DCC
DEPARTAMENTO DE
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

Estruturas de Dados

Biblioteca memlog
Aplicativo analisamem

Professores: Marcio Santos
Wagner Meira Jr

Roteiro: Caracterização de Padrão de Acesso à Memória e Localidade de Referência

1. Avalie qualitativamente o programa a ser caracterizado em termos dos acessos de memória esperados e localidade de referência. Identifique as estruturas de dados e segmentos de código críticos (p.ex., mais custosos)
2. Elabore o plano de caracterização de localidade de referência
3. Selecione os parâmetros do programa a ser caracterizado
   a. Programa não deve executar por muito ou pouco tempo, mas o suficiente para entender o comportamento do algoritmo.
4. Execute o código com Cachegrind:
   a. `valgrind --tool=cachegrind ./matop -m -x 5 -y 5`
   b. `cg_annotate cachegrind.out.XXXX`
5. Execute o código com Callgrind
   a. `valgrind --tool=callgrind  ./matop -m -x 5 -y 5`
   b. `callgrind_annotate callgrind.out.XXXX`
6. Avalie a saída do CacheGrind identificando:
   a. Quão bem o programa se comporta em termos de memória
   b. Estruturas de dados a serem caracterizadas
   c. Segmentos de código a serem instrumentados

Roteiro: Caracterização de Padrão de Acesso à Memória e Localidade de Referência

7. Instrumente o código
   a. Use a biblioteca memlog
8. Execute os experimentos do código instrumentado
9. Analise, utilizando os padrões de acesso e a localidade de referência
   a. Use o aplicativo analisamem
   b. Visualizações
      i. Mapa de Acesso
      ii. Histograma de distância de pilha
      iii. Evolução da distância de pilha
10. Sugira, se for o caso, modificações no código ou na estrutura de dados

Monitoramento usando memlog

1. Selecionar as estruturas de dados a serem monitorizadas
   a. Nem todos os dados e estruturas de dados tem que ser monitorizados
   b. Para cada estrutura de dados, definir o grão do monitoramento
      i. Vetores: atenção com o tamanho do elemento
      ii. Registros: pode ser interessante analisar partes do registro
2. Selecionar as funções a serem instrumentadas
3. Definir as fases de monitoramento
4. Instrumentar o código
5. Definir o plano de experimentos
6. Executar os experimentos
7. Gerar as visualizações
8. Analisar os resultados e visualizações

Biblioteca memlog: memlog.h

```
typedef struct memlog{
    FILE * log;
    clockid_t clk_id;
    struct timespec inittime;
    long count;
    int fase;
    int ativo;
} memlog_tipo;
extern memlog_tipo ml;

// constantes definindo os estados de registro
#define MLATIVO 1
#define MLINATIVO 0

#define LEMEMLOG(pos,tam,id) \
        ((void)((ml.ativo==MLATIVO)?leMemLog(pos,tam,id):0))

#define ESCREVEMEMLOG(pos,tam,id) \
        ((void) ((ml.ativo==MLATIVO)?escreveMemLog(pos,tam,id):0))
```

