# Introdução ao Processamento Paralelo e ao Uso de Clusters de Workstations em Sistemas GNU/LINUX Parte II: Processos e Threads*

Bueno A.D. (andre@lmpt.ufsc.br)
Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas - LMPT
Versão 0.2

18 de janeiro de 2003

## Resumo

Os conceitos básicos de processamento paralelo foram apresentados no artigo [*Introdução ao Processamento Paralelo e ao Uso de Clusters, Parte I: Filosofia*, Bueno A.D. 2002]. O termo threads, refere-se a tarefas leves, que consomen menos recursos computacionais que um processo, e que são utilizadas de forma eficiente para a execução de processamento paralelo em sistemas multiprocessados. No presente artigo apresenta-se de forma mais detalhada os conceitos úteis ao aprendizado da programação paralela utilizando os mecanismos de multi-processing e multi-threading. A estrutura, as características e as diferenças entre processos e threads. Os estados assumidos pelos processos e threads. Que funções da linguagem C você deve conhecer para desenvolver programas usando threads, um roteiro básico e exemplos. Finalmente, apresenta-se a biblioteca common C++, uma biblioteca com classes prontas que facilitam o desenvolvimento de programas multithreading.

## Sumário



*Este documento pode ser livremente copiado, segundo as regras GPL. Este artigo é uma sequência do artigo *Introdução ao Processamento Paralelo e ao Uso de Clusters, Parte I: Filosofia*, Bueno A.D. 2002, `http://www.lmpt.ufsc.br/\protect~andre/Artigos/118-IntroducaoProgramacaoParalelaECluster-P1.pdf`. Este artigo tem objetivos didáticos.

# 1 Introdução

As vantagens e formas de uso da programação paralela foram descritos no artigo [1]. Apresenta-se aqui os conceitos de processos e de threads, sua estrutura, característica e estados. Quais as características e diferenças entre as threads e os processos.

Apresenta-se exemplos práticos de uso de processos e threads em C e C++.

# 2 Objetivo específico

Descrever os conceitos básicos para programação paralela utilizando-se processos e threads em sistemas GNU/Linux usando a linguagem C/C++.

# 3 Processos

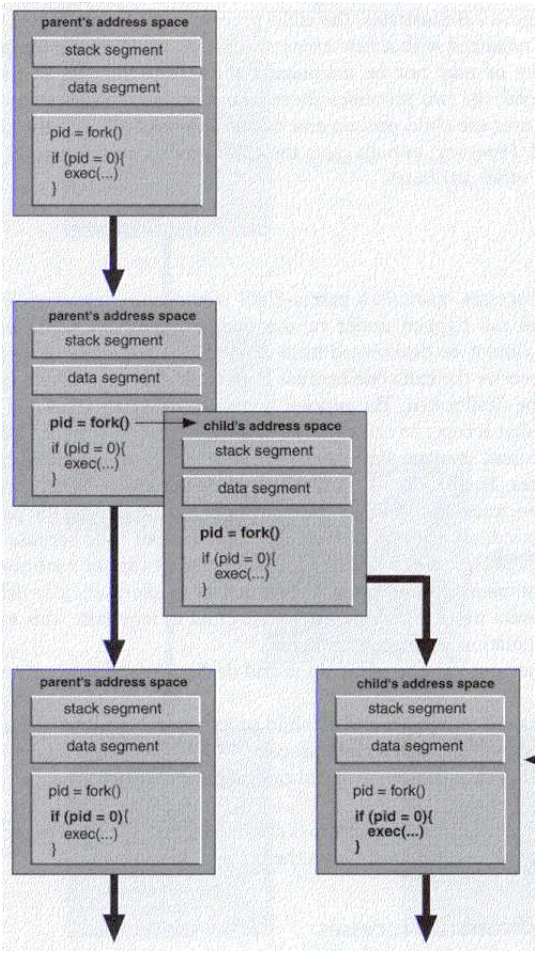
## 3.1 Introdução aos processos

Os computadores e os sistemas operacionais modernos suportam multitasking (múltiplos processos sendo executados simultaneamente). Adicionalmente, se o computador tem mais de um processador, o sistema operacional divide os processos entre os processadores.

No GNU/Linux e nas variantes do Unix, um processo pode ser clonado com a função fork(). Desta forma o processo original e o processo clonado terão a mesma estrutura de dados e os mesmos códigos, mas terão um pid diferente. O pid é então utilizado para diferenciar os processos.

A Figura 1 ilustra a clonagem de um processo com fork. Observe que após a clonagem, a única diferença entre os dois processos é o valor da variável retornada pela função fork. Para o processo pai o retorno (Pid) é igual a zero, e para o filho o Pid é diferente de 0.

Figura 1: Clonagem de um processo com fork, Fonte [5].




## 3.2 Estrutura e características de um processo

Um **processo** contém um programa sendo executado e um conjunto de recursos alocados. A estrutura de um processo é apresentada na Tabela 1.

Lista-se a seguir as principais características de um processo:

- Um processo é autocontido (independente).
- Cada processo tem seu bloco de memória.
- Um processo pode criar outros processos, dito filhos. Quem cria é o pai (parent), quem é criado é o filho (child).
- Os processos pai e filho são independentes.
- O processo filha herda algumas propriedades do processo pai (nome do pai, prioridades, agendamentos, descritores de arquivo). Observe que o custo de criação de um processo é elevado, pois o sistema operacional deve clonar todas as informações do processo.
- O processo filho (criado no tempo t) pode usar os recursos do pai que já foram criados. Se depois de criar o processo filho, o processo pai criar novos recursos, estes não são compartilhados com o filho.
- O processo pai pode alterar a prioridade ou matar um processo filho.
- O processo filho é encerrado quando retorna o valor zero (0) para o pai.
- Se o processo filho apresenta problemas (termina mas não informa o pai), o mesmo se transforma em um zoombie.
- Um processo destacado é um processo que não herda nada de seu pai e que é utilizado para realização de tarefas em background (Exemplo daemom de impressão).

