

# Primeiro Exercício-Programa

Norton Trevisan Roman

12 de setembro de 2023

## 1 Escalonador de Processos

Para este trabalho, vocês devem se organizar em grupos de até 5 integrantes. Cada grupo deve então implementar um escalonador de tarefas para Time Sharing em uma máquina com um único processador, criando assim um sistema simples de multiprogramação. A linguagem usada na construção do escalonador deve ser preferencialmente Java, mas você pode usar outra de sua escolha.

Essa máquina foi criada especificamente para rodar pequenos programas, em que cada processo pode contar, no máximo, com 2 registradores de uso geral (além do Contador de Programa, como registrador de uso específico). Esses registradores são conhecidos internamente como  $X$  e  $Y$ . Além disso, o processador para o qual vocês irão construir o escalonador é extremamente simples, possuindo apenas 4 instruções:

1. Atribuição: na forma  $X=<valor>$  ou  $Y=<valor>$ , onde  $<valor>$  é um número inteiro e  $X$  e  $Y$  são os registradores de uso geral usados pelo processo (note a ausência de espaço antes e depois do '=').
2. Entrada e saída: representada pela instrução E/S (que faz as vezes de uma chamada ao sistema)
3. Comando: a tarefa executada pela máquina, representada pela instrução COM
4. Fim de programa: chamada com a única finalidade de remover o programa da memória, executando a limpeza final. Representada pela instrução SAIDA

Sabe-se que um processo pode estar em um dos seguintes estados: **Executando**, **Pronto** ou **Bloqueado**. Enquanto há apenas um processo executando, pode haver vários prontos para executar ou bloqueados, esperando alguma requisição de E/S se completar. Assim, sua implementação deve contemplar uma lista de processos prontos e outra de bloqueados.

Na ausência de um *clock* que comande a preempção, quem efetivamente rodará as instruções dos processos é o escalonador, que lê cada instrução e a executa, funcionando como um interpretador. Isso deixa o processo mais lento, naturalmente, mas garante o compartilhamento de tempo. Dentro do escalonador, tanto a fila de processos prontos quanto a de bloqueados devem ser ordenadas conforme ordem de chegada dos processos.

Seu sistema deve então possuir uma **Tabela de Processos**, representando todos os programas que estão rodando simultaneamente. Cada linha da tabela deve conter uma referência ao **Bloco de Controle de Processo** (BCP), sendo que este contém toda a informação necessária para que o processo, após interrompido temporariamente, possa voltar a rodar. Ou seja, o BCP deve conter, pelo menos, o Contador de Programa, o estado do processo (executando, pronto ou bloqueado), o estado atual de seus registradores de uso geral (X e Y), uma referência à região da memória em que está o código do programa executado (representado, por exemplo, por um arranjo de Strings, que já é uma referência natural à memória em Java), bem como o nome do programa.

Vale notar que há somente o segmento de texto na memória (representado, por exemplo, por um arranjo de Strings de 21 posições – tamanho máximo de um programa nesse sistema), em que é armazenado o código do programa (um comando por posição no arranjo). Por não conter nem variáveis nem desvios (sub-rotinas etc), não há sentido em ter um segmento de dados e da pilha. Além disso, lembre que, em java, qualquer instância a um objeto ou arranjo já é uma referência à memória externa ao objeto em que essa instância está declarada.

Os programas executados serão dados na forma de arquivos-texto (ver 1.1). O escalonador deve, então, carregar cada bloco de comandos (correspondente a um arquivo) na memória, posicionando seu BCP na Tabela de Processos e na fila de processos prontos, seguindo, nesse primeiro momento, a ordem alfabética do nome do arquivo contendo o programa.

Como uma simplificação adicional, em vez de fatias de tempo, o escalonador irá permitir que cada processo no estado *executando* rode no máximo *n* com comandos (ou seja, o quantum será de *n* com comandos, em vez de uma quantia de milissegundos). Esse número de comandos é uma simulação do tempo de ocupação do processador relacionado ao time-sharing, e deve ser lido de um arquivo denominado “quantum.txt”. Esse arquivo conterá tão somente um inteiro.

Uma vez tendo carregado todos os processos, o escalonador começa a rodá-los, usando o seguinte algoritmo (Round Robin):

1. Inicialmente, carregue os processos a partir de seus arquivos, incluindo-os na fila de processos prontos conforme a ordem alfabética do nome do arquivo;
2. Cada processo deve executar um número fixo de instruções (seu quantum):
  - (a) Findado o quantum, o processo é posicionado ao final da fila de processos prontos
  - (b) O próximo processo da fila é posto a rodar um quantum inteiro
3. Se, durante a execução de um quantum, o processo fizer uma entrada ou saída (instrução “E/S”):
  - (a) Ele será marcado como *bloqueado*, sendo então transferido para a lista de bloqueados;
  - (b) A ele é atribuído um tempo de espera (inteiro representando quantos quanta ele deve esperar para rodar novamente);