Biblioteca memlog: memlog.h

```
int iniciaMemLog(char * nome);
int ativaMemLog();
int desativaMemLog();
int defineFaseMemLog(int f);
int leMemLog(long int pos, long int tam, int id);
int escreveMemLog(long int pos, long int tam, int id);
int finalizaMemLog();
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
void clkDifMemLog(struct timespec t1, struct timespec t2,
                  struct timespec * res)
// Descricao: calcula a diferenca entre t2 e t1, que e
armazenada em res
// Entrada: t1, t2
// Saida: res
{
  if (t2.tv_nsec < t1.tv_nsec){
    // ajuste necessario, utilizando um segundo de tv_sec
    res-> tv_nsec = 1000000000+t2.tv_nsec-t1.tv_nsec;
    res-> tv_sec = t2.tv_sec-t1.tv_sec-1;
  } else {
    // nao e necessario ajuste
    res-> tv_nsec = t2.tv_nsec-t1.tv_nsec;
    res-> tv_sec = t2.tv_sec-t1.tv_sec;
  }
}
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
int iniciaMemLog(char * nome)
// Descricao: inicializa o registro de acessos, abrindo o arquivo nome
// Entrada: nome
// Saida: nao tem
{ // escolhe modo do relogio
  ml.clk_id = CLOCK_MONOTONIC;
  // abre arquivo de registro e verifica se foi aberto corretamente
  ml.log = fopen(nome,"wt");
  erroAssert(ml.log != NULL,"Cannot open memlog output");
  // captura o tempo inicial do registro
  struct timespec tp;
  int result = clock_gettime(ml.clk_id,&tp);
  ml.inittime.tv_sec = tp.tv_sec;  ml.inittime.tv_nsec = tp.tv_nsec;
  // inicializa variaveis do TAD
  ml.count = 1;   ml.ativo = MLATIVO;  ml.fase = 0;
  // imprime registro inicial
  int retprint = fprintf(ml.log,"I %ld %ld.%.9ld\n",
                    ml.count,tp.tv_sec,tp.tv_nsec);
  erroAssert(retprint>=0,"Nao foi possivel escrever registro");
  return result;
}
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
int ativaMemLog()
// Descricao: ativa o registro de acessos
// Entrada: nao tem
// Saida: MLATIVO
{ ml.ativo = MLATIVO;
  return MLATIVO;
}
int desativaMemLog()
// Descricao: desativa o registro de acessos
// Entrada: nao tem
// Saida: MLINATIVO
{ ml.ativo = MLINATIVO;
  return MLINATIVO;
}
int defineFaseMemLog(int f)
// Descricao: define a fase de registro de acessos
// Entrada: f
// Saida: valor de f
{ ml.fase = f;
  return f;
}
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
int leMemLog(long int pos, long int tam, int id)
// Descricao: registra acesso de leitura de tam bytes na posicao pos
// Entrada: pos,tam
// Saida: resultado da obtencao do relogio
{ // verifica se registro esta ativo
  if (ml.ativo == MLINATIVO) return 0;
  // captura tempo atual
  struct timespec tp, tdif;
  int result = clock_gettime(ml.clk_id,&tp);
  // calcula a diferencao com tempo inicial, para economia de armazenamento
  clkDifMemLog(ml.inittime,tp,&tdif);
  // atualiza contador
  ml.count++;
  // imprime registro
  int retprint = fprintf(ml.log,"L %d %ld %d %ld.%.9ld %ld %ld\n",
         ml.fase, ml.count, id, tdif.tv_sec, tdif.tv_nsec, pos, tam);
  erroAssert(retprint>=0,"Nao foi possivel escrever registro");
  return result;
}
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
int escreveMemLog(long int pos, long int tam, int id)
// Descricao: registra acesso de escrita de tam bytes na posicao pos
// Entrada: pos, tam
// Saida: resultado da obtencao do relogio
{ // verifica se registro esta ativo
  if (ml.ativo == MLINATIVO) return 0;
  // captura tempo atual
  struct timespec tp,tdif;
  int result = clock_gettime(ml.clk_id,&tp);
  // calcula a diferenca com tempo inicial, para economia de armazenamento
  clkDifMemLog(ml.inittime,tp,&tdif);
  // atualiza contador
  ml.count++;
  // imprime registro
  int retprint = fprintf(ml.log,"E %d %ld %d %ld.%.9ld %ld %ld\n",
         ml.fase, ml.count, id, tdif.tv_sec, tdif.tv_nsec, pos, tam);
  erroAssert(retprint>=0,"Nao foi possivel escrever registro");
  return result;
}
```

Biblioteca memlog: memlog.c

```
int finalizaMemLog()
// Descricao: finaliza o registro de acessos a memoria
// Entrada: nao tem
// Saida: resultado da obtencao do relogio
{ // captura o tempo atual
  struct timespec tp, tdif;
  int result = clock_gettime(ml.clk_id,&tp);
  // calcula a diferenca com tempo inicial, para economia de armazenamento
  clkDifMemLog(ml.inittime,tp,&tdif);
  // atualiza contador
  ml.count++;
  // imprime registros finais
  int retprint = fprintf(ml.log,"F %ld %ld.%.9ld %ld.%.9ld\n", ml.count,
                tp.tv_sec,tp.tv_nsec, tdif.tv_sec,tdif.tv_nsec);
  erroAssert(retprint>=0,"Nao foi possivel escrever registro");
  // fecha arquivo de registro
  int retclose = fclose(ml.log);
  erroAssert(retclose == 0,"Nao foi possivel fechar o arquivo de registro");
  // atualiza variavel de estado
  ml.ativo = MLINATIVO;
  return result;
}
```

Usando memlog: matop.c

```
 void uso()
// Descricao: imprime as opcoes de uso
// Entrada: nao tem
// Saida: impressao das opcoes de linha de comando
{
  fprintf(stderr,"matop\n");
  fprintf(stderr,"\t-s \t(somar matrizes) \n");
  fprintf(stderr,"\t-m \t(multiplicar matrizes) \n");
  fprintf(stderr,"\t-t \t(transpor matriz)\n");
  fprintf(stderr,"\t-p <arq>\t(arquivo de registro de acesso)\n");
  fprintf(stderr,"\t-l \t(registrar acessos a memoria)\n");
  fprintf(stderr,"\t-x <int>\t(primeira dimensao)\n");
  fprintf(stderr,"\t-y <int>\t(segunda dimensao)\n");
}
```

Usando memlog: matop.c

```
    while ((c = getopt(argc, argv, "smtp:x:y:lh")) != EOF)
    switch(c) {
        case 'm':avisoAssert(opescolhida==-1,"Mais de uma operacao
escolhida");
                 opescolhida = OPMULTIPLICAR;
                 break;
        case 's':avisoAssert(opescolhida==-1,"Mais de uma operacao
escolhida");
                 opescolhida = OPSOMAR;
                 break;
        case 't':avisoAssert(opescolhida==-1,"Mais de uma operacao
escolhida");
                 opescolhida = OPTRANSPOR;
                 break;
        case 'p':strcpy(lognome,optarg);
                 break;
        case 'x':optx = atoi(optarg);
                 break;
        case 'y':opty = atoi(optarg);
                 break;
        case 'l':regmem = 1;
                 break;
        case 'h':
        default: uso(); exit(1);
```