## 3.3 Estados de um processo

Um processo pode estar num dos seguintes estados (veja Figura 2):

**idle/new:** Processo recém criado (sendo preparado).

Tabela 1: Estrutura de um processo e de uma thread.

| Ítem | processo | thread |
|---|---|---|
| Nome | X | X |
| ID Identificador | X | X |
| PID- Identificador do pai (parent id) | X | |
| Group ID | X | |
| Real user ID | X | |
| Grupo suplementar ID | X | |
| Module_handle | X | |
| Máscara de sinais | X | |
| Linha de comando | X | |
| Pilha | X | X |
| Recursos | X | |
| Nome da cpu que esta rodando | X | |
| Prioridade | X | X |
| Tempo de processamento | X | |
| Máscara de arquivos (permissões) | X | |
| Variáveis do meio ambiente | X | |

**ready:** Processo sendo carregado.

**standby:** Cada processador tem um processo em standby (o próximo a ser executado).

**running:** O processo esta rodando (ativo).

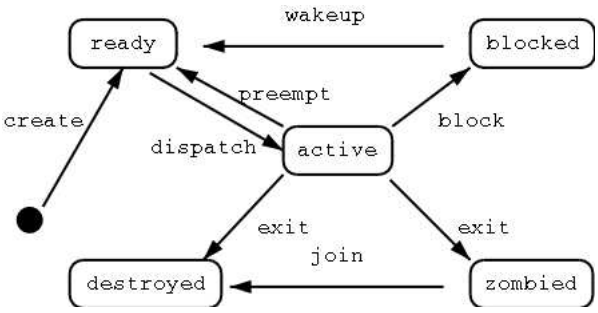
**blocked:** Esperando evento externo (entrada do usuário) (inativo).

**suspended-blocked:** Processo suspenso.

**zoombied:** O processo acabou mas não informou seu pai.

**done-terminated:** O processo foi encerrado e os recursos liberados.

Figura 2: Estados de um processo.




### 3.4 Processos sincronizados, recursos, dados

**Processos sincronizados e não sincronizados:** Quando o processo pai espera o encerramento do processo filho, ele tem uma execução sincronizada. Quando os processos rodam independentemente eles são não sincronizados.

**Recursos:** Recursos são dispositivos utilizados pelo processo, pode-se citar: HD, CD, impressora, monitor, arquivos de disco, programas, bibliotecas, placa de som, placa de vídeo, entre outros.

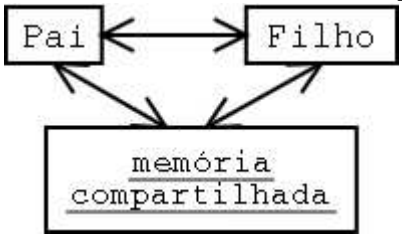
**Dados:** Arquivos, objetos, variáveis de ambiente, variáveis globais, memória compartilhada entre processos.

### 3.5 Comunicação entre processos

A comunicação entre processos pode ser realizada utilizando-se variáveis de ambiente, pipes, ou memória compartilhada (shared memory).

Quando um processo é clonado, o processo filho recebe cópias das variáveis do pai, podendo-se desta forma compartilhar as variáveis já criadas.

O processo pai e filho podem compartilham um bloco de memória adicional, chamada memória compartilhada.




**Comunicação entre processos usando pipes:** Um pipe é um canal de comunicação entre processos, em que estruturas de dados podem ser acessadas num sistema sequencial. Um pipe pode ser anônimo ou nomeado. Um pipe anônimo é utilizado para comunicação entre o processo pai e filho, e é destruído quando o processo é destruído. Um pipe nomeado permanece vivo mesmo após a finalização do processo, e é utilizado para conectar processos não relacionados. O exemplo 5 mostra o uso de processos e pipes.

## 4 Exemplo de código comum[1]

Apresenta-se a seguir um pequeno código em C, que determina o valor de pi e que será desenvolvido posteriormente utilizando processos e threads.

Listing 1: Determinação de pi.

```
//Inclue bibliotecas de C
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

//Função main
int main(int argc, char *argv[])
{
register double width, sum;
register int intervals, i;   //Número de intervalos
intervals = atoi(argv[1]);
width = 1.0 / intervals;     //largura
sum = 0;
for (i=0; i<intervals; ++i)
{
  register double x = (i + 0.5) * width;
  sum += 4.0 / (1.0 + x * x);
}
```

[1]Material extraído da referencia [C++ Programming - HOW-TO].

```
sum *= width;

//Mostra o resultado
printf ( "Estimation␣of␣pi␣is␣%f\n", sum);
return(0);
}
```

# 5 Exemplo de código usando múltiplos procesos

Apresenta-se a seguir um pequeno código que cria um processo filho usando a função fork. A seguir troca dados entre os dois processos usando streans e pipes[2].

