

**Stephenson de S. L. Galvão**

***Modelagem do Sistema Operacional de Tempo Real  
FreeRTOS***

Natal - Rn, Brasil

1 de junho de 2009

**Stephenson de S. L. Galvão**

***Modelagem do Sistema Operacional de Tempo Real  
FreeRTOS***

Qualificação de mestrado apresentada ao programa de Pós-graduação em Sistemas e Computação do Departamento de Informática e Matemática Aplicada da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Computação.

Orientador:

**Prof. Dr. David Déharbe**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E MATEMÁTICA APLICADA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS E COMPUTAÇÃO

Natal - Rn, Brasil

1 de junho de 2009

# *Sumário*

## **Lista de Figuras**

## **Lista de Tabelas**

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	p. 6
1.1	Objetivos . . . . .	p. 6
1.2	Metodologia . . . . .	p. 6
<b>2</b>	<b>FreeRTOS</b>	p. 7
2.1	Gerenciamento de Tarefas e CoRotinas . . . . .	p. 8
2.1.1	Tarefa . . . . .	p. 8
2.1.2	Escalonador de Tarefas . . . . .	p. 10
2.1.3	Corotinas . . . . .	p. 10
2.1.4	Bibliotecas . . . . .	p. 12
2.2	Comunicação e sincronização entre tarefa . . . . .	p. 14
2.2.1	Fila de Mensagens . . . . .	p. 14
2.2.2	Bibliotecas . . . . .	p. 15
2.3	Criação de uma aplicação utilizando o FreeRTOS . . . . .	p. 15
<b>3</b>	<b>Método B</b>	p. 16
<b>4</b>	<b>Revisão Literária</b>	p. 18
<b>5</b>	<b>Proposta</b>	p. 19

<b>6</b>	<b>Atividades e Etapas</b>	p. 20
----------	----------------------------	-------

	<b>Referências Bibliográficas</b>	p. 21
--	-----------------------------------	-------

## *Lista de Figuras*

2.1	Camada abstrata proporcionada pelo FreeRTOS . . . . .	p. 7
2.2	Grafo de estados de uma tarefa . . . . .	p. 9
2.3	Funcionamento de um escalonador preemptivo baseado na prioridade . . . .	p. 11
2.4	Grafo de estados de uma corotina . . . . .	p. 11
2.5	Funcionamento de uma fila de mensagens . . . . .	p. 15

## *Lista de Tabelas*

# ***1 Introdução***

Falar dos grandes desafios (SBC) e do desafio do compilador “Verifying compile”, “Verified Software repository” desafio de Jim Woodcock

## **1.1 Objetivos**

Falar do objetivo da dissertação e não só da qualificação. Items a serem discutidos:

- Abrangência da especificação
- Profundidade em aspectos pelo menos da construção do software
- Se necessário tem a possibilidade de estensão até o nível de assemblagem devido aos códigos em assembler que compoem o FreeRTOS.

## **1.2 Metodologia**

Metodologia da dissertação, no contexto do que já foi feito

## 2 *FreeRTOS*

O FreeRTOS é um sistema operacional de tempo real enxuto, simples e de fácil uso. O seu código fonte, feito em *C* com partes em *assembly*, é aberto e possui pouco mais de 2.200 linhas de código, que são essencialmente distribuídas em quatro arquivos: `task.c`, `queue.c`, `croutine.c` e `list.c`. Uma outra característica marcante desse sistema está na sua portabilidade, sendo o mesmo oficialmente disponível para 17 arquiteturas monoprocessadores diferentes, entre elas a PIC, ARM e Zilog Z80, as quais são amplamente difundidas em produtos comerciais através de sistemas computacionais embutidos.

Como a maioria dos sistemas operacionais de tempo real, o FreeRTOS provê para os desenvolvedores de sistemas concorrentes de tempo-real acesso aos recursos de *hardware*, facilitando com isso o desenvolvimento dos mesmo. Assim, FreeRTOS trabalha como na figura 2.1, fornecendo uma camada de abstração localizada entre a aplicação e o hardware, que tem como papel esconder dos desenvolvedores de aplicações os detalhes do hardware que será utilizado.