Usando memlog: matop.c

```
// iniciar registro de acesso
 iniciaMemLog(lognome);

 // ativar ou nao o registro de acesso
 if (regmem){
   ativaMemLog();
 }
 else{
   desativaMemLog();
 }

 ……

 return finalizaMemLog();
```

Usando memlog: mat.c

```
void multiplicaMatrizes(mat_tipo *a, mat_tipo *b, mat_tipo *c)
// Descricao: multiplica as matrizes a e b e armazena o resultado em c
// Entrada: a,b
// Saida: c
{
  int i,j,k;
  // verifica a compatibilidade das dimensoes
  erroAssert(a->tamy==b->tamx,"Dimensoes incompativeis");
  // cria e inicializa a matriz c
  criaMatriz(c,a->tamx, b->tamy,c->id);
  inicializaMatrizNula(c);
  // realiza a multiplicacao de matrizes
  for (i=0; i<c->tamx;i++){
     for (j=0; j<c->tamy;j++){
       for (k=0; k<a->tamy;k++){
         c->m[i][j] += a->m[i][k]*b->m[k][j];
         LEMEMLOG((long int)(&(a->m[i][k])),sizeof(double),a->id);
         LEMEMLOG((long int)(&(b->m[k][j])),sizeof(double),b->id);
         ESCREVEMEMLOG((long int)(&(c->m[i][j])),sizeof(double),c->id);
       }
     }
  }
}
```

Usando memlog: matop

Opções matop:

```
matop
    -s              (somar matrizes)
    -m              (multiplicar matrizes)
    -t              (transpor matriz)
    -c <arq>        (cria matriz e salva em arq)
    -p <arq>        (arquivo de registro de acesso)
    -l              (registrar acessos a memoria)
    -x <int>        (primeira dimensao)
    -y <int>        (segunda dimensao)
```

Linha de comando:

```
bin/matop -m -p /tmp/multlog.out -l -x 5 -y 5
```

Usando memlog: matop.c

```
case OPMULTIPLICAR:
      // cria matrizes a e b aleatorias, que sao multiplicadas para matriz c
      // matriz c é impressa e todas as matrizes sao destruidas
      defineFaseMemLog(0);
      criaMatriz(&a,optx,opty,0);          inicializaMatrizAleatoria(&a);
      criaMatriz(&b,opty,optx,1);          inicializaMatrizAleatoria(&b);
      criaMatriz(&c,optx,optx,2);          inicializaMatrizNula(&c);
      defineFaseMemLog(1);
      acessaMatriz(&a);          acessaMatriz(&b);       acessaMatriz(&c);
      multiplicaMatrizes(&a,&b,&c);
      defineFaseMemLog(2);
      acessaMatriz(&c);
      if (regmem) imprimeMatriz(&c);
      destroiMatriz(&a);
      destroiMatriz(&b);
      destroiMatriz(&c);
break;
```

Usando memlog: mult.log

```
I 1 616722.226236424
E 0 2 0 0.000012139 140725505023504 8
E 0 3 0 0.000016063 140725505023512 8
E 0 4 0 0.000016811 140725505023520 8
E 0 5 0 0.000017406 140725505023528 8
E 0 6 0 0.000018033 140725505023536 8
...
L 1 420 1 0.000280593 140725505023904 8
E 1 421 2 0.000281198 140725505024048 8
L 1 422 0 0.000281743 140725505023584 8
L 1 423 1 0.000282253 140725505023752 8
E 1 424 2 0.000282786 140725505024056 8
L 1 425 0 0.000283299 140725505023592 8
L 1 426 1 0.000283810 140725505023792 8
E 1 427 2 0.000284342 140725505024056 8
...
F 652 616722.226709428 0.000473004
```

Usando memlog: fixaddr

```
I 1 616722.226236424
E 0 2 0 0.000012139 140725505023504 8
E 0 3 0 0.000016063 140725505023512 8
E 0 4 0 0.000016811 140725505023520 8
E 0 5 0 0.000017406 140725505023528 8
E 0 6 0 0.000018033 140725505023536 8
...
L 1 420 1 0.000280593 140725505023904 8
E 1 421 2 0.000281198 140725505024048 8
L 1 422 0 0.000281743 140725505023584 8
L 1 423 1 0.000282253 140725505023752 8
E 1 424 2 0.000282786 140725505024056 8
L 1 425 0 0.000283299 140725505023592 8
L 1 426 1 0.000283810 140725505023792 8
E 1 427 2 0.000284342 140725505024056 8
...
F 652 616722.226709428 0.000473004
```

```
I 1 616722.226236424
E 0 2 0 0.000012139 0 8
E 0 3 0 0.000016063 8 8
E 0 4 0 0.000016811 16 8
E 0 5 0 0.000017406 24 8
E 0 6 0 0.000018033 32 8
...
L 1 420 1 0.000280593 376 8
E 1 421 2 0.000281198 488 8
L 1 422 0 0.000281743 80 8
L 1 423 1 0.000282253 224 8
E 1 424 2 0.000282786 496 8
L 1 425 0 0.000283299 88 8
L 1 426 1 0.000283810 264 8
E 1 427 2 0.000284342 496 8
...
F 652 616722.226709428 0.000473004
```