- (c) A cada processo que passe pelo estado *executando* (ou seja, ao final de seu quantum), esse tempo de espera é decrementado (note que todos na fila de bloqueados têm seu tempo decrementado);
  - (d) Cada processo fica *bloqueado* até que dois outros processos passem pelo estado *executando* (não importando quantos comandos cada um executou – ou seja, se usou todo seu quantum ou não). Essa é uma simulação do tempo de espera por um dispositivo de E/S (note que, uma vez que o tempo de resposta de uma E/S é igual para todos, a lista de processos bloqueados acaba se comportando como uma fila comum);
  - (e) Quando o tempo de espera de algum processo bloqueado chegar a zero, este deve receber o status de *pronto*, sendo então removido da fila de bloqueados e inserido ao final da fila de processos prontos.
  - (f) Quando esse processo for rodar novamente, deve reiniciar a partir da instrução seguinte à E/S (uma vez que o PC é armazenado no BCP e este contém a instrução seguinte à E/S). Desta forma, a instrução de E/S é contada nas estatísticas do sistema durante o momento anterior ao bloqueio (ver Seção 1.2).
4. Se não houver nenhum processo em condição de ser executado (ex: existirem apenas dois processos e ambos estiverem *bloqueados*), deve-se decrementar os tempos de espera de todos os processos na fila de bloqueados, até que um chegue a zero, podendo então ser rodado (como visto no item 3e).
  5. Ao encontrar o comando SAIDA, o escalonador deve remover o processo em execução da fila apropriada e da tabela de processos.

Vale lembrar que apenas um máximo de  $n_{\text{com}}$  instruções (dos 4 tipos definidos) podem ser executadas por vez pelo processador quando o processo estiver no estado *executando*. Quando isso ocorrer, o processo terminou seu quantum e deve ir para o final da fila de prontos. Um novo processo dessa fila deve então ir para o estado *executando*. Note que isso implica saber qual será o próximo comando a ser executado nesse processo, ou seja, saber o conteúdo de seu Contador de Programa, armazenado no BCP do processo.

## 1.1 Entrada

Serão dados como entrada 10 arquivos-texto, fornecidos dentro do diretório “programas”, no anexo “EP1.zip”, em que cada arquivo dentro de “programas” corresponde a um programa a ser executado em um processo separado. Cada programa é construído da seguinte forma:

1. O nome do arquivo corresponde a um inteiro sequencial de dois dígitos (01.txt, 02.txt etc)
2. A primeira linha do arquivo contém o nome do programa

3. As linhas seguintes apresentam uma sequência de instruções (dentre as aceitas pela máquina), terminando com SAIDA
4. Cada programa é composto por no máximo 21 comandos (incluindo SAIDA). Assim, cada arquivo conterá, no máximo, 22 linhas (uma linha por comando, além do nome), do tipo:
  - <registrador>=<valor>
  - COM
  - E/S
  - SAIDA

Um exemplo de arquivo de programa seria:

```
TESTE-1
X=8
COM
COM
COM
E/S
Y=10
X=2
COM
E/S
SAIDA
```

Dentro do mesmo diretório, será também fornecido o arquivo “quantum.txt”, que contém um único inteiro, representando o tamanho do quantum a ser usado (ou seja, o número de instruções rodadas por surto de CPU).

## 1.2 Saída

Durante o processamento, o escalonador deve construir um logfile, denominado “logXX.txt”, em que XX é o valor do quantum escolhido (2 dígitos). Nesse logfile, o escalonador deve gravar:

1. Os nomes dos processos carregados, na ordem em que estão na fila de prontos
2. O nome do processo que está sendo interrompido, juntamente com o número de instruções executadas até seu interrompimento (ex: “Interrompendo TESTE-1 após 3 instruções”). Essas instruções referem-se às executadas no último quantum, não o número total desde o início do processo.
3. O nome do processo que passará a ser executado (ex: “Executando TESTE-1”)
4. O nome do processo que inicia uma E/S (ex: “E/S iniciada em TESTE-1”)

5. O nome do processo que terminou (ou seja, teve todos seus comandos executados, rodando, por fim, SAIDA), juntamente com o valor final das variáveis X e Y (ex: “TESTE-1 terminado. X=2. Y=3”). Se o programa não usar uma das variáveis, ela será zero.

Ao final do sistema, você deve incluir no logfile o número médio, por processo, de trocas de processo (ou seja, a média, calculada sobre todos os processos, do número de vezes em que cada processo foi interrompido, incluindo-se a última vez em que rodou), o número médio de instruções executadas por quantum (corresponde à média, calculada sobre todos os processos, do número de instruções executadas até o processo ser interrompido, seja por E/S, seja porque executou n\_com instruções – uma média das instruções executadas em cada quantum, levando-se em conta o conjunto de todos os processos), além do quantum usado.