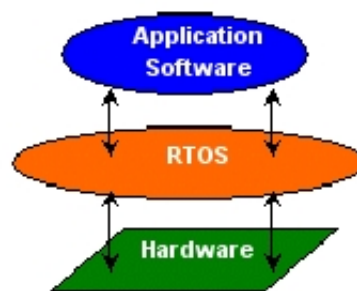


Figura 2.1: Camada abstrata proporcionada pelo FreeRTOS

Para prover tal abstração o FreeRTOS é composto por um conjunto de bibliotecas de tipos e funções que devem ser linkeditadas<sup>1</sup> com o código da aplicação a ser desenvolvida. Juntas, essas bibliotecas fornecem para o desenvolvedor serviços como gerenciamento de tarefa, comunicação e sincronização entre tarefas, gerenciamento de memória e controle dos dispositivos de entrada e saída.

---

1



A criação de uma aplicação utilizando o FreeRTOS pode ser dividida em duas partes. Na primeira parte são criadas, de acordo com modelos fornecidos pelo FreeRTOS, as tarefas e demais **estruturas de controle** que serão utilizadas pela aplicação. Na segunda parte é feito o cadastramento das tarefas utilizadas pelo sistema assim como a inicialização do mesmo. Por fim, o sistema é **compilado** para arquitetura desejada.

A seguir serão detalhadas os principais serviços providos pelo o FreeRTOS junto com a biblioteca que disponibiliza tão serviço. Após isso será também demonstrado como é criada uma aplicação utilizando o FreeRTOS

## 2.1 Gerenciamento de Tarefas e CoRotinas

### 2.1.1 Tarefa

Para entender como funciona o gerenciamento de tarefas do FreeRTOS é necessário primeiramente entender-se o conceito de tarefa. Uma tarefa é uma unidade básica de execução que compõem as aplicações, as quais geralmente são multitarefas. Para o FreeRTOS uma tarefa é composta por :

- Um estado que demonstra a atual situação da tarefa
- Uma prioridade que varia de zero até uma constante máxima definida pelo o usuário
- Uma pilha na qual é armazenada o ambiente de execução (estado dos restradores) da tarefa quando está é interrompida

Os possíveis estados que uma tarefa pode assumir são :

- **Em execução:** Indica que a tarefa esta sendo executada pelo processado
- **Pronta:** Indica que a tarefa está pronta para entrar em execução mas não está sendo executada
- **Bloqueada:** Indica que a tarefa esta esperando por algum evento para continuar a sua execução
- **Suspensa:** Indica que a tarefa foi suspensa pelo kernel através da chamada de uma funcionalidade usada para controlar as tarefas

A permutação que ocorre entre os estados de uma tarefa funciona como demonstra a figura 2.2. Nela uma tarefa com o estado “em execução” pode ir para o estado pronta, bloqueado ou suspenso, uma tarefa com o estado pronto pode ser suspensa ou entrar em execução e as tarefa com o estado bloqueada ou suspensa só podem ir para o estado pronto.

Entranto, vale enfatizar que por tratar-se de um SOTR para arquiteturas monoprocessadores o FreeRTOS não permite que mais de uma tarefa seja executada no mesmo momento. Assim no FreeRTOS apenas uma tarefa pode assumir o estado pronto em um determinado instante, restando as demais os outros estado. Com isso, para decidir qual tarefa deve ser executada existe um mecanismo no sistema operacional denominado escalonador, o qual será detalhado na sessão 2.1.2.