Usando memlog: mult.log

Evento de Inicio:

```
I 1 616722.226236424
```

- `I:` Rótulo de início
- `1:` Identificador de evento
- `616722.226236424:` Tempo absoluto de início em segundos

Eventos de Leitura e Escrita:

```
L 1 420 1 0.000280593 140725505023904 8
E 1 421 2 0.000281198 140725505024048 8
```

- `L/E:` Rótulo de Leitura ou Escrita
- `1:` Fase
- `420/421:` Identificador de evento
- `1:` Identificador de estrutura de dados
- `0.000280593:` Tempo desde o início
- `140725505023904:` Endereço do acesso
- `8:` Tamanho do dado acessado

Evento de Fim:

```
F 652 616722.226709428 0.000473004
```

- `F:` Rótulo de fim
- `652:` Identificador de evento
- `616722.226709428:` Tempo absoluto de fim em segundos
- `0.000473004:` Tempo desde o início

analisamem: make use

```
if test -d /tmp/out; then rm -rf /tmp/out; fi
mkdir /tmp/out ; mkdir /tmp/out/teste
fixaddr/fixaddr.csh teste/multlog.out /tmp/out
$(EXE) -i /tmp/out/teste/multlog.out.fixed -p /tmp/out/mult
fixaddr/fixaddr.csh teste/somalog.out /tmp/out
$(EXE) -i /tmp/out/teste/somalog.out.fixed -p /tmp/out/soma
fixaddr/fixaddr.csh teste/transplog.out /tmp/out
$(EXE) -i /tmp/out/teste/transplog.out.fixed -p /tmp/out/transp
gnuplot /tmp/out/*.gp
ls /tmp/out/
```

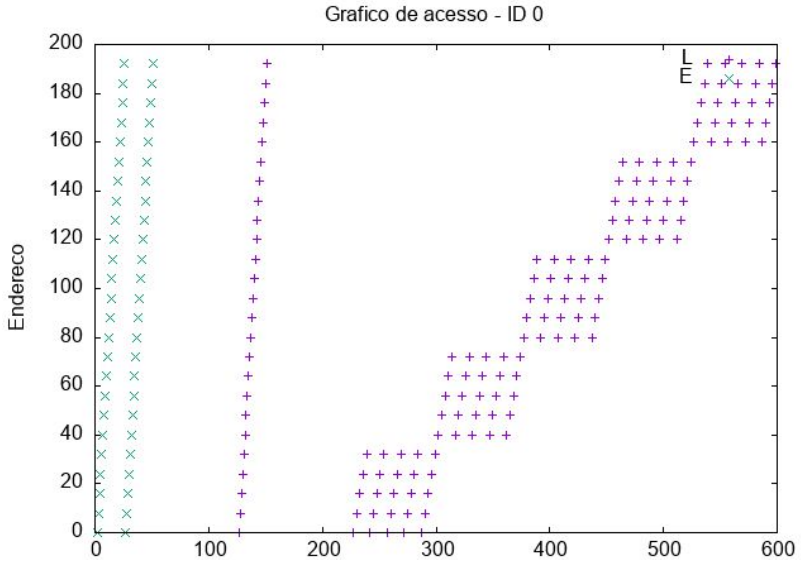
Resultado para transplog:

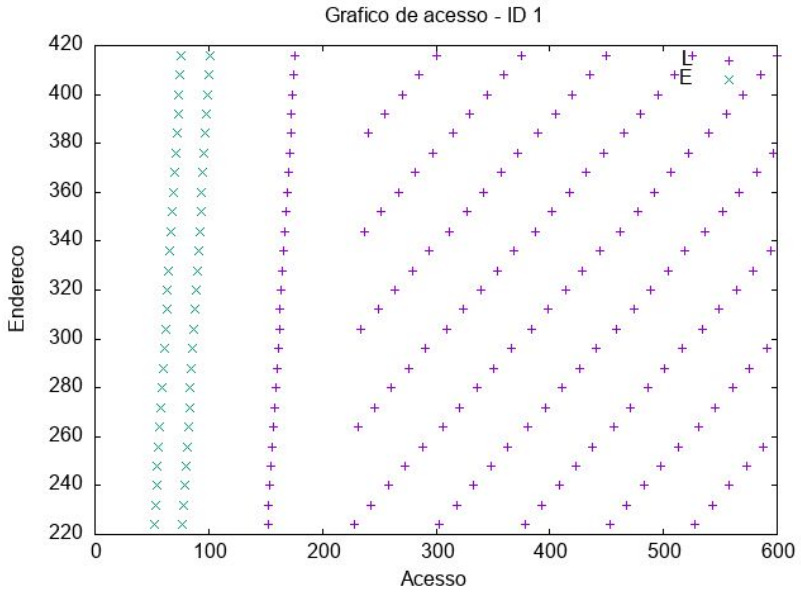
```
transp-acesso-0-0.gpdat   transp-distp-0.png    transp-hist-1-0.png
transp-acesso-0.gp        transp-hist-0-0.gp    transp-hist-2-0.gp
transp-acesso-0.png       transp-hist-0-0.gpdat transp-hist-2-0.gpdat
transp-acesso-1-0.gpdat   transp-hist-0-0.png   transp-hist-2-0.png
transp-acesso-2-0.gpdat   transp-hist-1-0.gp    transp-distp-0.gp
transp-hist-1-0.gpdat
```