Listing 2: Usando múltiplos processos com fork.

```
#include <unistd.h>
#include <cstdlib>
#include <cstdio>
#include <iostream>
#include <fstream>

using namespace std;

//Função main
int main (void)
{
  int Fd[2];     //identificador
  pipe (Fd);     //cria pipe
  cout << "Fd[0]=␣"<< Fd[0] << endl;
  cout << "Fd[1]=␣"<< Fd[1] << endl;

  ifstream In;   //Cria stream leitura
  ofstream Out;  //Cria stream escrita

  int Pid;       //id do processo
  Pid = fork (); //cria processo filho
  //------------------------------
  //se for o processo pai Pid == 0
  //------------------------------
  if (Pid == 0)
    {
      cout << "pid␣pai=␣" << Pid  << endl;
      double entrada_double = 1.2;
      int entrada_int = 1;
      cout << "------Valor␣inicial␣" << endl;
      cout << "entrada_double=␣" << entrada_double <<
          endl;
      cout << "entrada_int=␣" << entrada_int << endl;

      close (Fd[1]);     //fecha pipe
      In.attach (Fd[0]); //conecta para leitura
                         //lê valores
      In >> entrada_double >> entrada_int;
      cout << "------Valor␣final␣" << endl;
      cout << "entrada_double=␣" << entrada_double <<
          endl;
      cout << "entrada_int=␣" << entrada_int << endl;
      In.close ();       //fecha conexão
    }
  //-----------------------
  //se for o processo filho
  //-----------------------
  else
    {
    cout << "pid␣filho=␣" << Pid  << endl;
      double saida_double = 2.4;
      int saida_int = 11;
        close (Fd[0]);      //fecha o pipe
        Out.attach (Fd[1]); //conecta para escrita
        Out << saida_double << "␣" << saida_int  << endl
            ; //escreve
        Out.close ();       //fecha conexão
      }

  return 0;
}
/*
Para compilar:
==============
g++ processos2.cpp -o processos2
*/
```

[2]Testado no RedHat 7.3, gcc 2.96.

Apresenta-se a seguir um pequeno código em C++, que determina o valor de pi usando multi-processing.

Listing 3: Determinação de pi usando multi-processos.

```
#include <unistd.h>
#include <cstdlib>
#include <cstdio>
#include <iostream>
#include <fstream>

using namespace std;

double process(int iproc,double intervalos,int nproc);

//-----------------------Função main
int main (int argc, char* argv[])
{
  //Obtém o intervalo
  if( argc < 3 )
    {
      cout <<"Uso:␣"<< argv[0] << "␣
          numero_de_intervalos␣numero_de_processos"
           << endl ;
      cout <<"Exemplo:␣"<<argv[0] << "␣1000␣4␣" << endl
           ;
      return -1;
    }
  double intervalos = atof (argv[1]);
  int nproc = atoi (argv[2]);
  cout << argv[0]<< "␣intervalos␣="<< intervalos <<"␣"
      << "nproc=" << nproc << endl;

  //Criando o pipe e as streans
  int Fd[2];     //identificador
  pipe (Fd);     //cria pipe
  ifstream In;
  ofstream Out;

  //Criando processos
  //id do processo
  int iproc = 0 ;
  //O processo pai ( Pid = 0 ) vai criar (nproc-1)
      processos
  int Pid = 0;
  for (int n = 0; n < (nproc - 1); n++)
    {
      if( Pid == 0)     //se for o processo pai
        {
        iproc++;        //incrementa o iproc
        Pid = fork ();  //cria processo filho
        }
    }

  //------------------------------
  //se for o processo pai Pid == 0
```

```
  //------------------------------
   if (Pid == 0)
    {
      double pi = 0;
      double extern_pi = 0;
      iproc = 0;
      pi = process ( iproc, intervalos, nproc);
      cout << "Pid␣pai␣=␣" << Pid << "␣iproc␣=␣"<<
          iproc << endl;
      cout << "pi␣pai␣=␣" << pi << endl;

      close (Fd[1]);      //fecha pipe
      In.attach (Fd[0]);  //conecta para leitura
      for (int n = 0; n < (nproc - 1); n++)
        {
          In >> extern_pi;//lê valores
          pi += extern_pi;
        }
      In.close ();        //fecha conexão

      cout << "Valor␣estimado␣de␣pi␣=␣" << pi << endl;
    }
  //-----------------------
  //se for o processo filho
  //-----------------------
  else
    {
      double pi = 0;
      cout << "Pid␣filho␣=␣" << Pid  << "␣iproc␣=␣"<<
          iproc << endl;
      pi = process ( iproc, intervalos, nproc);
      cout << "pi␣filho␣=␣" << pi << endl;

      close (Fd[0]);      //fecha o pipe
      Out.attach (Fd[1]); //conecta para escrita
      Out << pi << endl;  //escreve
      Out.close ();       //fecha conexão
    }
  return 0;
  }

//-----------------------Função process
double process (int iproc, double intervalos, int nproc
    )
{
  register double width  , localsum;
  width = 1.0 / intervalos;
  localsum = 0;
  for ( int i = iproc; i < intervalos; i += nproc )
    {
      register double x = (i + 0.5) * width;
      localsum += 4.0 / (1.0 + x * x);
    }

  localsum *= width;
  return (*(new double(localsum)));
}

/*
Informações:
===========
O processo pai tem Pid=0, setado na saída da função
    fork.
Cada processo filho tem um Pid != 0.

Para identificar de forma mais clara os processos, foi
    criada
a variavel iproc, que assume o valor 0 para o processo
    pai
e 1,2,3... sucessivamente para os filhos.

Para compilar:
==============
g++ processos4.cpp -o processos4

Saída:
======
[andre@mercurio Processos]$ ./a.out 1000 4
./a.out intervalos =1000 nproc=4
Fd[0]= 3
Fd[1]= 4
Pid filho = 12545 iproc = 1
pi filho = 0.785648
Pid filho = 12546 iproc = 2
Pid filho = 12547 iproc = 3
pi filho = 0.784648
Pid pai = 0 iproc = 0
pi pai = 0.786148
pi filho = 0.785148
Valor estimado de pi = 3.1416
*/
```

# 6 Threads

## 6.1 Introdução as threads

**O que são threads ?** Threads são múltiplos caminhos de execução que rodam concorrentemente na memória compartilhada e que compartilham os mesmos recursos e sinais do processo pai. Uma thread é um processo simplificado, mais leve ou "light", custa pouco para o sistema operacional, sendo fácil de criar, manter e gerenciar.