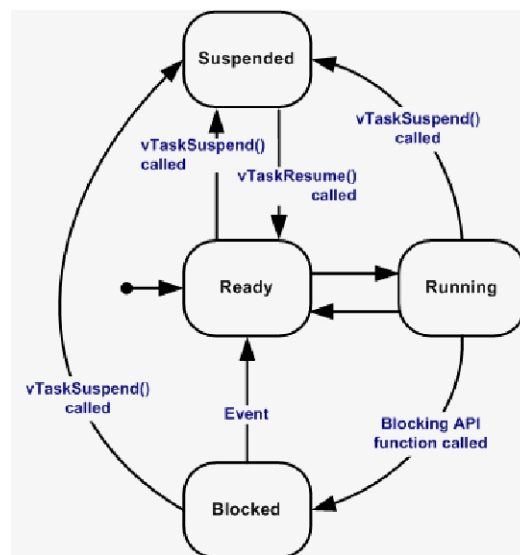


Figura 2.2: Grafo de estados de uma tarefa

### Tarefa Ociosa

No FreeRTOS existe também uma tarefa denominada de tarefa ociosa, a qual é executada quando nenhuma tarefa está em execução. A tarefa ociosa tem como principal finalidade excluir da memória tarefas que não serão mais usadas pelo sistema. Assim quando uma aplicação informa para o sistema que uma tarefa não será mais utilizada essa tarefa só será excluída quando a tarefa ociosa entrar em execução. A tarefa ociosa possui a menor prioridade dentre as tarefas que compoem um sistema.

### 2.1.2 Escalonador de Tarefas

O escalonador é a parte mais importante de um sistema. É ele quem decide qual tarefa deve entrar em execução e realiza entre a tarefa que está no processador, ou seja em execução, com a nova tarefa que irá ocupar o processador, a tarefa que irá entrar em execução. No FreeRTOS o escalonador pode funcionar de três modos diferentes :

- **Preemptivo:** Quando o escalonador interrompe a tarefa em execução mudando o seu estado e ocupa o processador com outra tarefa
- **Cooperativo:** Quando o escalonador não tem permissões de interromper a tarefa em execução, tendo que esperar a mesma interromper a sua execução para que ele possa decidir qual será a próxima tarefa que irá entrar em execução e realizar a troca das mesmas.
- **Híbrido:** Quando o escalonador pode comporta-se tanto como preemptivo como cooperativo.

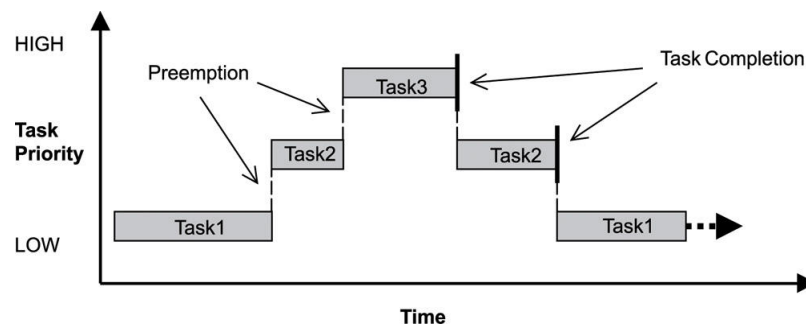
Para as tarefas o escalonador funciona de forma preemptiva, sendo que a decisão de qual tarefa deve entrar em execução e baseada na prioridade e segue a seguinte política: a tarefa em execução deve ter prioridade maior ou igual a tarefa de maior prioridade com o estado “pronta”. Assim sempre que uma tarefa, com prioridade maior que a tarefa em execução, entrar no estado pronto, ele deve imediatamente entrar “em execução”. Um exemplo claro da política preemptiva de prioridade discutida acima pode de visto na figura 2.3, naqual três tarefas, em ordem crescente de prioridade, disputam a execução do processador.

### 2.1.3 Corotinas

Outro conceito importante suportado pelo FreeRTOS é o de Corotina. Como as tarefas corotinas são unidades de execução independentes que formam uma aplicação. Por isso assim como as tarefas, uma corotina é formada por uma prioridade um estado, sendo a principal diferença entre uma corotina e uma tarefa a falta de uma pilha para armazenar o contexto de execução, a qual está presente nas tarefas e nas corotinas não.