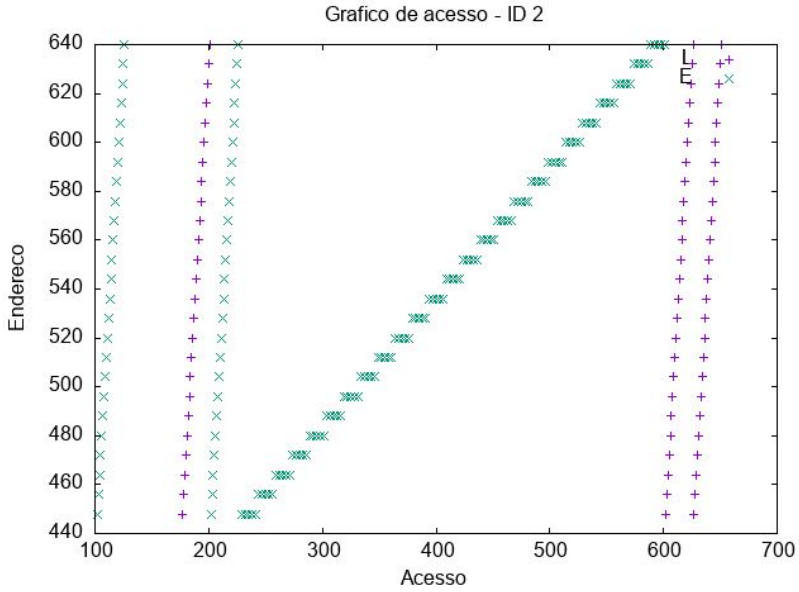
analisamem: Mapa de Acesso

```
set term png
set output "/tmp/out/mult-acesso-0.png"
set title "Grafico de acesso - ID 0"
set xlabel "Acesso"
set ylabel "Endereco"
plot "/tmp/out/mult-acesso-0-0.gpdat" u 2:4
w points t "L",
"/tmp/out/mult-acesso-1-0.gpdat" u 2:4 w
points t "E"
```