**Porque usar threads ?** Em poucas palavras é o pacote definitivo para o desenvolvimento de programação em larga escala no Linux, [3]. O padrão é o POSIX 1003.1C, o mesmo é compatível com outros sistemas operacionais como o Windows.

**Casos em que o uso de threads é interessante :** Para salvar arquivos em disco. Quando a interface gráfica é pesada. Quando existem comunicações pela internet. Quando existem cálculos pesados.

**O que você precisa ?** De um sistema operacional que suporte *PThreads* e uma biblioteca de acesso as funções *PThreads*.

Veja uma introdução sobre threads em `http://centaurus.cs.umass.edu/~wagner/threads_html/tutorial.html`, e um conjunto de links em `http://pauillac.inria.fr/~xleroy/linuxthreads/`. Você encontra exemplos e descrições adicionais nas referências [2, 5, 6, 7, 8, 9, 4].

## 6.2 Estrutura e características de uma thread

A estrutura de uma thread é apresentada na Tabela 1. Veja que o número de ítens de uma thread é bem menor que o de um processo.

Dentre as características das threads cabe destacar:

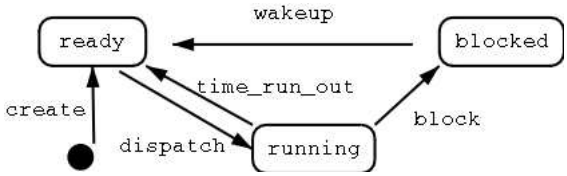
- Uma thread tem um contexto, um id, uma pilha, registradores e prioridades (veja Tabela 1).
- Todos os recursos são controlados pelo processo e compartilhados pelas diversas threads.

- A memória do processo é compartilhada pelas threads.
- Uma thread pode encerrar o processo matando a thread primária. A thread primária é na realidade o processo inicial, o processo que criou as threads, é criada automaticamente pelo sistema operacional. Isto significa que todo processo tem pelo menos uma thread
- Mudanças na thread primária afetam todas as threads.
- Ao mudar a prioridade de um processo, altera-se a prioridade de todas as threads.
- Uma thread destacada (detached) é semelhante a um processo destacado. Não precisa saber quem a criou e se torna independente.

### 6.3 Estados de uma thread

A Figura 3 mostra os possíveis estados de uma thread. Compare com a Figura 2 e veja que o número de estados é menor.

Figura 3: Estados de uma thread.




### 6.4 Tipos de threads

De uma maneira geral, existem diferentes tipos de threads, dentre as quais cabe destacar.

**Dormir e disparar:** Uma thread que fica dormindo, esperando o envio de uma mensagem. Quando recebe a mensagem dispara, isto é, executa determinada tarefa.

**Antecipação de trabalho:** Em alguns casos, o algoritmo deve optar entre duas opções e seguir o seu processamento. Algoritmos modernos tem utilizado threads para antecipar as execuções quando existe uma opção, assim, quando o programa chegar no ponto em que deve decidir qual caminho percorrer, o resultado já estará esperando.

### 6.5 Semelhanças e diferenças entre threads e processos

Como visto na Tabela 1, um processo contém um conjunto grande de dados, tendo um custo elevado para sua construção e destruição. Já uma thread é bem mais leve. Outra diferença importante é que um processo tem sua própria memória, já uma thread compartilha a memória com o processo que a criou e com as demais threads.

### 6.6 Estado de um processo com threads

Se o processo tem apenas a thread primária, o estado do processo é o estado da thread.

Se o processo tem mais de uma thread, então, se uma thread estiver ativa o processo esta ativo. Se todas as threads estiverem inativas o processo estará inativo.

### 6.7 Prioridades

A thread de mais alta prioridade é executada antes das demais. Se um conjunto de threads tem a mesma prioridade, o sistema operacional trata as mesmas utilizando um fila do tipo FIFO (firts in first off).

Alguns sistemas usam sistemas dinâmicos para realizar este controle de prioridade.

Uma prioridade é dividida em classe e valor. A classe pode ser *crítica, alta, regular* e *idle*. O valor é um número entre *0* e *31*.

Observe que se uma thread de prioridade alta, precisa de uma variável fornecida por uma thread de prioridade baixa, as prioridades podem ser invertidas.

## 7 Cooperação e sincronização

Em diversos momentos você vai ter de usar mecanismos de cooperação e de sincronização.

Um exemplo de cooperação ocorre quando duas ou mais threads tentam acessar um mesmo recurso, você vai precisar de um mecanismo de cooperação entre as duas threads.

A sincronização ocorre, por exemplo, quando duas threads precisam rodar simultaneamente para mostrar partes diferentes de uma imagem na tela.

### 7.1 Categorias de sincronização

Existem diferentes categorias de sincronização, dentre as quais pode-se destacar:

**Sincronização de dados:** Threads concorendo no acesso de uma variável compartilhada ou a arquivos compartilhados.

**Sincronização de hardware:** Acesso compartilhado a tela, impressora.

**Sincronização de tarefas:** Condições lógicas.

### 7.2 Sincronização com mutex

Para que você possa impedir o acesso a uma variável compartilhada por mais de uma thread, foi desenvolvido o conceito de mutexes ou mutex (mutual exclusion). Uma espécie de trava que é utilizada para impedir o acesso simultâneo a uma determinada porção do código. Ou seja, um mutex é um mecanismo simples de controle de recursos.

Uma variável mutex pode estar travada (lock) ou destravada (unlock). Pode ou não ter um dono (owned, unowned), pode ou não ter um nome (named, unnamed).

## 7.3 Sincronização com semáforos

Conjunto de variáveis introduzidas por E.W.Dijkstra. Um semáforo é um número inteiro positivo. É uma variável protegida.

Sobre o semáforo s, atuam duas funções. A função P(s) espera até que o valor de s seja maior que 0 e a seguir decrementa o valor de s. A função V(s) incrementa o valor de s.