Os estados que uma corotina pode assumir são:

- **Em execução:** Quando a corotina está sendo executada
- **Pronta:** Quando a corotina está pronta para ser executada mas não está em execução



1. Tarefa 1 entra no estado pronto, como não há nenhuma tarefa em execução esta assume controle do processador entrando em execução
2. Tarefa 2 entra no estado pronto, como está tem prioridade maior do que a tarefa 1 ela entra em execução passando a tarefa 1 para o estado pronto
3. Tarefa 3 entra no estado pronto, como está tem prioridade maior do que a tarefa 2 ela entra em execução passando a tarefa 2 para o estado pronto
4. Tarefa 3 encerra a sua execução, sendo a tarefa 2 escolhida para entrar em execução por ser a tarefa de maior prioridade no estado pronto
5. Tarefa 2 encerra a sua execução e o funcionamento do escalonador é passado para a tarefa 1

Figura 2.3: Funcionamento de um escalonador preemptivo baseado na prioridade

- **Bloqueada:** Quando a corotina está bloqueada esperando por algum evento para continuar a sua execução.

As transições entre os estados de uma corotina ocorre como demonstra a figura 2.4. Nela uma corotina em execução pode ir tanto para o estado bloqueado como para o estado suspenso, uma corotina de estado bloqueado só pode ir para o estado pronto e uma corotina de estado pronto só pode ir para o estado “em execução”.

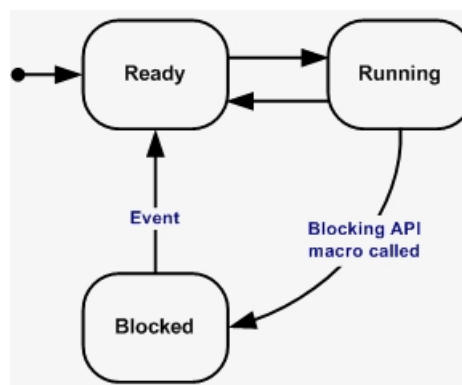


Figura 2.4: Grafo de estados de uma corotina

Assim como nas tarefas, a decisão de qual corotina irá entrar em execução é feita pelo o escalonador. Para as corotinas o escalonador funciona de forma cooperativa e baseada na

prioridade. Com isso, a corotina em execução é quem decide o momento de sua interrupção, sendo que a próxima corotina a entrar em execução será a de maior prioridade entre as corotinas com o estado pronto

### 2.1.4 Bibliotecas

Para disponibilizar as características discutidas nesta seção o FreeRTOS dispõe das seguintes bibliotecas: Criação de Tarefas, Controle de Tarefas, Utilidades de Tarefas, Controle do Kernel e Corotinas. A seguir tem-se em detalhe a descrição de cada uma dessas bibliotecas junto com as funcionalidades que cada uma delas disponibiliza

#### Criação de Tarefas

Essa biblioteca é responsável pelo conceito de tarefa. Nela estão presente um tipo responsável por representar uma tarefa do sistema e duas funcionalidades uma para a criação de uma tarefa e outra para a remoção de uma tarefa do sistema. Em seguida tem-se uma lista com todos os tipos e funcionalidades disponibilizados por essa biblioteca.

- **xTaskHandle** - Tipo pelo qual uma tarefa é referenciada. Por exemplo quando uma tarefa é criada através do método *xTaskCreate* ela é retornada pelo método através do tipo *xTaskHandle*
- **xTaskCreate** - Funcionalidade usada para criar uma nova tarefa para o sistema.
- **vTaskDelete** - Funcionalidade usada para indicar que uma tarefa deve ser removida do sistema<sup>2</sup>

#### Controle de tarefas

A biblioteca de controle de tarefas realiza determinadas operações sobre as tarefas do sistema. Ela disponibiliza funcionalidades capazes de bloquear, suspender e retornar uma tarefa do estado suspenso, além das funcionalidades de alterar e informar a prioridade de uma determinada tarefa. A lista das principais funcionalidades presentes nessa biblioteca pode ser vista a seguir:

---

<sup>2</sup>A verdadeira remoção de uma tarefa do sistema só é feita pela tarefa ociosa 2.1.1, nesse método é apenas indicado para o sistema qual tarefa deve ser removida