analisamem: Mapa de Acesso



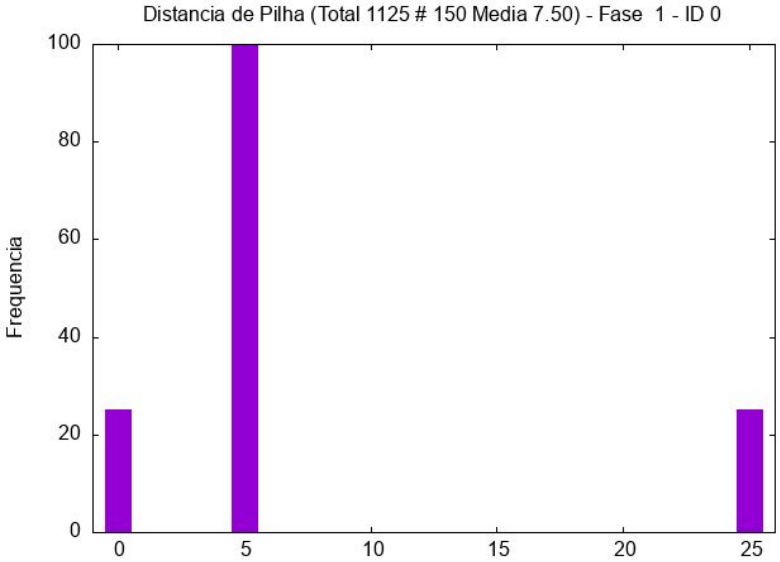


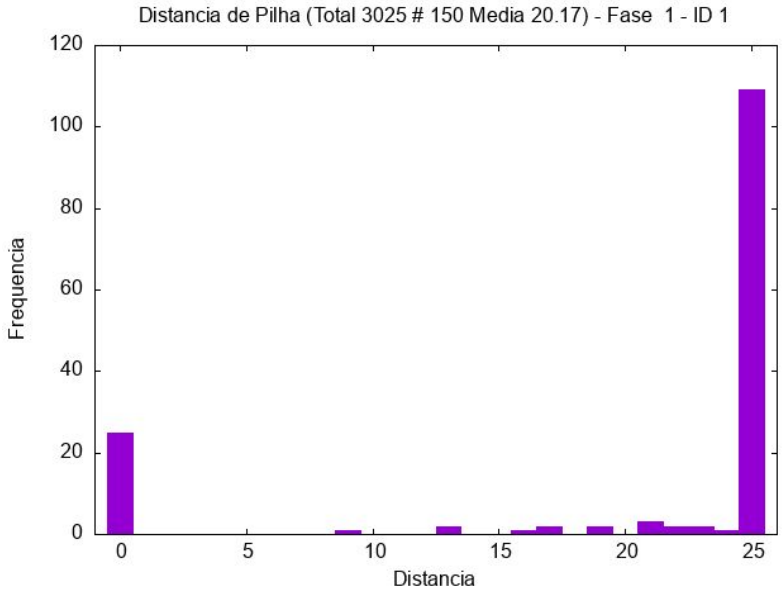


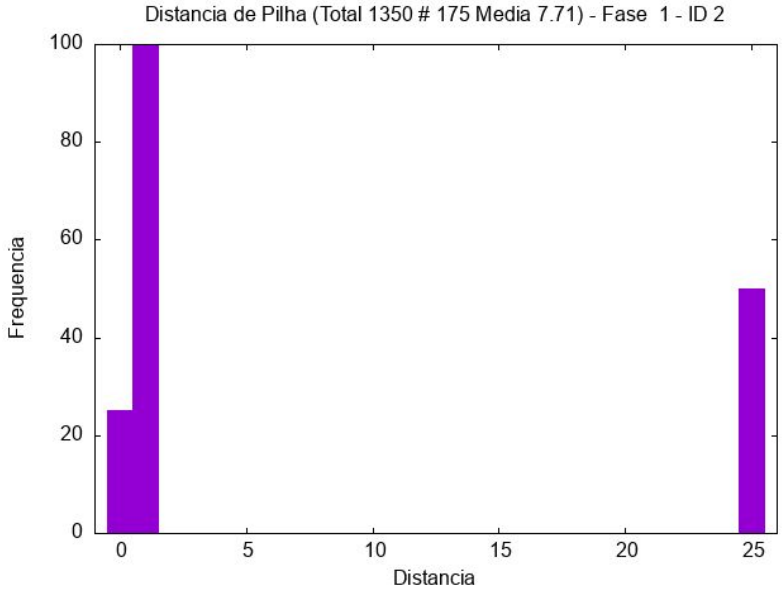
analisamem: Histograma de DP

```
set term png
set output "/tmp/out/mult-hist-0-0.png"
set style fill solid 1.0
set title "Distancia de Pilha (Total 625 #
50 Media 12.50) - Fase  0 - ID 0"
set xlabel "Distancia"
set ylabel "Frequencia"
plot [-1:26] "/tmp/out/mult-hist-0-0.gpdat"
u 3:4 w boxes t ""
```