Exemplo

cria o semáforo s //valor=1.

P(s) //como s > 0, decrementa s, s = 0 e continua.

...aqui s=0 e o bloco de código esta travado para acesso externo.

V(s) //incrementa s, liberando acesso externo ao bloco.

**Os semáforos podem ser:**

**mutex semaphore:** Mecanismo usado para implementar exclusão mútua.

**mutex event:** Usado para suportar mecanismo de broadcasting.

**esperar um pouco:** O mesmo que "mutex event", mas extendido para incluir múltiplas condições.

A *PThreads* oferece um conjunto de funções para uso de semáforos, são élas:

**Semaphore_init:** Inicializa o semáforo com valor 1.

**Semaphore_down:** Decrementa o valor do semáforo e bloqueia acesso ao recurso se a mesma for menor ou igual a 0.

**Semephore_up:** Incrementa o semáforo.

**Semaphore_decrement:** Decrementa o semáforo sem bloquear.

**Semaphore_destroy:** Destrõe o semáforo.

Dica: cuidado com deadlock, um deadlock ocorre quando o processo A espera o processo B e o processo B espera o processo A. Normalmente um deadlock ocorre quando a thread espera um recurso que não vai ser liberado, ou com o uso de wait circular. A dica é usar timec_wait no lugar de wait.

## 7.4 Sincronização com variáveis condicionais

Para gerenciamento das condições de processamento, as threads podem utilizar variáveis globais. Entretanto, uma das threads terá de ficar verificando continuamente o valor de determinada variável condicional, até sua liberação, ocupando tempo de processamento. Para um gerenciamento mais inteligente, a *PThreads*, fornece as variáveis condicionais.

Cria-se uma variável condicional que é manipulada pelas funções wait, signal e status, para sincronização das threads.

**wait(condição);** A thread corrente é suspensa, até que a condição ocorra. Observe que é criada uma lista com as threads que estão esperando esta condição.

**timed_wait();** A thread corrente é suspensa, até que a condição ocorra ou até que o intervalo de tempo especificado seja espirado.

**signal(condição);** informa que a condição ocorreu, liberando a execução da thread que esta esperando.

**status(condição);** retorna o número de processos esperando a condição ocorrer.

Apresenta-se, nas linhas a seguir, o uso das variáveis condicionais de *Pthreads*.

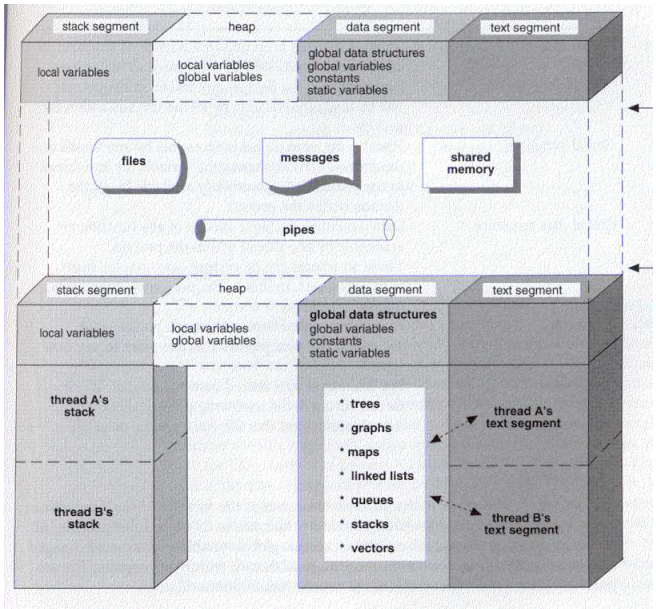
```
//cria variável condicional
pthread_cond_t cond1;
//inicia variável condicional
pthread_cond_init ( cond1 , NULL);
..
//espera que a condição ocorra e desbloqueia o mutex1
pthread_cond_wait ( cond1 , mutex1) ;
....
/*informa que a condição ocorreu, liberando a execução da thread que esperava a cond1. */
pthread_cond_signal ( cond1 ) ;
...
//destrõe a variável cond1.
pthread_cond_destroy ( cond1 ) ;
```

No lugar de wait, pode-se utilizar *pthread_cond_timed_wait ( ) ;* que espera um determinado intervalo de tempo para que a condição ocorra.

Também é possível enviar uma mensagem liberando a condição para todas as threads, *pthread_cond_broadcast().* Entretanto, somente uma das threads terá liberado o mutex.

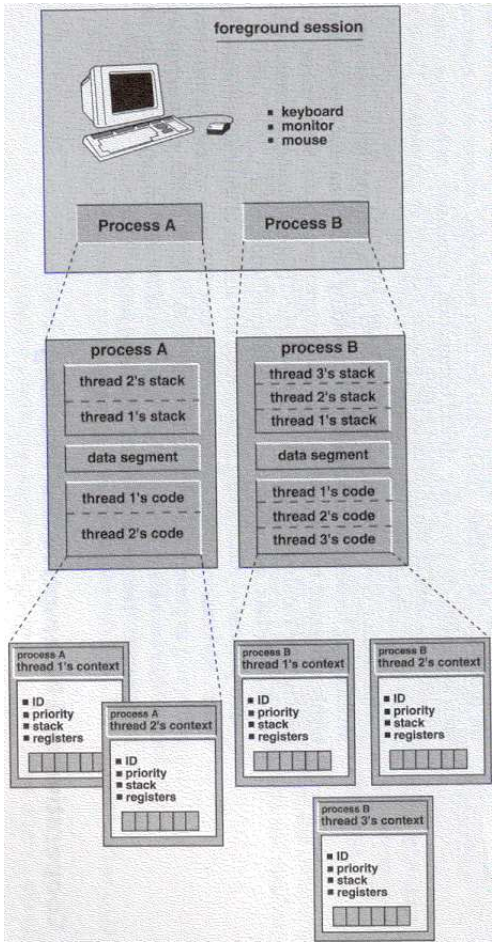
A Figura 4 ilustra os mecanismos de comunicação entre processos e threads.