- **vTaskDelay** - Método usada para suspender uma tarefa por um determinado tempo. Nesse método, para calcular quando será o tem que a tarefa deve acordar, é levando em consideração o tempo relativo, ou seja, o tempo que o método foi chamado. E por isso, é uma método não indicado para a criação de tarefas cíclicas, pois o tempo que o método é chamado pode variar em cada execução da tarefa devido as interrupções que a mesma pode sofrer.
- **vTaskDelayUntil** - Método usado para suspender uma tarefa por um determinado tempo. Esse método difere do *vTaskDelayUntil* pelo o qual do tempo em que a tarefa deve ser retornada, pois nesse é levado em consideração o tempo em que uma tarefa foi retornada. Assim, se ocorrer uma interrupção o tempo que a tarefa foi retornada não ira mudar, podendo criar assim uma tarefa com intervalos iguais de execução chamada de tarefa cíclica
- **uxTaskPriorityGet** - Método usado para informar prioridade de uma determinada tarefa
- **vTaskPrioritySet** - Método usado mudar a prioridade de uma determinada tarefa
- **vTaskSuspend** - Método usado para suspender uma determinada tarefa
- **vTaskResume** - Método usado retornar uma tarefa

### Utilitários de tarefas

É através dessa biblioteca que o FreeRTOS disponibiliza para o usuário informações importantes a respeito das tarefas e do escalonador do sistema . Nela estão presentes funcionalidades com a de retornar uma referência para a atual tarefa em execução, retornar o tempo de funcionamento e o estado do escalonador e retornar o número e a lista das tarefas que estão sendo gerenciadas pelo sistema. Uma listagem das principais funcionalidades dessa biblioteca é encontrada a seguir:

- **xTaskGetCurrentTaskHandle** - Retorna a uma referência para atual tarefa em execução
- **xTaskGetTickCount** - Retorna o tempo decorrido desde a inicialização do sistema
- **xTaskGetSchedulerState** - Retorna o estado do escalonador
- **uxTaskGetNumberOfTasks** - Retorna o número de tarefas do sistema
- **vTaskList** - Retorna uma lista de tarefas do sistema

## Controle do Escalonador

Nessa biblioteca estão presentes as funcionalidades responsáveis por controlar as atividades do escalonador do sistema. Nela encontramos funcionalidades responsáveis por inicializar e finalizar as atividades do escalonador, assim como, suspender e retornar a atividades do mesmo. As principais funcionalidades presente nessa biblioteca são :

- **vTaskStartScheduler** - Método que inicia as atividades do escalonador. Usado para a inicialização do sistema
- **vTaskEndScheduler** - Método que termina as atividades do escalonador. Usado para a finalização das atividades do sistema também
- **vTaskSuspendAll** - Método que suspende as atividades do escalonador
- **xTaskResumeAll** - Método que retorna as atividades de uma escalonador suspenso

## 2.2 Comunicação e sincronização entre tarefa

Frequentemente tarefas necessitam se um com as outras. Por exemplo a tarefa A depende da leitura do teclado feito pela tarefa B. Com isso a uma necessidade de que está comunicação seja feita de maneira bem estruturada e sem interrupções. Devido a isso a maioria dos sistemas operacionais oferecem vários tipos de comunicação entre as tarefas. Que podem ocorrer da seguinte forma: uma tarefa deseja passar informações para outra, duas ou mais tarefas querem utilizar o mesmo recurso e uma tarefa depende do resultado produzido por outra tarefa.

No FreeRTOS assim como na maioria dos sistemas operacionais os mecanismos responsáveis pela a comunicação entre as tarefas são a fila de mensagem, o semáforo e o mutex (Mutual Exclusion). Para entender melhor como funciona a comunicação entre tarefas no FreeRTOS, cada um desses mecanismo será detalhado a seguir

### 2.2.1 Fila de Mensagens

Filas de mensagens são estruturas primitivas de comunicação entre tarefas. Elas funcionam como, demonstra a figura 2.5, um túnel no qual tarefas enviam e recebem mensagem. Assim quando uma tarefa necessita comunicar-se com outra primeiramente ela envia uma mensagem para o túnel para que a outra tarefa, quando entrar em execução possa ler a mensagem enviada.

