

RELATÓRIO DE ATIVIDADES
TRABALHO 3 - SISTEMAS OPERACIONAIS
Luan Tiago Streck e Enzo Santin da Silveira

1. Introdução.

Este relatório tem como objetivo apresentar todos os detalhes acerca da implementação do Trabalho 3, que foca em adicionar ao Sistema Operacional o suporte à Memória Virtual e Paginação.

Na etapa anterior, o simulador já operava em modo multiprogramável, gerenciando processos e escalonamento. No entanto, o sistema ainda apresentava limitações quanto ao gerenciamento de memória: os endereços de carga dos programas precisavam ser diferentes para evitar conflitos e não havia proteção de memória entre os processos. Além disso, a execução ficava limitada ao tamanho da memória física disponível.

Assim, no trabalho 3, com a orientação do professor, o objetivo foi sanar esses problemas implementando um sistema de Memória Virtual baseado em paginação. Essa mudança permite que cada processo tenha seu próprio espaço de endereçamento isolado e possibilita a execução de programas maiores que a memória física real.

Algumas das principais implementações deste trabalho foram: integração da MMU, alteração no carregamento de programas para o uso de endereços virtuais, tratamento de interrupções de caso de falta de página, algoritmos para substituição de página e implementação de bloqueio por paginação.

No fim, é possível analisar as métricas obtidas, nesse caso, a contagem de faltas de página, para comparar o desempenho do sistema sob diferentes tamanhos de memória física e de configurações de sistema.

2. Desenvolvimento prático.

2.1. Memória e MMU.

Para começar a transformar o gerenciamento de memória, o primeiro passo foi integrar a MMU ao sistema. Antes, a CPU acessava a memória física diretamente. Agora, toda vez que a CPU tenta acessar um endereço, ela passa pela MMU, que traduz esse endereço virtual para um endereço físico usando uma Tabela de Páginas. Foi necessário alterar a estrutura do processo `processo_t` para incluir essa tabela de páginas. Assim, cada processo tem seu próprio mapa de memória, garantindo que um processo não consiga acessar ou “estragar” a memória do outro.

Para gerenciar a memória física, que é limitada, foi criada uma estrutura chamada Tabela de Quadros Invertida. Ela funciona como um mapa da memória real, guardando qual processo é dono de qual pedaço da memória física naquele momento. Isso foi essencial para controlar o uso da RAM de forma eficiente.

2.2. Paginação por Demanda e Tratamento de Erros.

Uma mudança importante feita neste trabalho foi na forma como os programas são carregados. Em vez de carregar o programa inteiro para a memória de uma vez, implementamos a Paginação por Demanda. Agora, quando um processo é criado, o SO apenas anota o nome do programa e o tamanho dele. As páginas só são carregadas para a memória física quando o processo realmente tenta usá-las. A única exceção é o processo `init`, que optamos por carregar totalmente no início para evitar problemas de travamento na inicialização do sistema.

Quando um processo tenta acessar uma página que não está na memória física, a CPU gera um erro de "Página Ausente". O SO então captura esse erro na função `so_trata_falta_de_pagina`. Nessa função, o sistema verifica se o endereço é válido. Se for, ele procura um quadro livre na memória física. Se encontrar, ele carrega o pedaço do programa do disco (simulado pelo arquivo executável) para a memória e atualiza a tabela de páginas. Durante esse tempo de leitura do disco, o processo fica bloqueado, simulando a demora real do hardware.

Ademais, com essas novas informações e implementações referente à memória e à paginação, teve-se a necessidade de suspender a execução de um processo quando uma página é carregada do disco. Esse tipo de bloqueio foi chamado de BLOQUEIO_PAGINACAO no código. O tratamento dele foi feito junto com os outros na função so_trata_pendencias, que antes tratava somente bloqueio por E/S e espera, e agora também trata para casos de falta de página.

2.3. Algoritmos de Substituição.

Quando a memória física fica cheia, o SO precisa decidir qual página retirar para dar lugar a uma nova. Para isso, foram implementados dois algoritmos de substituição. Vale destacar que, assim como no T2, é possível escolher qual algoritmo usar mudando um #define no início do código.

