



- RTOS
- Escalonador
- Referências

Sistemas Embarcados: (ELF74)

Prof: DaLuz



- RTOS

- Escalonador

- Referências

RTOS

FreeRTOS:

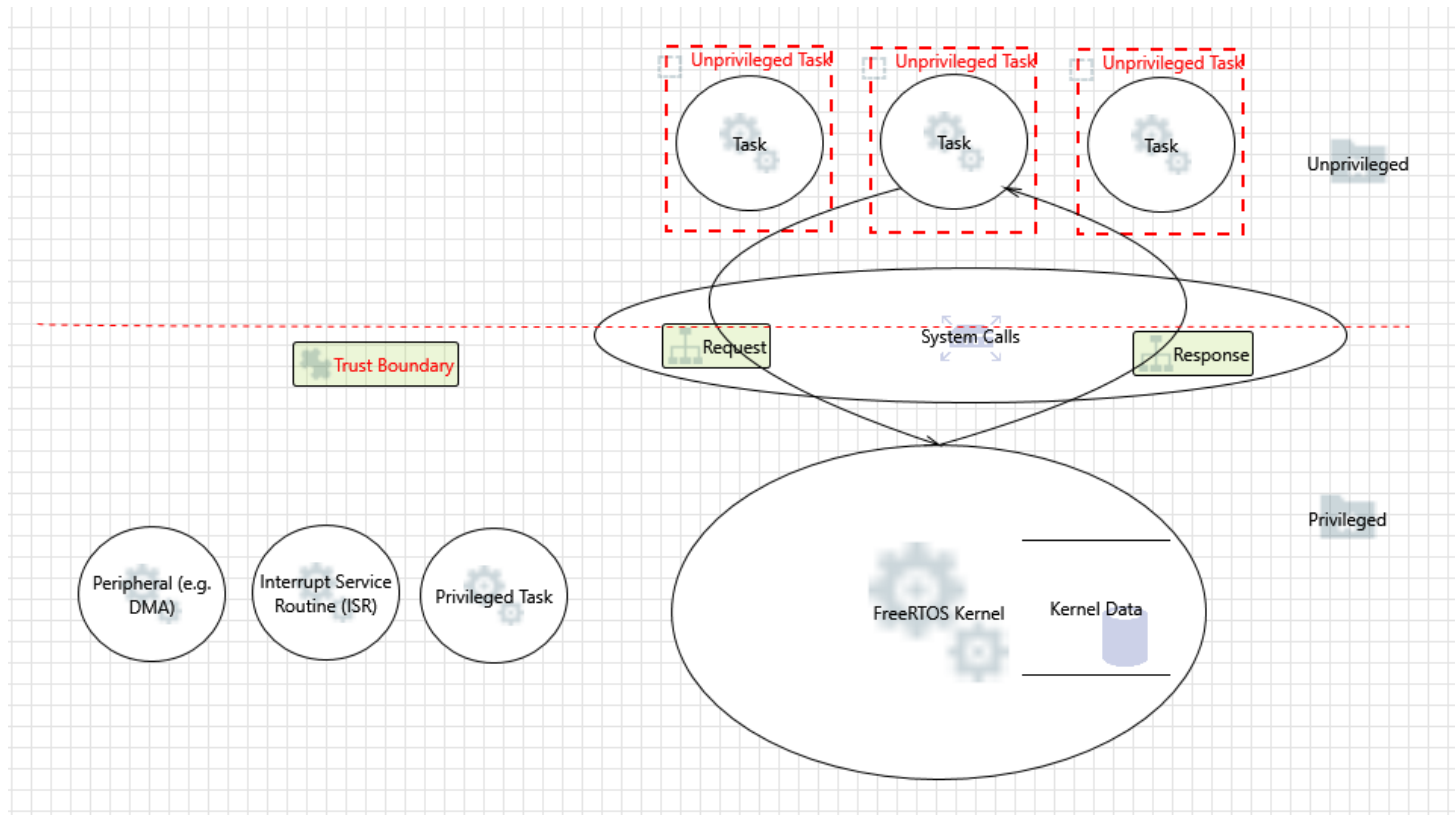
- ▣ A maior parte do **FreeRTOS** é executada no modo *handler*
 - **SysTick**(Handler): escalonamento por tempo
 - **SVC**(Handler) : escalonamento por bloqueio
 - **PendSV**(Handler): escalonamento por interrupção
- ▣ Baixa **latência** no atendimento de interrupções é obtida devido ao uso de **prioridades baixas** para essas **exceções**. As prioridades são configuradas de modo que **não** ocorra preempção entre elas.
- ▣ Os valores válidos de **prioridade** ↑ variam **0** a **(configMAX_PRIORITIES - 1)** onde configMAX_PRIORITIES pode ser no máximo **32**. O valor é definido no FreeRTOSConfig.h e pode variar por arquitetura.



- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

FreeRTOS:





- RTOS

- Escalonador

- Referências

RTOS

FreeRTOS:

- Arquitetura *picokernel* simples
- Dimensionamento automático (volume pequeno)
- Processamento determinístico
- Desempenho rápido em tempo real
- Agendamento preventivo e cooperativo
- Suporte flexível à prioridade de *thread*
- Criação de objeto de sistema dinâmico
- Número ilimitado de objetos do sistema
- Manipulação de interrupção otimizada
- Preemption-threshold™*
- Herança de prioridade
- Event-chaining™*
- Temporizadores rápidos de *software*
- Gerenciamento de memória em tempo de execução
- Monitoramento de desempenho em tempo de execução
- Análise de pilha em tempo de execução
- Rastreamento de sistema interno
- Amplo suporte ao processador
- Amplo suporte à ferramenta de desenvolvimento
- Completamente neutro de *endian*
- AMP – Multiprocessamento Assimétrico*
- SMP – Multiprocessamento Simétrico*



- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

FreeRTOS:

Item (<i>m7</i> eq.):	Bytes Utilizados (RAM)
Escalonador	236 bytes (podem ser facilmente reduzidos usando tipos de dados menores).
Para cada fila criada	76 bytes + área de armazenamento de fila.
Para cada tarefa criada	64 bytes (inclui 4 caracteres para o nome da tarefa) + o tamanho da pilha de tarefas.
RTOS kernel	5 a 10 Kbytes (ROM)

<https://www.freertos.org/FAQMem.html>



- RTOS

- Escalonador

- Referências

RTOS

FreeRTOS:

- Considerando um cenário de exemplo em que **quatro** tarefas de aplicação implementadas no **FreeRTOS** competem pelo processamento e medições de troca de contexto entre tarefas são necessárias. (*m4 eq.*)

Task	Period	Priority
A	05 ms	6 (High)
B	06 ms	5 (Middle-High)
C	07 ms	4 (Middle)
D	08 ms	3 (Middle-Low)
IDLE	-	0 (Low)

<https://sol.sbc.org.br/index.php/wperformance/article/download/15728/15569>



- RTOS

- Escalonador

- Referências

RTOS

FreeRTOS:

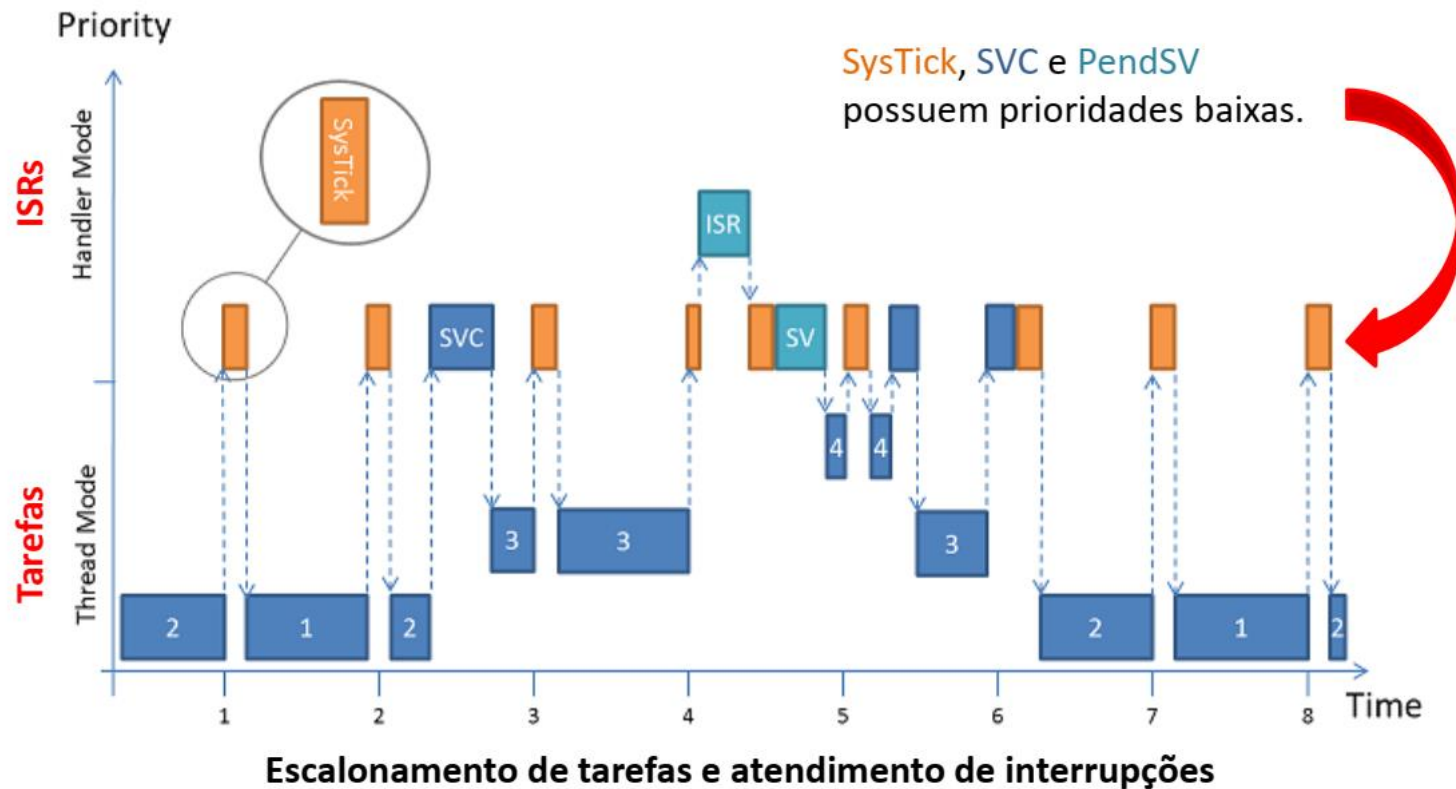
- ▣ Variáveis *unsigned* começam com “u”.
- ▣ Variáveis do tipo *char* (8 bits) começam com “c”.
- ▣ Variáveis do tipo *short* (16 bits) começam com “s”.
- ▣ Variáveis do tipo *long* (32 bits) começam com “l”.
- ▣ Ponteiros começam com “p”.
- ▣ Funções privadas em um arquivo começam com “prv”.
- ▣ As funções da API são prefixadas com seu tipo de retorno, conforme a convenção definida para variáveis, com a adição do prefixo “v” de “void”.
- ▣ Os nomes das funções da API começam com o nome do arquivo no qual estão definidos. Por exemplo “vTaskDelete” é definido em “tasks.c” e possui um tipo de retorno “void”.



- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Prioridades das Exceções:

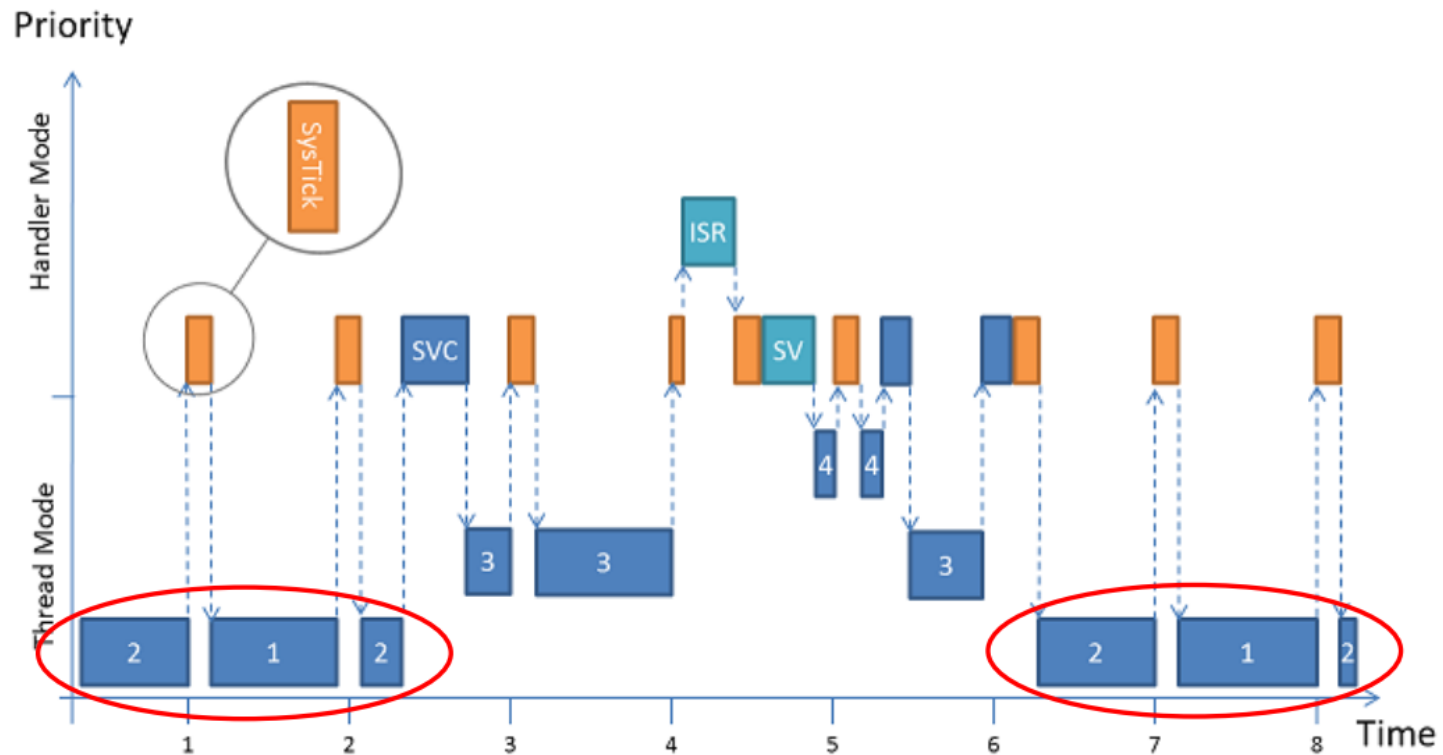




- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Comportamento:



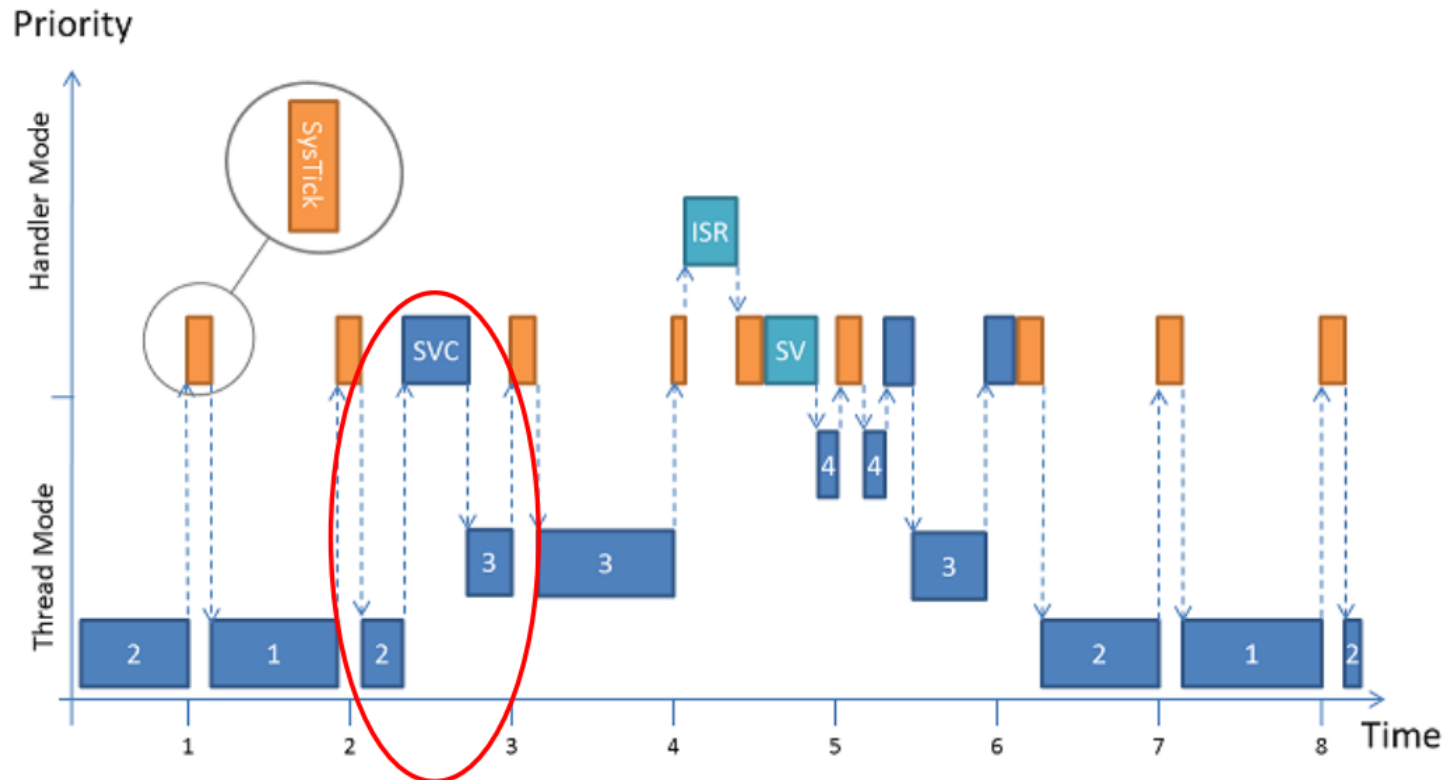
Tarefas 1 e 2 possuem a mesma prioridade e são escalonadas por tempo (Round Robin) enquanto as tarefas 3 e 4, com prioridades maiores, estejam bloqueadas.



- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Comportamento:



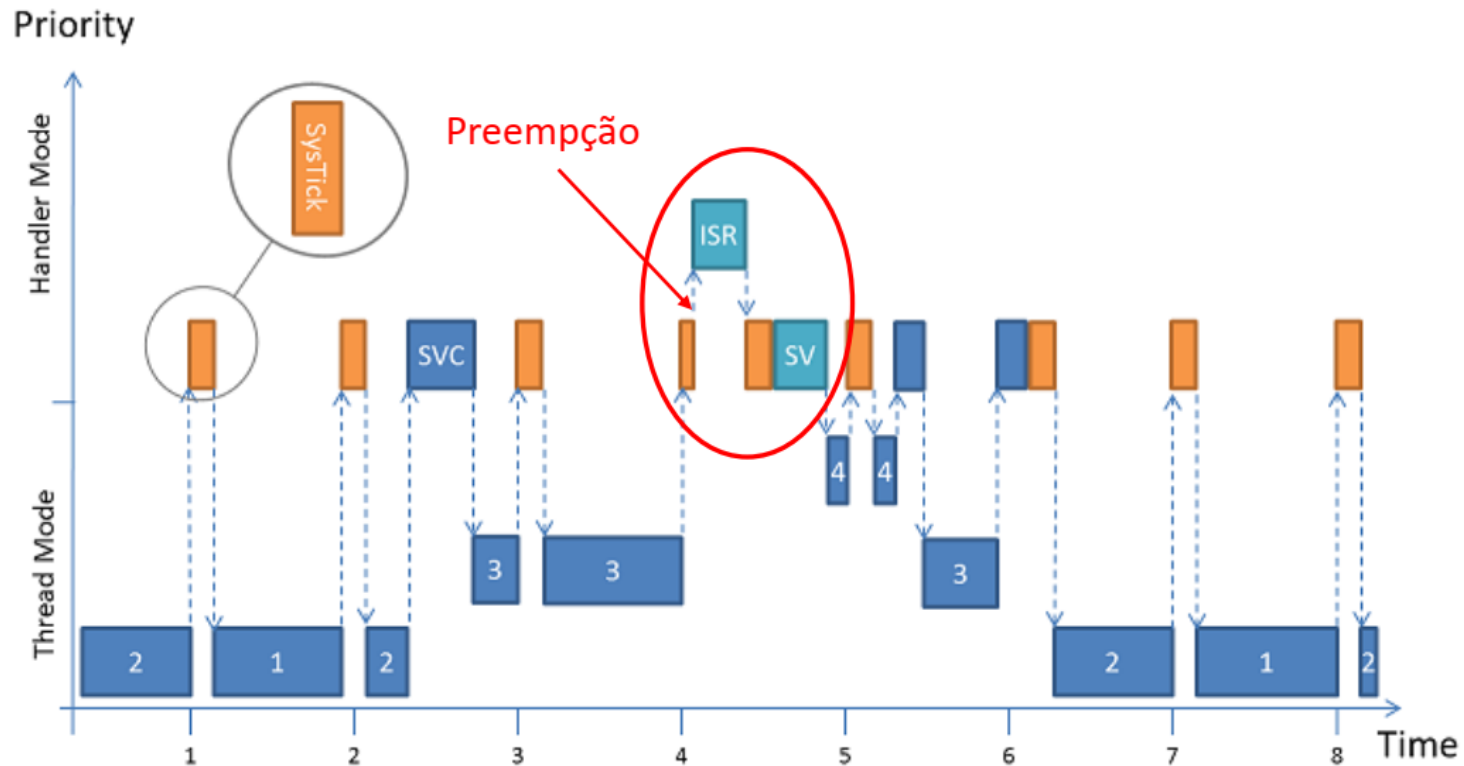
A tarefa 2 faz uma chamada ao RTOS (`SVC_Handler`) que desbloqueia a tarefa 3. O escalonador despacha a tarefa 3 imediatamente, pois esta possui maior prioridade.



- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Comportamento:



Uma interrupção causa preempção do **SysTick_Handler**. A rotina de atendimento (ISR) faz uma chamada ao RTOS que desbloqueia a tarefa 4, por meio do **PendSV_Handler**.

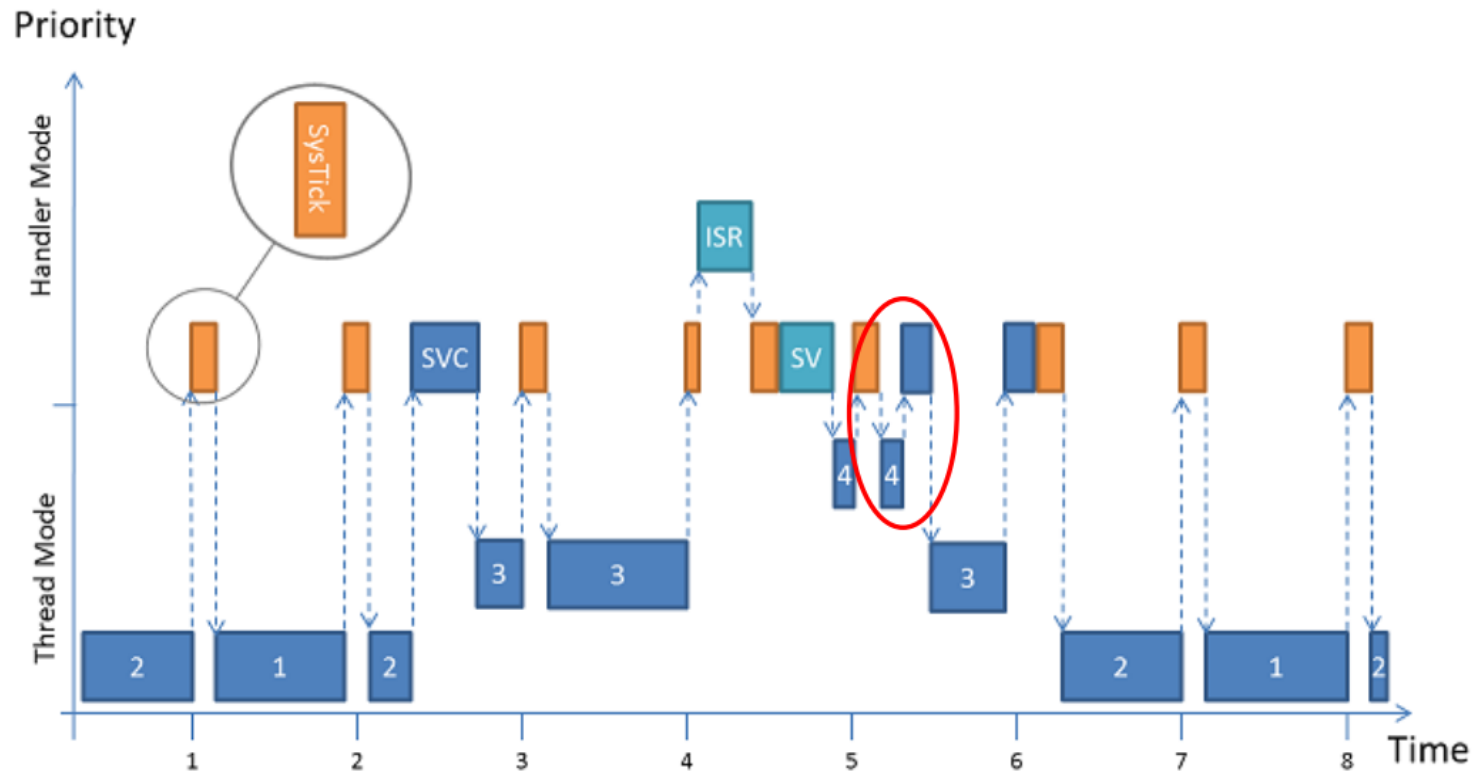




- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Comportamento:



A tarefa 4 é bloqueada novamente por uma chamada ao RTOS (`SVC_Handler`) e a execução passa imediatamente para a tarefa 3 (escalonamento por bloqueio).



- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Comportamento:



Por fim, a tarefa 3 é bloqueada também por uma chamada ao RTOS (`SVC_Handler`) e a execução passa imediatamente para a tarefa 2 (escalonamento por bloqueio).



- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Boas Práticas:

Documentação em português:

<https://learn.microsoft.com/pt-br/azure/rtos/threadx/>



FUNKTIONALE SICHERHEIT
GEPRÜFT
FUNCTIONAL SAFETY
APPROVED



2004: 141T = 121M+ 20R



<http://www.elf74.daeln.com.br/Pdfs/Misra-C-2004.pdf>
<http://www.elf74.daeln.com.br/Pdfs/Nasa-C-Style.pdf>
<http://www.elf74.daeln.com.br/Pdfs/Barr-Group-Embedded-C-Coding-Standard.pdf>



- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

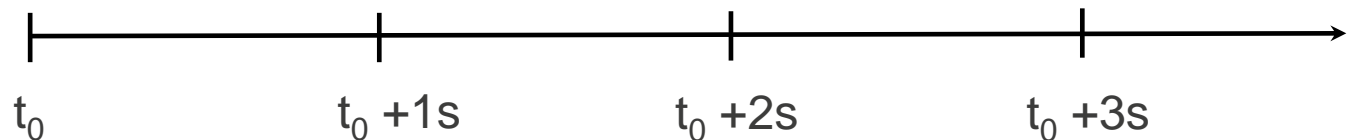
Estados das Tarefas: Tempos Longos

Tarefa 1

Tarefa 2

Tarefa 3

Tarefa 4

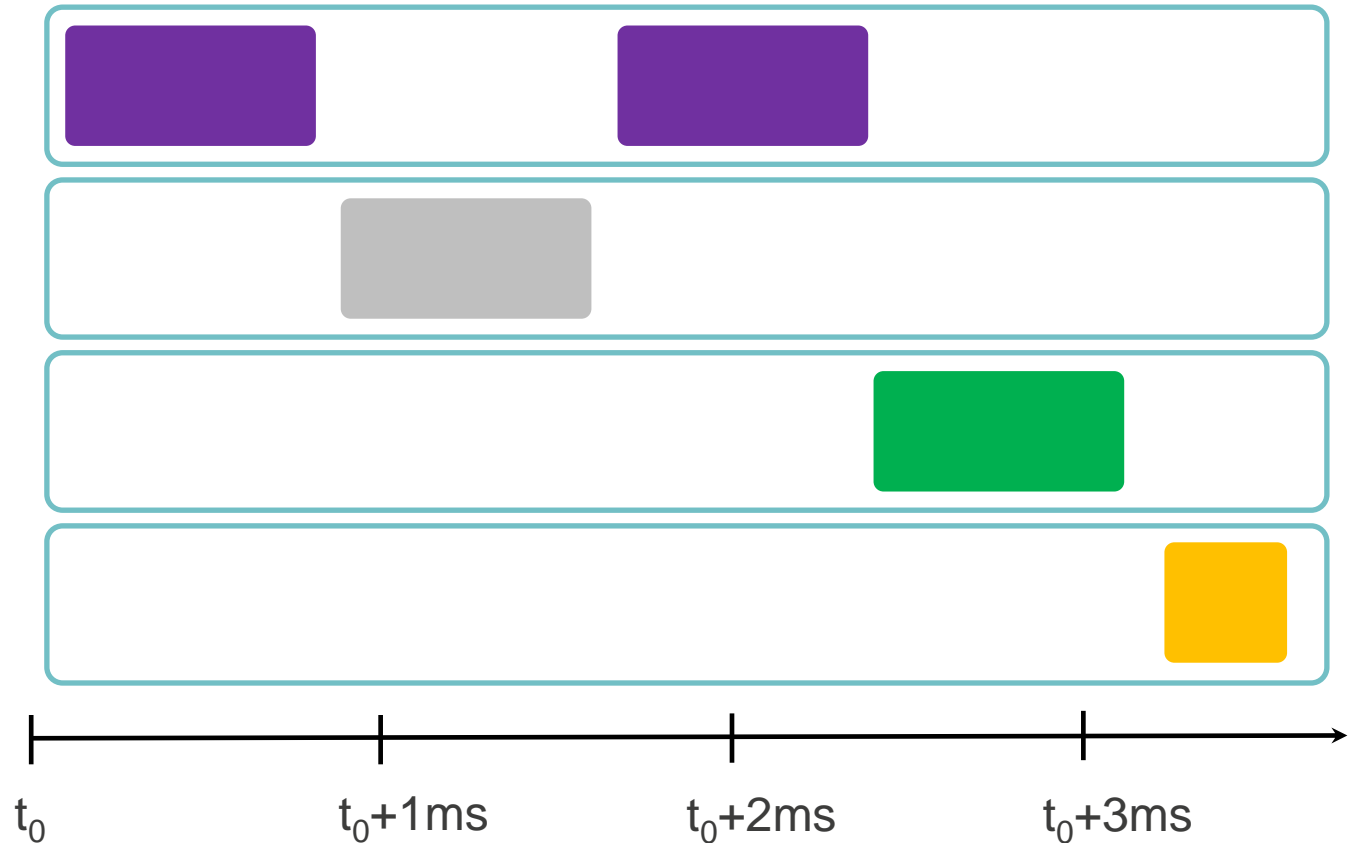




- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Estados das Tarefas: Tempos Curtos

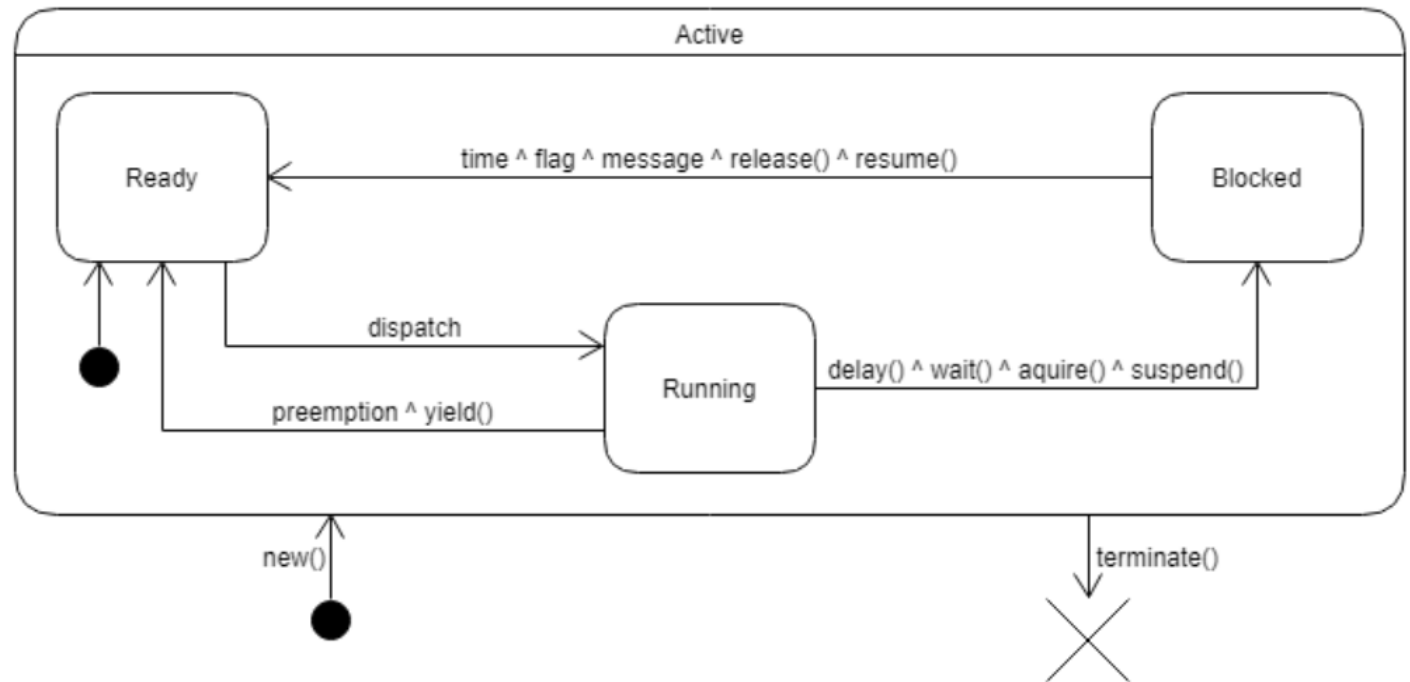




- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Estados das Tarefas:

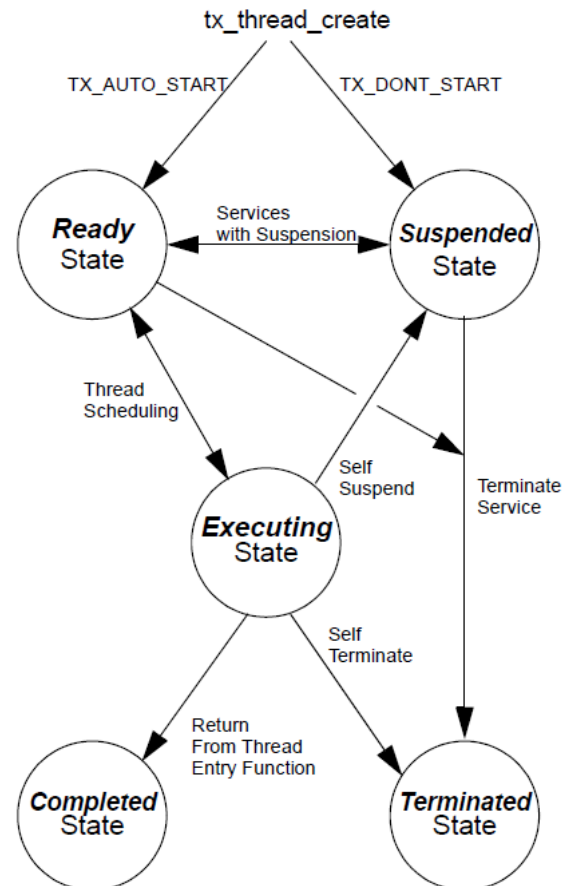




- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Estados das Tarefas:





- RTOS

- Escalonador

- Referências

RTOS

Tarefas Periódicas

- ☐ Tarefas periódicas são **ativadas** em intervalos **fixos** de tempo e **executam** serviços idênticos. Formam a base da teoria do escalonamento.
- ☐ Parâmetros:
 - Fase (phase, Φ)
 - Período (period, T)
 - Pior caso do tempo de execução (**E**)
 - Prazo (*deadline*, **D**)



- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Taxa de Utilização do Processador

- ▣ A taxa de utilização do processador por uma tarefa periódica é a razão entre o seu tempo de execução e o seu período.

$$U = \frac{E}{T}$$

- ▣ Se a taxa de utilização do processador pela tarefa for menor ou igual a 1 ($E \leq D \leq T$), esta é caracterizada como **escalonável**.



- RTOS

- Escalonador

- Referências

RTOS

Tarefas Aperiódicas

- ☐ Tarefas **aperiódicas** podem ser ativadas a qualquer tempo, em geral como resposta a algum **evento externo**.
- ☐ São executadas em instâncias únicas e não possuem **prazo** para término de execução.
- ☐ São geralmente escalonadas durante períodos de relaxamento (***laxity***), quando nenhuma tarefa periódica está em execução.



- RTOS

- Escalonador

- Referências

RTOS

Tarefas Esporádicas

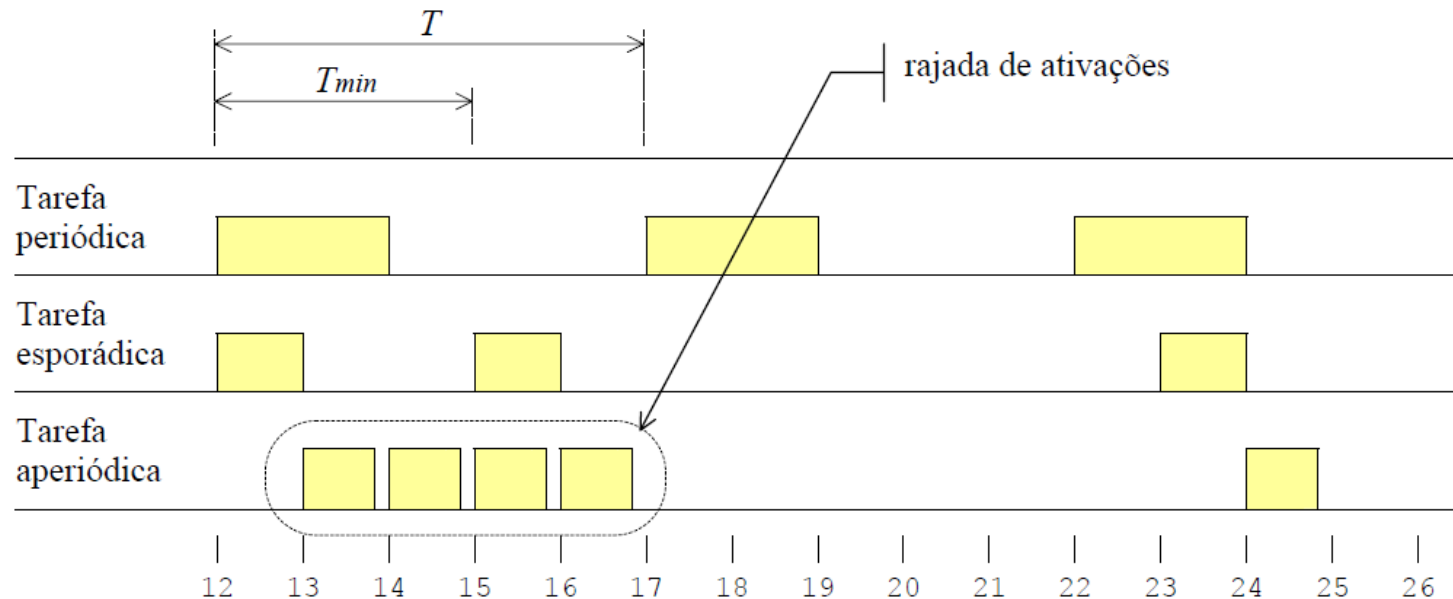
- ☐ Tarefas esporádicas podem ser ativadas a qualquer tempo e são executadas em instâncias únicas, como as aperiódicas.
- ☐ Entretanto, possuem prazo para término de execução, que acaba estabelecendo um período mínimo fixo entre ativações consecutivas.
- ☐ Sendo assim, as tarefas esporádicas acabam por possuir prioridade maior do que as aperiódicas, mas menor do que as periódicas.



- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Tipos de tarefas



Fonte: Luguesi, J. L., Ambiente de Apoio ao Ensino e Aprendizado do Escalonamento em Sistemas em Tempo Real. Dissertação de Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2006.



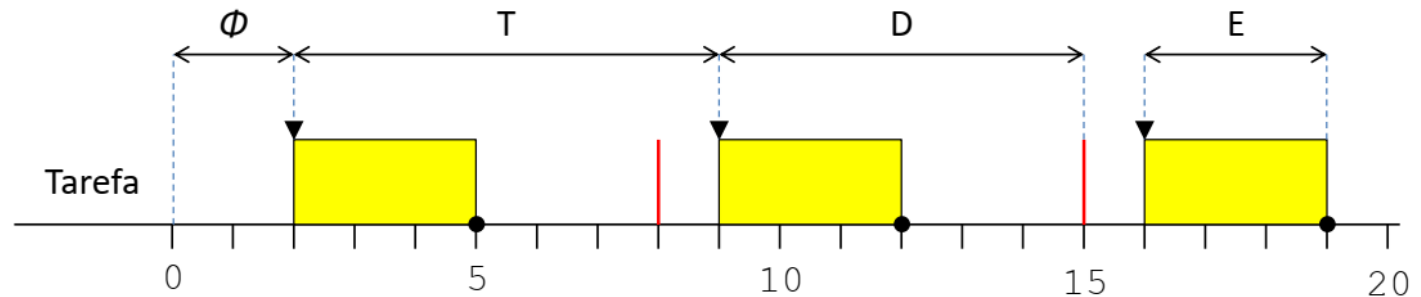
- RTOS

- Escalonador

- Referências

RTOS

Escala Temporal: Diagrama de Gantt



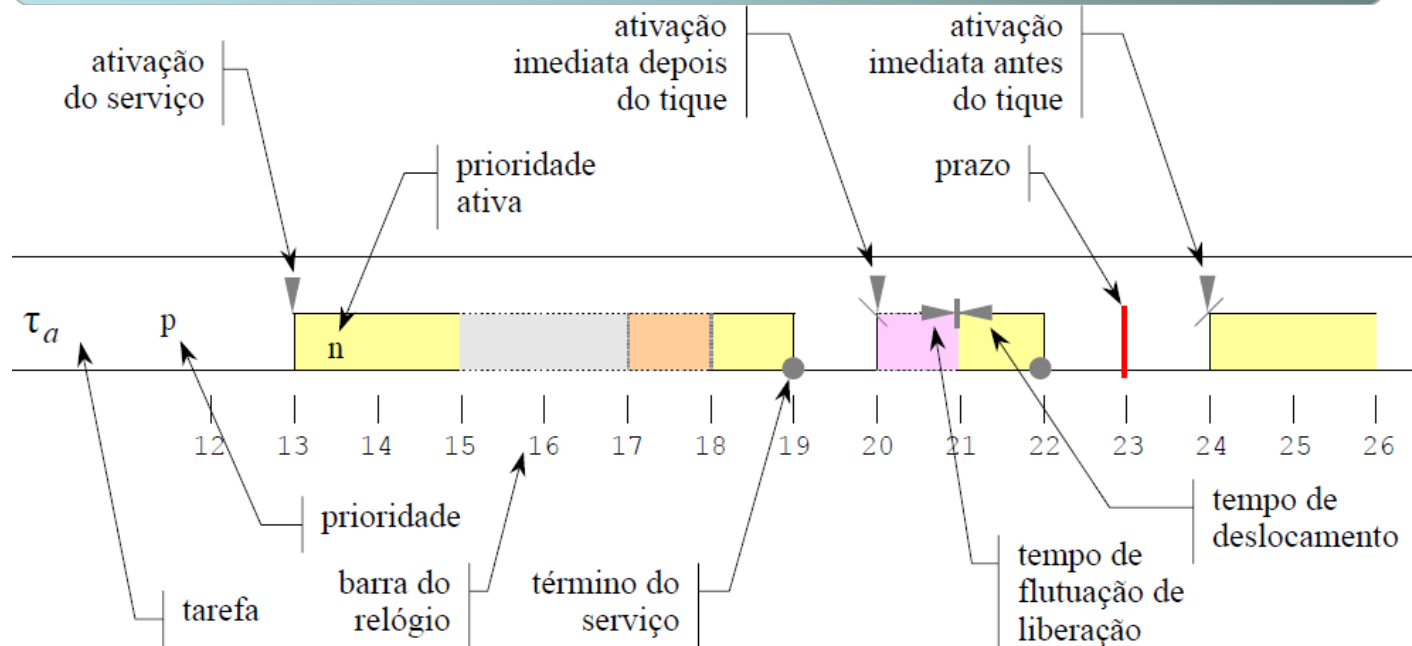
- ϕ : instante da primeira ativação
- T : período entre ativações consecutivas
- E : pior caso do tempo de execução
- D : prazo máximo para término de execução











