a taxa de utilização do processador que garante escalonabilidade:

$$\sum_{i=1}^n \frac{E_i}{T_i} \leq U(n) = n \cdot \left(2^{\frac{1}{n}} - 1\right)$$

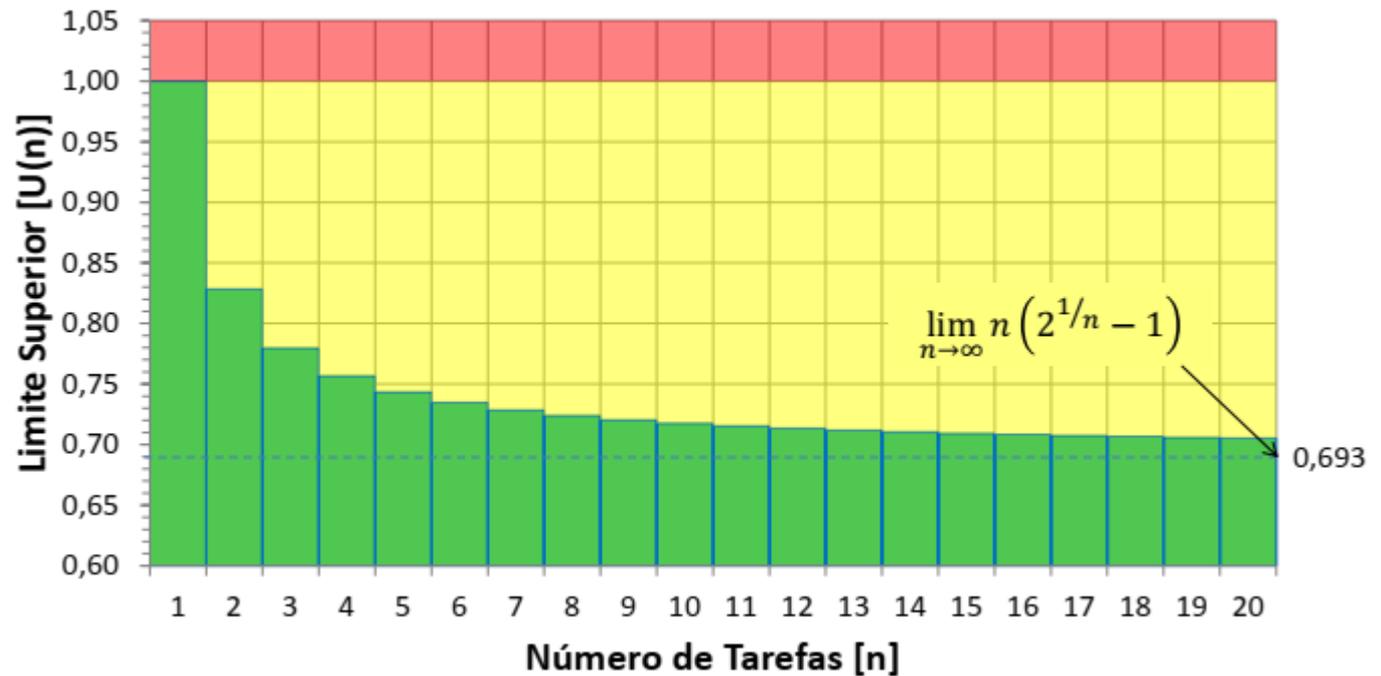
$$\lim_{n \rightarrow \infty} n \left(\sqrt[n]{2} - 1 \right) = \ln(2)$$



- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Comportamento de $U(n)$:





- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Hiperperíodo

- ☐ O **hiperperíodo** de um sistema de tarefas é o período de tempo em que o **padrão inicial** de ativação das tarefas de um sistema se **repete**.
- ☐ Calculado como sendo o **mínimo múltiplo comum** dos períodos **T_i** das tarefas.
- ☐ Uma análise completa pelo diagrama de **Gantt** deve ter a duração de um **hiperperíodo**.