O primeiro algoritmo é o FIFO (First-In, First-Out), que usa uma fila circular simples para remover a página que está na memória há mais tempo. O segundo é o LRU (Least Recently Used), que tenta remover a página que foi usada menos recentemente. Para isso, implementamos uma lógica de envelhecimento, onde as páginas que são acessadas frequentemente ganham uma "pontuação" maior e não são removidas, enquanto as páginas esquecidas acabam sendo escolhidas para sair.

3. Análise de Resultados.

A análise de resultados foi feita interpretando a nova métrica adicionada ao relatório: o número de Faltas de Página (num_page_faults). Os testes foram feitos variando o tamanho da memória, como o professor pediu.

3.1. FIFO.

```
[Metricas Globais]
- Tempo total de execucao: 63711 instrucoes
- Numero total de processos criados: 3
- Tempo em que a CPU ficou ociosa: 28700 instrucoes
- Numero total de preempcoes: 84
- Numero de interrupcoes por tipo:
  > IRQ 0 (Reset): 1 vezes
  > IRQ 1 (Erro de execucao): 75 vezes
  > IRQ 2 (Chamada de sistema): 462 vezes
  > IRQ 3 (E/S: relógio): 2675 vezes

[Metricas por Processo]

>> Processo P1:
- Tempo de retorno: 33785 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 25
- Numero de preempcoes: 59
- Entradas em PRONTO: 769, BLOQUEADO: 32, EXECUTANDO: 737
- Tempo total em PRONTO: 13729, BLOQUEADO: 5792, EXECUTANDO: 14264
- Tempo medio de resposta: 60.16 instrucoes

>> Processo P2:
- Tempo de retorno: 22257 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 25
- Numero de preempcoes: 14
- Entradas em PRONTO: 406, BLOQUEADO: 38, EXECUTANDO: 368
- Tempo total em PRONTO: 10326, BLOQUEADO: 5737, EXECUTANDO: 6194
- Tempo medio de resposta: 155.66 instrucoes

>> Processo P3:
- Tempo de retorno: 32560 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 25
- Numero de preempcoes: 7
- Entradas em PRONTO: 654, BLOQUEADO: 75, EXECUTANDO: 579
- Tempo total em PRONTO: 15299, BLOQUEADO: 7771, EXECUTANDO: 9490
- Tempo medio de resposta: 176.17 instrucoes
```

Imagen 1- Relatório de execução de FIFO com memória disponível.

[Metricas Globais]

- Tempo total de execucao: 111403 instrucoes
- Numero total de processos criados: 3
- Tempo em que a CPU ficou ociosa: 71480 instrucoes
- Numero total de preempcoes: 63
- Numero de interrupcoes por tipo:
 - > IRQ 0 (Reset): 1 vezes
 - > IRQ 1 (Erro de execucao): 670 vezes
 - > IRQ 2 (Chamada de sistema): 462 vezes
 - > IRQ 3 (E/S: relógio): 4800 vezes

[Metricas por Processo]

>> Processo P1:

- Tempo de retorno: 85909 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 223
- Numero de preempcoes: 51
- Entradas em PRONTO: 1155, BLOQUEADO: 229, EXECUTANDO: 926
- Tempo total em PRONTO: 10414, BLOQUEADO: 59521, EXECUTANDO: 15974
- Tempo medio de resposta: 1.34 instrucoes

>> Processo P2:

- Tempo de retorno: 79335 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 225
- Numero de preempcoes: 8
- Entradas em PRONTO: 799, BLOQUEADO: 238, EXECUTANDO: 561
- Tempo total em PRONTO: 12189, BLOQUEADO: 59208, EXECUTANDO: 7938
- Tempo medio de resposta: 39.86 instrucoes

>> Processo P3:

- Tempo de retorno: 84970 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 222
- Numero de preempcoes: 0
- Entradas em PRONTO: 1052, BLOQUEADO: 273, EXECUTANDO: 779
- Tempo total em PRONTO: 11684, BLOQUEADO: 61999, EXECUTANDO: 11287
- Tempo medio de resposta: 42.63 instrucoes