Figura 4: Mecanismos de comunicação entre processos e threads,[5].




A Figura 5 ilustra múltiplos processos e threads rodando simultaneamente.

Figura 5: Múltiplos processos e threads rodando simultaneamente, [5].




# 8 Funções básicas para criar threads

Apresenta-se a seguir um conjunto de funções em C da biblioteca Posix Threads (*Pthreads*), e que são utilizadas para implementar threads.

## 8.1 Para criar uma thread

Primeiro você precisa criar um identificador para a thread

**pthread_t thread_id;**

Opcionalmente, pode criar uma estrutura de dados que serão passados para a thread.

**pthread_attr_t thread_id_attribute;**

A seguir, deve-se declarar e definir a função a ser executada pela thread. A função deve retornar void e ter como parâmetro um void*.

**void thread_function(void *arg);**

Finalmente, você pode executar a thread chamando a função thread_create. A thread que será criada levará em conta os atributos definidos em **thread_id_attribute**, retornará o id da thread no parâmetro **thread_id**, e executará a função **thread_function** usando o argumento **arg**. O retorno da função pthread_create pode ser 0 indicando sucesso, ou diferente de 0 indicando uma falha.

**pthread_create( &thread_id, thread_id_attribute, (void *)&thread_function, (void *) &arg);**

Observe que pthread_create lança a thread e continua na execução da função atual.

Quando você cria a thread pode setar o tamanho da pilha ou usar NULL, indicando o uso do tamanho default.

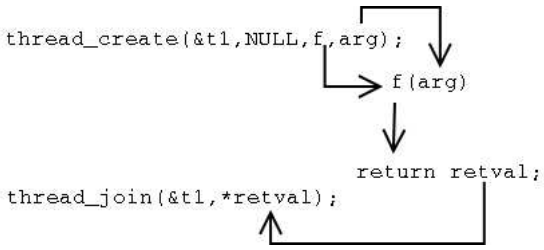
O retorno da função **thread_function** pode ser obtido com a função join.

## 8.2 Para recuperar o resultado de uma thread

Para evitar que o processo principal seja encerrado antes da conclusão da thread, você deve esperar a conclusão da thread usando a função join. Veja Figura 6.

**pthread_join(thread id,&retval);**

Figura 6: Funcionamento de join.




Observe que com join pode-se recuperar o valor de retorno da função executada pela thread.

## 8.3 Para encerrar uma thread

A thread é automaticamente encerrada quando a função **thread_function** é concluída. Entretanto, você pode solicitar explicitamente o encerramento da thread com pthread_exit.

**void pthread_exit(void* status);**

Quando uma thread é encerrada os recursos alocados pela thread são liberados.

## 8.4 Para deixar a thread destacada

Para deixar a thread independente do processo que a criou você deve usar a função detach, ou iniciar a thread com o atributo detach (de destacado).

**int pthread_detach(pthread_t thread_id);**

## 8.5 Para cancelar uma thread

Você pode cancelar a thread usando a função **pthread_cancel**. Ou seja, a thread corrente cancela a thread com o id passado como argumento.

**int pthread_cancel(pthread_id thread_id);**

A função pthread_set_cancel_state é usada para definir se a thread pode ou não ser cancelada. E a função pthread_cancel_state informa se a thread pode ser cancelada.

**pthread_set_cancel_state(PTHREAD_CANCEL_ENABLE,NULL);**
**pthread_set_cancel_state(PTHREAD_CANCEL_DISABLE,NULL);**

### 8.6 Para travar um bloco de código que acessa memória compartilhada (mutex)

O funcionamento de um mutex é simples, você cria uma variável do tipo mutex, e a seguir inicializa seu uso[3]. Agora, sempre que for usar a variável que é compartilhada, você trava o bloco de código usando **pthread_mutex_lock,** podendo usar a variável compartilhada. Quando você encerrou o uso da variável compartilhada, pode liberar o bloco de código para as demais threads, usando **pthread_mutex_unlock**.

Exemplo:
**pthread_mutex_t mutex;**
**pthread_mutex_init(&mutex, pthread_mutexattr_default);**
int volatile variável_compartilhada;
**pthread_mutex_lock( &mutex );**
variável_compartilhada = algo;
**pthread_mutex_unlock( &mutex );**

### 8.7 Para realizar um delay em uma única thread

A função sleep(tempo) é utilizada em um programa para executar uma pausa. Entretanto, em um programa com threads, todas as threads realizarão a pausa. Para que a pausa se aplique a uma única thread use a função **pthread_delay_np**.

**pthread_delay_np( &delay );**

## 9 Roteiro básico para desenvolvimento de um programa com threads

Agora que já descrevemos as principais funções utilizadas, podemos apresentar um pequeno roteiro para desenvolvimento de um programa com threads.