- Referências

RTOS

Escala Temporal: Diagrama de Gantt



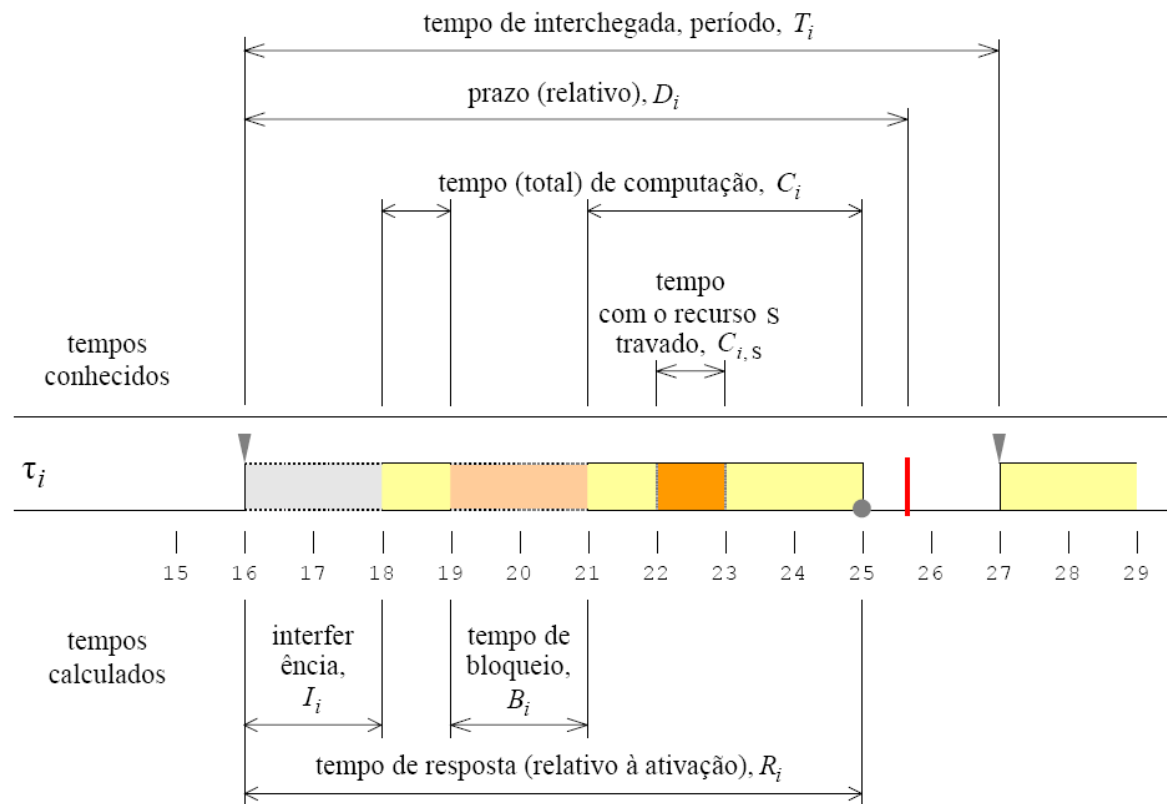
- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | 1 Executando independente na sua prioridade natural |  | 5 Bloqueado, aguardando liberação do recurso S_1 |
|  | 2 Executando em seção crítica com o recurso S_1 travado |  | 6 Bloqueado, aguardando liberação do recurso S_2 |
|  | 3 Executando em seção crítica com o recurso S_2 travado |  | 7 Suspenso por tarefas menos prioritárias |
|  | 4 Suspenso por tarefas mais prioritárias |  | 8 Suspenso por flutuação, deslocamento ou retardo |



- Arquitetura
- RTOS
- Referências

RTOS

Escala Temporal: Diagrama de Gantt

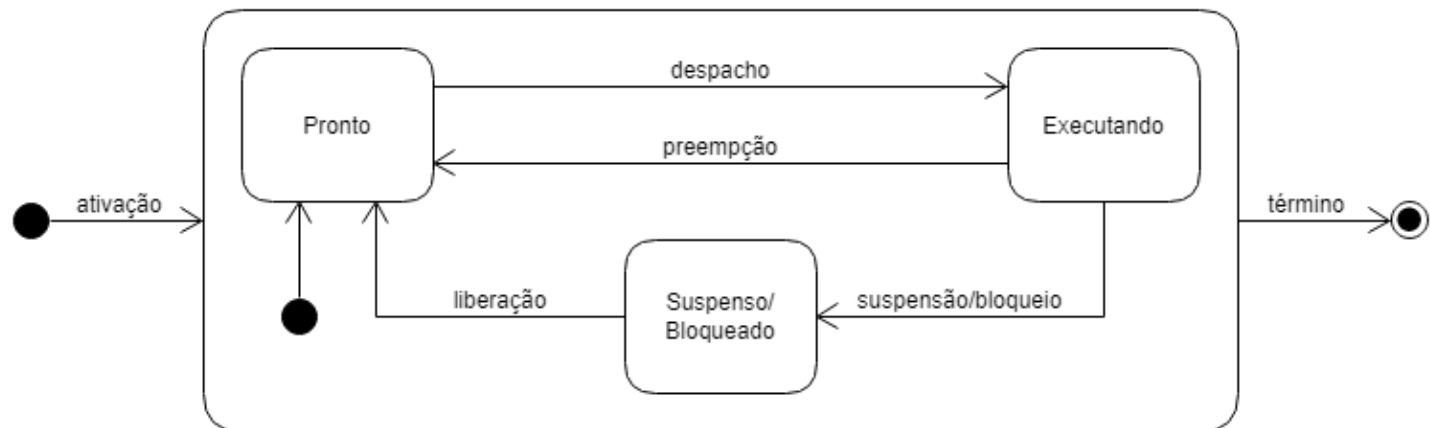




- RTOS
- Escalonador
- Referências

RTOS

Ciclo de vida





- RTOS

- Escalonador

- Referências

Escalonador:

Políticas de Escalonamento:

- Escalonamento **Colaborativo**
- Todas as tarefas com a **mesma** prioridade
- Tarefas executam **sem** limite de tempo até entrarem no estado **bloqueado** ou **cederem** o controle voluntariamente (*yield*)



- RTOS

- Escalonador

- Referências

Escalonador:

Políticas de Escalonamento:

- Escalonamento **Round Robin**
- Todas as tarefas com a **mesma** prioridade
- Tarefas executam por um período máximo de tempo (**T_q**), até entrarem no estado **bloqueado** ou **cederem** o controle voluntariamente (*yield*)
- Exemplo:**
- $T = 1/f = 10\text{ms}$
- $T_q = 5T = 50\text{ms}$



- RTOS

- Escalonador

- Referências

Escalonador:

Políticas de Escalonamento:

- Escalonamento **Round Robin Preemptivo**
- Tarefas com prioridades **diferentes**
- Tarefas executam por um período máximo de tempo (**T_q**), até entrarem no estado **bloqueado** ou **cederem** o controle voluntariamente (***yield***)
- Tarefas **mais** prioritárias que entram no estado **pronto** causam **preempção** em tarefas **menos** prioritárias.



- RTOS

- Escalonador

- Referências

Escalonador:

Políticas de Escalonamento:

- 📖 Serviços do RTOS (**SVC_Handler**)
- 📖 **Troca de contexto** ocorre para:
 - 📖 Uma tarefa **bloqueada** de prioridade mais **alta**
 - **Notificação de evento** pela tarefa **corrente** ou por ISR
 - **Liberação de semáforo** pela tarefa **corrente** ou por ISR
 - **Liberação de mutex** pela tarefa **corrente**
 - **Escrita de mensagem** em uma fila não-cheia
 - **Leitura de mensagem** de uma fila cheia
 - 📖 Uma tarefa **pronta** de prioridade **menor ou igual**
 - **Redução da prioridade** ou bloqueio da tarefa corrente



- RTOS

- Escalonador

- Referências

Escalonador:

Objetos dos RTOS

- 📖 Tarefas
- 📖 Mutexes
- 📖 Semáforos
- 📖 Filas de mensagens
- 📖 Sinalizadores de evento
- 📖 Temporizadores de *software*
- 📖 Pools de memória (alocação dinâmica)



- RTOS
- Escalonador
- Referências

Referências:

Laboratório 03:

http://www.elf74.daeln.com.br/Labs/Keil_Lab3.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, lfeletronics.com.br, elf74-Prof. Hugo V. N., stm.st.com, jblopen.com, microsoft.com.