Imagen 2- Relatório de execução de FIFO com tamanho de página menor igual a 1.

```
[Metricas Globais]
- Tempo total de execucao: 62220 instrucoes
- Numero total de processos criados: 3
- Tempo em que a CPU ficou ociosa: 27220 instrucoes
- Numero total de preempcoes: 65
- Numero de interrupcoes por tipo:
  > IRQ 0 (Reset): 1 vezes
  > IRQ 1 (Erro de execucao): 141 vezes
  > IRQ 2 (Chamada de sistema): 462 vezes
  > IRQ 3 (E/S: relógio): 2615 vezes

[Metricas por Processo]

>> Processo P1:
- Tempo de retorno: 38144 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 47
- Numero de preempcoes: 52
- Entradas em PRONTO: 818, BLOQUEADO: 53, EXECUTANDO: 765
- Tempo total em PRONTO: 13157, BLOQUEADO: 10477, EXECUTANDO: 14510
- Tempo medio de resposta: 56.23 instrucoes

>> Processo P2:
- Tempo de retorno: 27343 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 47
- Numero de preempcoes: 8
- Entradas em PRONTO: 454, BLOQUEADO: 60, EXECUTANDO: 394
- Tempo total em PRONTO: 10200, BLOQUEADO: 10719, EXECUTANDO: 6424
- Tempo medio de resposta: 127.13 instrucoes

>> Processo P3:
- Tempo de retorno: 37148 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 47
- Numero de preempcoes: 1
- Entradas em PRONTO: 702, BLOQUEADO: 96, EXECUTANDO: 606
- Tempo total em PRONTO: 14814, BLOQUEADO: 12606, EXECUTANDO: 9728
- Tempo medio de resposta: 148.96 instrucoes
```

Imagen 3- Relatório de execução de FIFO com tamanho de página maior igual a 5.

3.2. LRU.

```
[Metricas Globais]
- Tempo total de execucao: 66901 instrucoes
- Numero total de processos criados: 3
- Tempo em que a CPU ficou ociosa: 31500 instrucoes
- Numero total de preempcoes: 83
- Numero de interrupcoes por tipo:
  > IRQ 0 (Reset): 1 vezes
  > IRQ 1 (Erro de execucao): 79 vezes
  > IRQ 2 (Chamada de sistema): 462 vezes
  > IRQ 3 (E/S: relógio): 2814 vezes

[Metricas por Processo]

>> Processo P1:
- Tempo de retorno: 33785 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 25
- Numero de preempcoes: 59
- Entradas em PRONTO: 769, BLOQUEADO: 32, EXECUTANDO: 737
- Tempo total em PRONTO: 13729, BLOQUEADO: 5792, EXECUTANDO: 14264
- Tempo medio de resposta: 60.16 instrucoes

>> Processo P2:
- Tempo de retorno: 22257 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 25
- Numero de preempcoes: 14
- Entradas em PRONTO: 406, BLOQUEADO: 38, EXECUTANDO: 368
- Tempo total em PRONTO: 10326, BLOQUEADO: 5737, EXECUTANDO: 6194
- Tempo medio de resposta: 155.66 instrucoes

>> Processo P3:
- Tempo de retorno: 32560 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 25
- Numero de preempcoes: 7
- Entradas em PRONTO: 654, BLOQUEADO: 75, EXECUTANDO: 579
- Tempo total em PRONTO: 15299, BLOQUEADO: 7771, EXECUTANDO: 9490
- Tempo medio de resposta: 176.17 instrucoes
```