1. Cria o programa normalmente, roda o programa e testa seu funcionamento.
2. Identifica os pontos onde o programa apresenta processos concorrentes.
3. Inclue o header <threads.h> (ou <pthreads.h>).
4. Monta uma função separada para a seção que tem código concorrente (que pode ser paralelizado). Por padrão, a função deve retornar void* e receber void* (**void* FunçãoThread(void*)**). Observe que o argumento pode ser uma estrutura de dados.
5. Cria variáveis adicionais (intermediárias) e variáveis que devem ser compartilhadas. As variáveis que serão compartilhadas devem ser declaradas com volatile.
6. Cria uma variável mutex (**pthread_mutex trava;**), que será utilizada para bloquear a parte do código que não pode ser executada ao mesmo tempo pelas duas (ou mais) threads.
7. Inicializa a variável mutex (**pthread_mutex_init(&trava,val)**.
8. Cria as diferentes threads (**pthread_t t1,t2,...,tn;**).
9. Dispara a execução de cada thread usando chamadas a **pthread_create(&t1,NULL,FunçãoThread,&arg)**.
10. Observe que se as variáveis compartilhadas forem utilizadas, você deve incluir bloqueadores de acesso ao código usando **pthread_mutex_lock(&lock)** e **pthread_mutex_unlock(&lock).**
11. Use a função **pthread_join(thread,&retval)** para esperar o encerramento da thread e obter o valor de retorno da thread. Observe que você deve usar pthread_join para evitar que o programa principal encerre sua execução antes das threads terem sido concluídas.
12. Na hora de compilar use a opção **-D_REENTRANT**.

Dica: Observe que se uma das threads chamar a função exit(), a mesma encerra a execução do programa sem que as demais threads tenham sido encerradas.

## 10 Exemplo de código usando múltiplas threads

Para compilar este exemplo use
g++ -v exemplo-thread.cpp -lpthread -D_REENTRANT.

Listing 4: Determinação de pi usando thread.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "pthread.h"

volatile double pi = 0.0;
volatile double intervals;
pthread_mutex_t pi_lock;

//Função thread
void * process (void *arg)
{
  register double width, localsum;
  register int i;
  register int iproc = (*((char *) arg) - '0');

  width = 1.0 / intervals;
  localsum = 0;
  for (i = iproc; i < intervals; i += 2)
    {
      register double x = (i + 0.5) * width;
      localsum += 4.0 / (1.0 + x * x);
    }

  localsum *= width;

  /*trava acesso a esta parte do código, altera pi, e
      destrava*/
  pthread_mutex_lock (&pi_lock);
   pi += localsum;
  pthread_mutex_unlock (&pi_lock);
  return (NULL);
}

int main (int argc, char *argv[])
{
  pthread_t thread0, thread1;
  void *retval;
```

[3] Opcionalmente pode-se passar um conjunto de atributos para a variável mutex.

```
  intervals = atoi (argv[1]);

  /* Inicializa a variável mutex*/
  pthread_mutex_init (&pi_lock, NULL);

  /* Executa duas threads */
  if(pthread_create(&thread0,NULL,process,(void*)"0")
      ||
     pthread_create(&thread1,NULL,process,(void*)"1"))
    {
      fprintf (stderr, "%s: cannot make thread\n", argv
          [0]);
      exit (1);
    }


  /* Join espera as threads terminarem, o retorno é
      armazenado em retval */
  if (   pthread_join (thread0, &retval)
      || pthread_join (thread1, &retval))
    {
      fprintf (stderr, "%s: thread join failed\n", argv
          [0]);
      exit (1);
    }

  printf ("Estimation of pi is %f\n", pi);
  return 0;
}

//g++ -v exemplo-thread.cpp -lpthread -o exemplo-thread
```

# 11 Common C++

Apresenta-se nesta seção a biblioteca common C++, o que é, onde encontrar e um exemplo.

## 11.1 O que é e onde encontrar ?

Uma biblioteca de programação da gnu que fornece um conjunto de classes e objetos para desenvolvimento de programas usando threads, funciona em GNU/Linux, Windows e em outras plataformas.

Disponível no site (`http://www.gnu.org/directory/GNU/commoncpp.html`).

## 11.2 As classes Thread, Mutex e Conditional da biblioteca common C++

Apresenta-se na listagem a seguir, de forma resumida, as classes Thread, Mutex e Conditional da biblioteca common C++. Para maiores detalhes consulte a documentação distribuída junto com a biblioteca. Os exemplos apresentados na seção 11.3 esclarecem o uso destas classes.

Listing 5: As classes Thread, Mutex e Conditional da biblioteca common C++.

```
//Uma classe Thread
class CCXX_CLASS_EXPORT Thread
{
public:
        typedef enum Cancel
        {
                cancelInitial=0,
                cancelDeferred=1,
                cancelImmediate,
                cancelDisabled,
                cancelManual,
                cancelDefault=cancelDeferred
        } Cancel;

        typedef enum Suspend
        {
                suspendEnable,
                suspendDisable
        } Suspend;

private:
        static Thread* _main;
        Thread *_parent;
        enum Cancel _cancel;
        Semaphore *_start;
        friend class ThreadImpl;
        class ThreadImpl* priv;
        static unsigned __stdcall Execute(Thread *th);

        void close();
protected:
        virtual void run(void) = 0;
        virtual void final(void){return;};
        virtual void initial(void){return;};
        virtual void* getExtended(void) {return NULL;};
        virtual void notify(Thread*){return;};
        void exit(void);
        bool testCancel(void);
        void setCancel(Cancel mode);
        void setSuspend(Suspend mode);
        void terminate(void);
        inline void clrParent(void){_parent = NULL;};
public:
        Thread(bool isMain);
        Thread(int pri = 0, size_t stack = 0);
        Thread(const Thread &th);
        virtual ~Thread();
        static void sleep(timeout_t msec);
        static void yield(void);
        int start(Semaphore *start = 0);
        int detach(Semaphore *start = 0);
        inline Thread *getParent(void){return _parent
            ;};
        void suspend(void);
        void resume(void);
        inline Cancel getCancel(void){return _cancel;};
        bool isRunning(void);
        bool isThread(void);
        friend CCXX_EXPORT(Throw) getException(void);
        friend CCXX_EXPORT(void) setException(Throw
            mode);
        friend inline void operator++(Thread &th)
                {if (th._start) th._start->post();};
        friend inline void operator--(Thread &th)
                {if (th._start) th._start->wait();};
};