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Teorema 2 – Liu & Layland:

- ☐ Dado um sistema de tarefas **periódicas** e **independentes**, se **todas** forem ativadas no **mesmo** instante e **cada** tarefa **cumprir** o prazo do seu **primeiro** serviço, então todos os demais prazos **futuros** serão **atendidos**.
- ☐ A validade do teorema não fica condicionada apenas a sistemas de tarefas com prioridades por **RMS**.



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo:

- Seja um sistema de tarefas J_i com as seguintes características de tempo em tiques:

Tarefa	Período (T) / Prazo (D)	Tempo de Execução (E)
J1	3	1
J2	4	1
J3	12	3

- Os prazos das tarefas são iguais aos respectivos períodos e suas prioridades atribuídas por **RMS**.

Investigar se o conjunto de tarefas dado é escalonável ou não, determinando:

1. A taxa de utilização do processador
2. O limite superior da taxa de utilização $U(n)$ do Teorema 1 de Liu & Layland (1973)
3. A solução gráfica (Gantt) usando o Teorema 2 de Liu & Layland (1973)



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo:

1. A taxa de utilização do processador

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{1}{3} + \frac{1}{4} + \frac{3}{12} = 0,83$$

2. Limite superior da taxa de utilização:

$$U(3) = 3 \cdot \left(2^{\frac{1}{3}} - 1\right) = 0,78$$

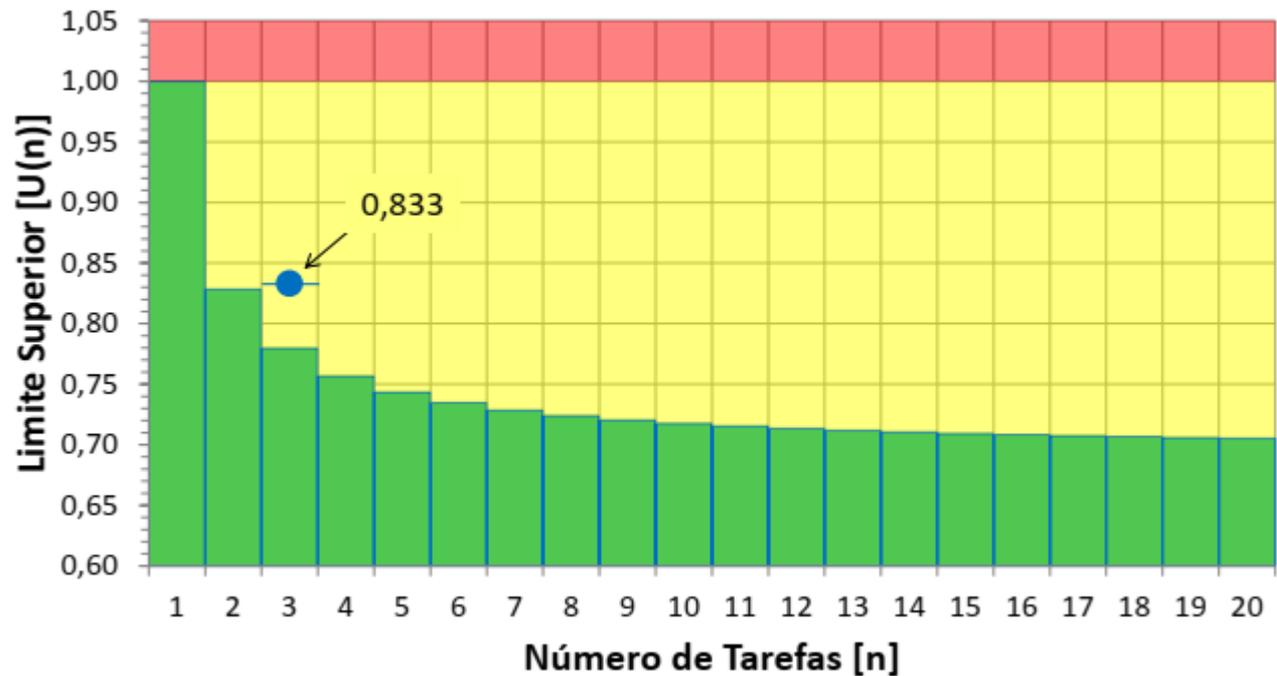
☐ Portanto, a taxa de utilização encontra-se na região de incerteza do Teorema 1.



- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo:



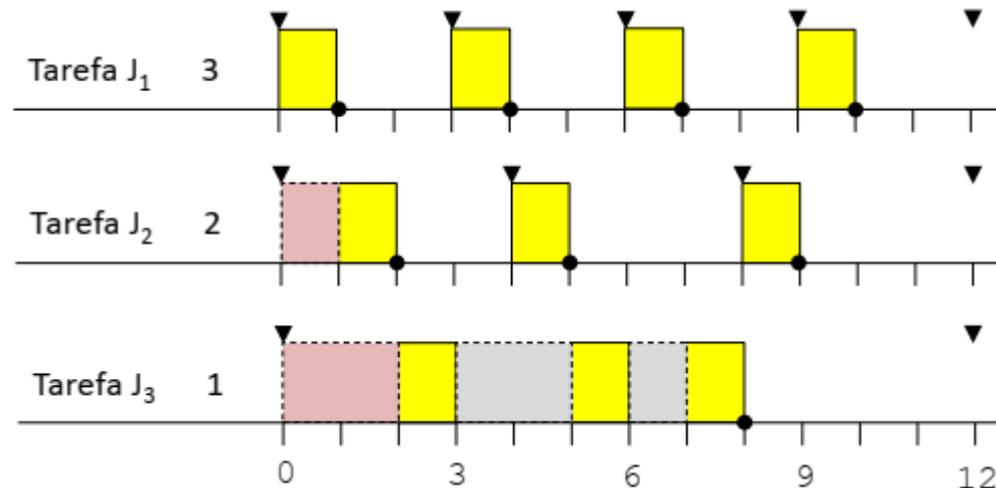


- Escalonador
- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo 1:

Diagrama de Gantt:



☐ O sistema é **escalonável** pelo Teorema 2.



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Exercício:

- ☐ Faça a análise de escalonabilidade completa do sistema de tarefas J_i a seguir (tempos em tiques):

Tarefa	Período (T) / Prazo (D)	Tempo de Execução (E)
J1	3	1
J2	6	2
J3	9	2

- ☐ Os prazos das tarefas são iguais aos respectivos períodos e suas prioridades atribuídas por **RMS**.

Investigar se o conjunto de tarefas dado é escalonável ou não, determinando:

1. A taxa de utilização do processador
2. O limite superior da taxa de utilização $U(n)$ do Teorema 1 de Liu & Layland (1973)
3. A solução gráfica (Gantt) usando o Teorema 2 de Liu & Layland (1973)



- Escalonador

- Referências

ESCALONAMENTO

Exemplo:

1. A taxa de utilização do processador

$$\text{Taxa de Utilização} = \frac{1}{3} + \frac{2}{6} + \frac{2}{9} = 0,88$$

2. Limite superior da taxa de utilização:

$$U(3) = 3 \cdot \left(2^{\frac{1}{3}} - 1\right) = 0,78$$

☐ Portanto, a taxa de utilização encontra-se na região de incerteza do Teorema 1.



- Escalonador

- Referências

Referências:

Laboratório 05:

http://www.elf74.daeln.com.br/Labs/Keil_Lab5.pdf

- ▣ * Refs ↔ Renesas.com, Pixabay.com, wikimedia.org, flickr, community.arm.com, Undergraduated course Renesas / CWS71-Prof. Douglas P. B. R. e Robson L., ytchannel Gustavo W. D., *ARMv7-M Architecture Reference Manual*, CSW40-Sistemas Microcontrolados – Prof. Guilherme P., toshiba.semicon-storage.com, micronrollerslab.com, lfelectronics.com.br, [elf74-Prof. Hugo V. N.](http://elf74.com.br), stm.st.com, jblopen.com, microsoft.com.