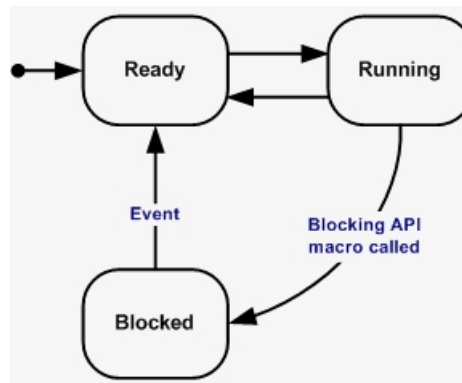


Figura 2.5: Funcionamento de uma fila de mensagens

No FreeRTOS, as filas de mensagens possuem tamanho fixo, definido pelo tamanho e quantidade de itens (mensagem) que ela pode armazenar. Devido a isso, para uma tarefa enviar uma mensagem para uma fila, primeiramente a fila não pode estar cheia, caso contrário, a tarefa é bloqueada até que seja liberado um lugar na fila. O mesmo ocorre quando uma tarefa tenta receber uma mensagem de uma fila, só que, nesse caso, a fila deve possuir pelo menos uma mensagem, para que essa seja lida, caso contrário, a tarefa é bloqueada até a chegada de uma mensagem na fila.

O FreeRTOS, disponibiliza para o usuário funcionalidades que possibilitam definir o tempo máximo que uma tarefa pode ficar bloqueada esperando por uma fila (liberação de espaço ou chegada de mensagem). E no caso em que existem mais de uma tarefa bloqueadas aguardando por um evento de uma fila, as tarefas de maior prioridade têm preferência sobre as demais.

### 2.2.2 Bibliotecas

## 2.3 Criação de uma aplicação utilizando o FreeRTOS

Exemplo de como é feita uma aplicação no FreeRTOS



### 3 *Método B*

O método B trata-se de uma abordagem formal para especificar e construir sistema computacionais. Nele são encontradas várias qualidades presentes nos demais métodos formais que surgiram nos últimos trinta anos. Entre elas estão as pré e pos condições, condições necessárias para a execução de um método e alcançadas após a execução do mesmo, modularização, abstração e refinamento, estratégia de construção/especificação de sistemas através de vários níveis de abstração.

A base do método B está na notação de máquina abstrata (em inglês: *Abstract Machine Notation* - AMN) a qual disponibiliza um framework comum para a especificação e construção de sistemas, permitindo também a verificação formal do mesmo. Mais especificamente, a AMN trata-se de uma linguagem de especificação de sistemas formada por blocos básicos de construção chamados de Máquina Abstrata ou simplesmente Máquina, nos quais são colocados conceitos (informações) bem definidas de parte do sistema. Assim para especificar grandes sistemas a Notação de Máquina Abstrata utiliza-se do paradigma composicional, sendo um sistema complexo formado pela composição de várias Máquinas Abstratas o que gera também outra Máquina Abstrata.

#### **Máquina Abstrata**

Para especificar as informações de um sistema uma máquina abstrata é dividida em vários cabeçalhos, nos quais as características do sistema são semanticamente organizadas e listadas. Os principais cabeçalhos presentes em uma máquina abstrata são Máquina, Operações, Variáveis, Invariante, Inicialização e Constantes. A seguir tem-se a explicação “semântica” do que trata cada um desses pedaços de uma especificação.

- Explicar o que é o método B
- Explicar a base teórica de B (AMN e as substituições)
- Explicar como é especificado um sistema em B (como é criado um módulo)

- Falar das obrigações de prova
- Falar dos mecanismos de composição e refinamento
- Dizer que o refinamento pode chegar em um nível concreto que pode ser sintetizado para algumas linguagens de programação.
- Falar do uso de ferramentas
- Falar do projeto B2ASM

## ***4    Revisão Literária***

- Enumerar Projetos
- Desafio de software verificado

## 5 *Proposta*

- Como será feita a modelagem do FreeRTOS
- Falar do estudo do FreeRTOS e identificação dos seus principais conceitos e funcionalidades
- O desenvolvimento progressivo acrescentando novas funcionalidades a cada refinamento
- Ligar a abordagem do compilador verificável ao FreeRTOS
- Dizer como será ou deve feita a união do FreeRTOS para o compilador verificável

## ***6    Atividades e Etapas***

## ***Referências Bibliográficas***