analisamem: Histograma de DP



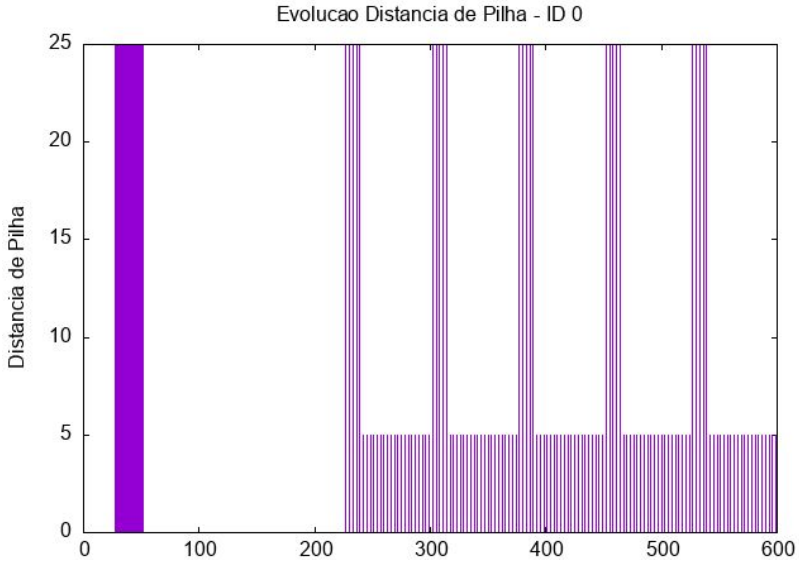


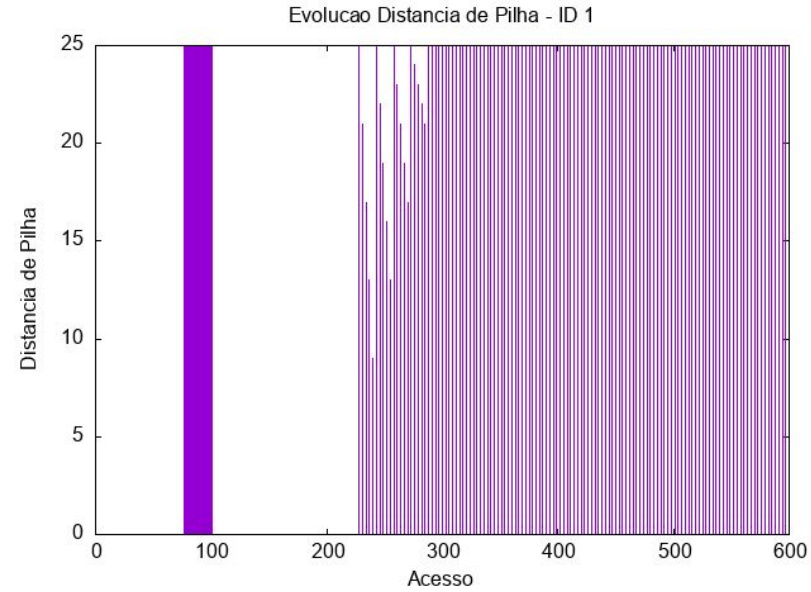


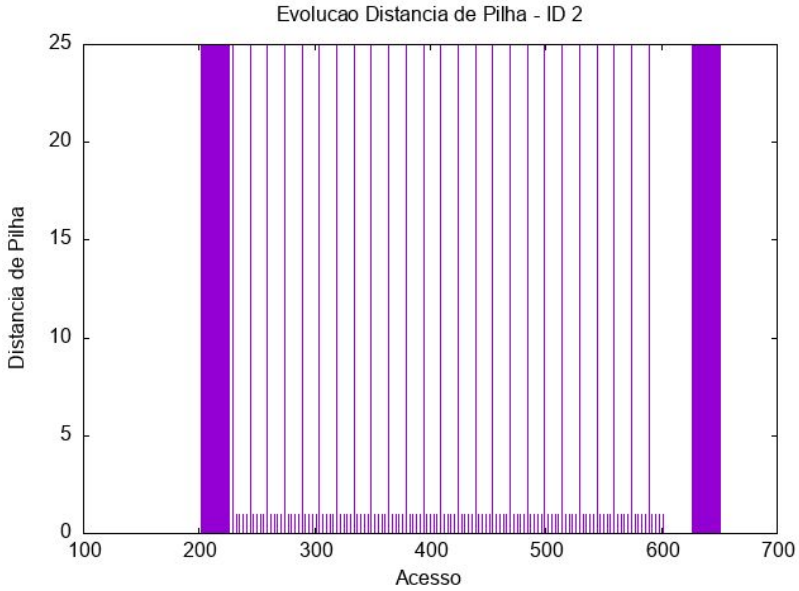
analisamem: Evolução DP

```
set term png
set output "/tmp/out/mult-distp-0.png"
set title "Evolucao Distancia de Pilha - ID
0"
set xlabel "Acesso"
set ylabel "Distancia de Pilha"
plot "/tmp/out/mult-acesso-2-0.gpdat" u 2:5
w impulses t ""
```

analisamem: Evolução DP







Executando Experimentos

- Como o desempenho é medido em termos de tempo de execução, vários cuidados tem que ser tomados:
  - Desative o máximo de programas quando for medir
  - Não execute programas nem deixe entrar em descanso
  - Verifique a carga da máquina com aplicativos tipo `top`

```
top - 18:15:56 up 7 days,  2:15,  1 user,  load average: 1,48, 1,59, 1,81
Tasks: 295 total,   1 running, 294 sleeping,   0 stopped,   0 zombie
%Cpu(s):  6,0 us,  3,1 sy,  0,0 ni, 90,6 id,  0,3 wa,  0,0 hi,  0,0 si,  0,0
st
MiB Mem :  15738,0 total, 917,8 free,  12785,4 used,   2034,8 buff/cache
MiB Swap:   2048,0 total,     0,0 free,   2048,0 used.   1168,4 avail Mem

    PID USER      PR  NI    VIRT    RES    SHR S  %CPU  %MEM     TIME+ COMMAND
  76464 meira     20   0 5754044   1,4g  41588 S  12,3   9,2 184:45.12 Web Con+
   2320 meira     20   0 1690660 463756   1812 S   4,6   2,9   3:35.33 snap-st+
   1090 root      20   0  337284   4364   1800 S   4,3   0,0  38:43.56 Network+
   2060 meira     20   0 4927440 263692  14320 S   4,0   1,6 398:06.71 gnome-s+
```

Executando Experimentos

- Não use máquinas diferentes, resultados não serão comparáveis
- Em relação ao matop, desative registro de acessos à memória (não use a opção `-l`)
- Tempo de execução pode ser obtido no arquivo de saída do registro de acessos:
- Multiplicação de Matrizes 100x100
  - Tempo de execução **sem** registro de acesso à memória