Imagen 4- Relatório de execução de LRU com memória disponível.

```
--- RELATORIO FINAL DO SISTEMA ---
[Metricas Globais]
- Tempo total de execucao: 127031 instrucoes
- Numero total de processos criados: 3
- Tempo em que a CPU ficou ociosa: 85080 instrucoes
- Numero total de preempcoes: 63
- Numero de interrupcoes por tipo:
  > IRQ 0 (Reset): 1 vezes
  > IRQ 1 (Erro de execucao): 670 vezes
  > IRQ 2 (Chamada de sistema): 462 vezes
  > IRQ 3 (E/S: relógio): 5480 vezes

[Metricas por Processo]
>> Processo P1:
- Tempo de retorno: 85909 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 223
- Numero de preempcoes: 51
- Entradas em PRONTO: 1155, BLOQUEADO: 229, EXECUTANDO: 926
- Tempo total em PRONTO: 10414, BLOQUEADO: 59521, EXECUTANDO: 15974
- Tempo medio de resposta: 1.34 instrucoes

>> Processo P2:
- Tempo de retorno: 79335 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 225
- Numero de preempcoes: 8
- Entradas em PRONTO: 799, BLOQUEADO: 238, EXECUTANDO: 561
- Tempo total em PRONTO: 12189, BLOQUEADO: 59208, EXECUTANDO: 7938
- Tempo medio de resposta: 39.86 instrucoes

>> Processo P3:
- Tempo de retorno: 84970 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 222
- Numero de preempcoes: 0
- Entradas em PRONTO: 1052, BLOQUEADO: 273, EXECUTANDO: 779
- Tempo total em PRONTO: 11684, BLOQUEADO: 61999, EXECUTANDO: 11287
- Tempo medio de resposta: 42.63 instrucoes
```

Imagen 5- Relatório de execução de LRU com tamanho de página menor igual a 1.

```

[Metricas Globais]
- Tempo total de execucao: 61989 instrucoes
- Numero total de processos criados: 3
- Tempo em que a CPU ficou ociosa: 27020 instrucoes
- Numero total de preempcoes: 65
- Numero de interrupcoes por tipo:
  > IRQ 0 (Reset): 1 vezes
  > IRQ 1 (Erro de execucao): 141 vezes
  > IRQ 2 (Chamada de sistema): 462 vezes
  > IRQ 3 (E/S: relógio): 2605 vezes

[Metricas por Processo]

>> Processo P1:
- Tempo de retorno: 38144 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 47
- Numero de preempcoes: 52
- Entradas em PRONTO: 818, BLOQUEADO: 53, EXECUTANDO: 765
- Tempo total em PRONTO: 13157, BLOQUEADO: 10477, EXECUTANDO: 14510
- Tempo medio de resposta: 56.23 instrucoes

>> Processo P2:
- Tempo de retorno: 27343 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 47
- Numero de preempcoes: 8
- Entradas em PRONTO: 454, BLOQUEADO: 60, EXECUTANDO: 394
- Tempo total em PRONTO: 10200, BLOQUEADO: 10719, EXECUTANDO: 6424
- Tempo medio de resposta: 127.13 instrucoes

>> Processo P3:
- Tempo de retorno: 37148 instrucoes
- Numero de Faltas de Pagina: 47
- Numero de preempcoes: 1
- Entradas em PRONTO: 702, BLOQUEADO: 96, EXECUTANDO: 606
- Tempo total em PRONTO: 14814, BLOQUEADO: 12606, EXECUTANDO: 9728
- Tempo medio de resposta: 148.96 instrucoes

```

Imagen 6- Relatório de execução de LRU com tamanho de página maior igual a 5.

Pode-se observar que nos testes iniciais, com bastante memória, nenhuma falta de página além das iniciais acontecia. Por isso, tanto para o FIFO quanto para o LRU, ocorreu os mesmos valores, já que a sua lógica de substituição não precisou acontecer.

Por outro lado, ao diminuir o tamanho das páginas, o número de faltas de página aumentou bastante. Isso acontece porque o sistema precisa ficar trocando páginas (tirando uma para colocar outra) com muito mais frequência, o que ativa os algoritmos de substituição FIFO ou LRU.

4. Conclusão.

O desenvolvimento deste trabalho permitiu evoluir o Sistema Operacional para suportar Memória Virtual, resolvendo os problemas de isolamento e limitação de espaço que existiam no T2.

Uma das coisas mais importantes foi a implementação da Paginação por Demanda e do tratamento de faltas de página. Com isso, foi possível executar programas maiores do que a memória física disponível, já que apenas as partes necessárias do código ficam na RAM.

Além disso, a criação da Tabela de Quadros Invertida e a implementação dos algoritmos de substituição permitiram gerenciar a memória cheia de forma organizada.

Os testes mostraram como o sistema operacional reage à diferentes casos de memória disponível, sendo consistente em seus resultados. Assim, foi possível e produtivo analisar as mudanças de comportamento do sistema.