Um exemplo de logfile é (os valores são meramente ilustrativos, não correspondendo a nenhum exemplo real (ou mesmo possível). Notas entre parênteses são comentários para vocês. Não devem constar do log.):

```
Carregando TESTE-1
Carregando TESTE-3
Carregando TESTE-2
Executando TESTE-1
Interrompendo TESTE-1 após 3 instruções
Executando TESTE-3
E/S iniciada em TESTE-3
Interrompendo TESTE-3 após 2 instruções (havia um comando antes da E/S)
Executando TESTE-2
Interrompendo TESTE-2 após 1 instrução (havia apenas a E/S)
TESTE-2 terminado. X=0. Y=3
Executando TESTE-1
...
TESTE-1 terminado. X=3. Y=1
...
TESTE-3 terminado. X=4. Y=0
MEDIA DE TROCAS: 5
MEDIA DE INSTRUCOES: 2.5
QUANTUM: 3
```

### 1.3 Implementação

O logfile deve ser atualizado toda vez que o escalonador tiver que tomar uma decisão de escalonamento, conforme descrito em 1.2, ou seja:

- Ao se iniciar (carregar) um processo
- Ao se executar um processo (seja pela primeira vez ou quando volta da fila de prontos)

- Ao se terminar um processo
- Ao se interromper um processo (bloqueio de E/S ou fim do quantum)

Também devem ser incluídas as vezes em que a instrução a ser executada for uma E/S, bem como as estatísticas gerais do sistema (médias etc.), conforme mencionado acima.

Seu escalonador deve se chamar `Escalonador.java`. Ao ser chamado da linha de comando, o sistema irá carregar os programas fornecidos (os 11 arquivos estarão em um subdiretório chamado “programas”, dentro do diretório do seu sistema, descompactados), colocá-los na fila de prontos, ordená-los conforme o nome do arquivo contendo seu código, e rodá-los usando o valor contido em “quantum.txt” como tamanho do quantum.

Em seu código, devem-se deixar explícitas as seguintes estruturas (com comentários e modularização – leia-se, divisão em classes – adequada):

- BCP, contendo:
  - Contador de Programa
  - Estado do processo
  - Registradores de uso geral
  - Referência ao segmento de texto do programa
- Tabela de processos;
- Lista de processos prontos;
- Lista de processos bloqueados.

## 1.4 Questões Frequentes

1. Quando conto E/S nas estatísticas? Quando começa ou quando termina?

R: No caso de E/S, a instrução entra para as estatísticas (número de instruções por quantum) quando iniciar, ou seja, imediatamente antes de bloquear.

2. SAIDA conta como um comando executado?

R: Sim. Ela deve entrar nas estatísticas.

## 1.5 Testes

Como forma de teste e avaliação do sistema, vocês devem gerar o arquivo de log para diferentes valores de `n_com` (pelo menos 10 valores diferentes, distribuídos de maneira uniforme em um intervalo que você julgue útil – lembre que há um número máximo de instruções em um programa), informando, para cada quantum definido:

- Número médio de trocas de processo, por processo.

- Número médio de instruções executadas por quantum. De fato, o número médio de instruções executadas até alguma troca de processo, seja por fim de quantum, término do processo, ou entrada e saída.

Com base nesses dados, construam um relatório dizendo qual o valor de `n_com` que vocês consideram mais adequado, levando em conta o número de trocas do processo, bem como a relação entre o tamanho de `n_com` e a média de instruções executadas por quantum. Atenção! Não tirem coelhos de cartolas! Fundamentem suas conclusões com base no comportamento do sistema; apresentem gráficos e tabelas para convencer o leitor do relatório de que sua escolha está coerente.

O relatório deve ser entregue em pdf.

## 1.6 Material para Entrega

A entrega será feita única e exclusivamente via eDisciplinas. Você deve criar um arquivo “No\_USP.zip” (em que No\_USP é seu número USP) contendo o seguinte material:

- Logfiles gerados, organizados conforme o quantum definido pelo usuário (para cada quantum haverá um logfile diferente)
- Código java do programa
- Relatório de avaliação do sistema, em pdf, conforme descrito acima

Deve ser submetido um único arquivo por grupo (ou seja, um único integrante irá fazer a submissão), sendo que o relatório deverá conter o nome e número usp de **todos** os participantes.

## 1.7 Data de Entrega

O prazo de entrega é 15 de Outubro de 2023.

## 1.8 Critérios de Avaliação

Para a avaliação, serão observados os seguintes critérios principais

- (2 pontos) Logfiles gerados, organizados conforme o quantum definido pelo usuário (se contém toda a informação requisitada)
- (3 pontos) Código java do sistema (corretude, e organização)
- (5 pontos) Relatório de avaliação do sistema (contendo todos os pontos mencionados nesse documento)

## 1.9 Observações Teóricas

- Note que em nenhum momento fala-se do contexto do escalonador. Isso porque, nesse trabalho, os registradores e demais recursos usados pelo escalonador estão transparentes ao sistema. Naturalmente, isso não corresponde à realidade em um processador, estando mais alinhado ao que ocorre em uma máquina virtual, em que o escalonador da máquina não se preocupa com seu próprio contexto, tratando tão somente de gerenciar o contexto dos processos que nele rodam.