    ```
    I 1 613296.868793901
    F 2 613296.875192111 0.006398210
    ```

  - Tempo de execução **com** registro de acesso à memória

    ```
    I 1 613587.026878001
    F 4070002 613588.526492373 1.499614372
    ```

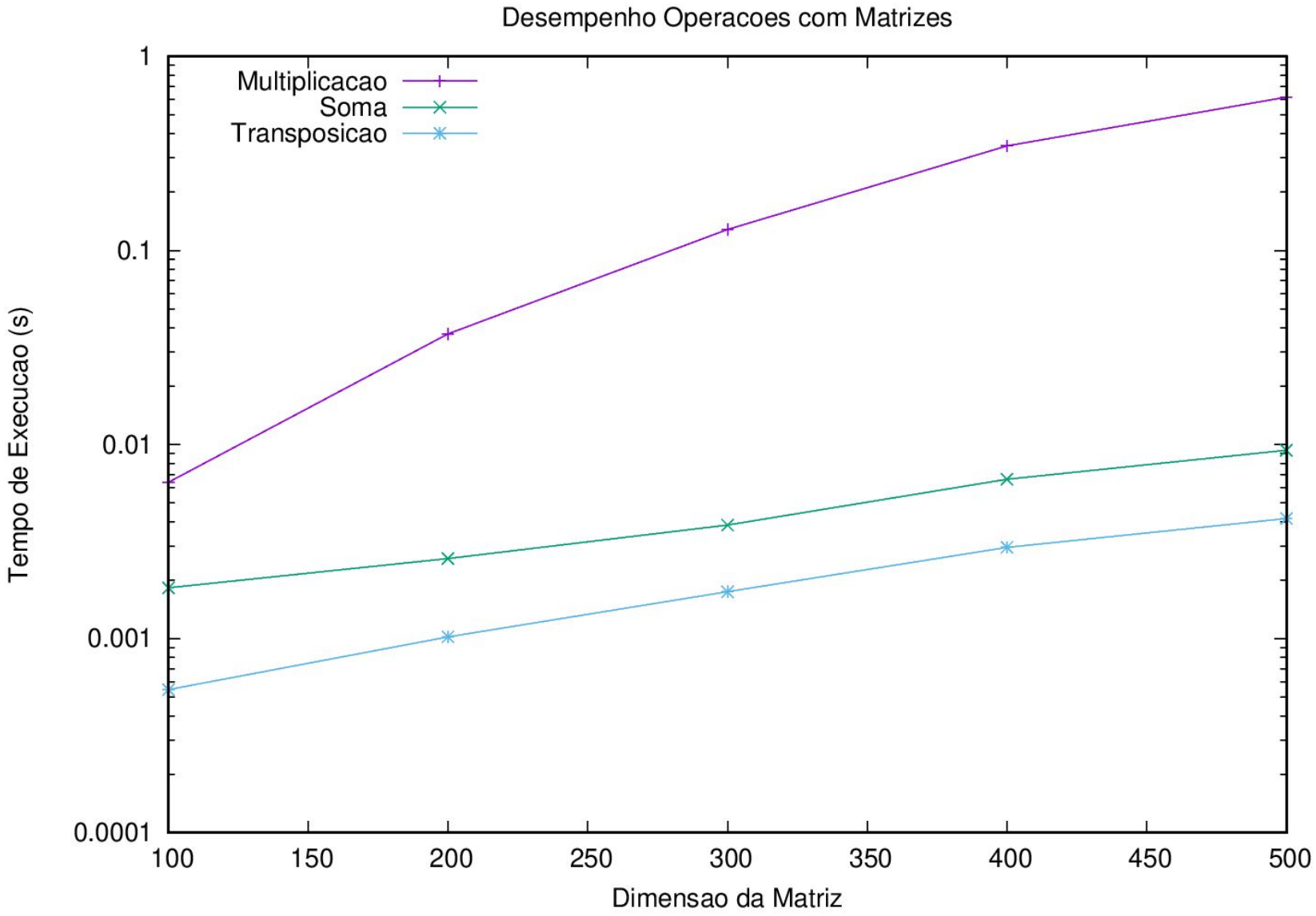
Resultados matop: perf.gpdat

```
100 0.006398210 0.001829699 0.000546951
200 0.037136802 0.002587916 0.001020990
300 0.128376628 0.003845188 0.001746546
400 0.345936870 0.006618190 0.002952549
500 0.616801968 0.009343938 0.004156377
```

Resultados matop: perf.gp

```
set term postscript eps color 14
set output "perf.eps"
set title "Desempenho Operacoes com Matrizes"
set xlabel "Dimensao da Matriz"
set ylabel "Tempo de Execucao (s)
set logscale y
set key left top
plot "perf.gpdat" u 1:2 w linesp t "Multiplicacao",\
    "perf.gpdat" u 1:3 w linesp t "Soma",\
    "perf.gpdat" u 1:4 w linesp t "Transposicao"
```

Resultados matop: gnuplot perf.gp



DCC
DEPARTAMENTO DE
CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

UFMG
UNIVERSIDADE FEDERAL
DE MINAS GERAIS

Estruturas de Dados

Biblioteca memlog
Aplicativo analisamem

Professores: Marcio Santos
Wagner Meira Jr