//Uma classe Mutex
class CCXX_CLASS_EXPORT Mutex
{
        friend class Conditional;
        friend class Event;
private:
        volatile int _level;
        volatile Thread *_tid;
        pthread_mutex_t _mutex;
public:
        Mutex();
```

```
        virtual ~Mutex();
        void enterMutex(void);
        bool tryEnterMutex(void);
        void leaveMutex(void);
};

//Uma classe Conditional
class Conditional : public Mutex
{
private:
        pthread_cond_t _cond;
public:
        Conditional();
        virtual ~Conditional();
        void signal(bool broadcast);
        void wait(timeout_t timer = 0);
};


class CCXX_CLASS_EXPORT Semaphore
{
private:
        int _semaphore;
public:
        Semaphore(size_t resource = 0);
        virtual ~Semaphore();
        void wait(void);
        bool tryWait(void);
        void post(void);
        int getValue(void);
};
```

## 11.3 Exemplos de código com threads usando a biblioteca de classes common C++

O exemplo a seguir é distribuído juntamente com a biblioteca common C++. Observe que a common C++ é instalada no diretório /usr/local/include/cc++2, e que a mesma usa os namespaces std e ost.

Listing 6: Usando a biblioteca de classes common c++.

```
#include <cc++/thread.h>
#include <cstdio>
#include <cstring>
#include <iostream>

#ifdef  CCXX_NAMESPACES
using namespace std;
using namespace ost;
#endif

//Classe thread filha
class Child:public Thread
{
public:
  Child ()  {  };

  void run ()
  { cout << "child start" << endl;
    Thread::sleep (3000);
    cout << "child end" << endl;
  }
  void final ()
  { delete this;
  }
};

//Classe thread pai
class Father:public Thread
{
public:
  Father () { };

  void run ()
  { cout << "starting child thread" << endl;
    Thread *th = new Child ();
    th->start ();
    Thread::sleep (1000);
    cout << "father end" << endl;
  }

  void final ()
  { delete this;
    //reset memory to test access violation
    memset (this, 0, sizeof (*this));
  }
};

int main (int argc, char *argv[])
{
  cout << "starting father thread" << endl;
  Father *th = new Father ();
  th->start ();
  Thread::sleep (10000);
  return 0;
}

/*
g++  thread2-adb.cpp -o thread2-adb -I/usr/local/
    include/cc++2 -D_GNU_SOURCE
-pthread   /usr/local/lib/libccgnu2.so -L/usr/local/lib
     -ldl -Wl,--rpath -Wl,/usr/local/lib
*/
```

O exemplo a seguir utiliza a biblioteca de threads common C++ para determinar o valor de pi.

Listing 7: Determinação do valor de pi usando a biblioteca common c++.

```
#include <iostream>
#include <vector>

//Inclue a biblioteca de threads do common c++
#include <cc++/thread.h>

//Define o uso dos namespaces std e ost
#ifdef  CCXX_NAMESPACES
using namespace std;
using namespace ost;
#endif

/*Cria classe thread com nome MinhaClasseThread.
Observe que os atributos comuns as threads são
    declarados como estáticos. Observe o uso do objeto
    Mutex*/
class MinhaClasseThread: public Thread
{
private:
  static Mutex pi_lock;
  int iproc;
public:
  static volatile double pi;
  static volatile int nproc;
  static volatile double intervals;
protected:
  virtual void run();
public:
  //Construtor
  MinhaClasseThread(int _iproc = 0):iproc(_iproc)
  {   cout << "Construtor iproc = " << iproc << endl;
       };
```

```
};
//Inicializa atributos estáticos da classe
Mutex MinhaClasseThread::pi_lock;
volatile double  MinhaClasseThread::pi = 0;
volatile double  MinhaClasseThread::intervals = 10;
volatile int MinhaClasseThread::nproc;

//Define a função run
void  MinhaClasseThread::run()
{
  cout << "iproc = " << iproc << endl;
  register double width;
  register double localsum;

  width = 1.0 / intervals; //define a largura
  localsum = 0;            //faz as contas locais
  for (register int i = iproc; i < intervals;
       i += nproc)
    {
      register double x = (i + 0.5) * width;
      localsum += 4.0 / (1.0 + x * x);
    }
  localsum *= width;

  //Trava o bloco de código com o mutex
  pi_lock.enterMutex();
   pi += localsum;
  pi_lock.leaveMutex();
};

//Função main
int main (int argc, char *argv[])
{
  //Obtem o intervalo
  if(argc <= 1)
    {
      cout <<"Usage: "<< argv[0] << "
          number_of_intervals number_of_processor " <<
          endl ;
      cout <<"Example: "<<argv[0] << " 10 2 " << endl ;
      return -1;
    }

  MinhaClasseThread::intervals  = atof (argv[1]);
  MinhaClasseThread::nproc =  atoi (argv[2]);
  cout << "Entrada: " << argv[0] << " " << argv[1] << "
      " " << argv[2] << endl;

  //Cria as threads
  vector< MinhaClasseThread*> vthread;
  for(int i = 0; i < MinhaClasseThread::nproc ; i++)
    {
     MinhaClasseThread* T=   new MinhaClasseThread( i )
         ;
     vthread.push_back( T );
    }

  //Executa as threads
  for(int i = 0; i < MinhaClasseThread::nproc ; i++)
      vthread[i]->start();

  //Enquanto as threads estiverem rodando,
  //realizando uma pausa na thread primária
  for(int i = 0; i < MinhaClasseThread::nproc ; i++)
    while (vthread[i]->isRunning())
       Thread::sleep(10);

  //Mostra resultado
  cout <<"Estimation of pi is "<< MinhaClasseThread::pi
       << endl;
  return 0;
}
```

```
/*
Para compilar:
g++  t6.cpp -o t6 -I/usr/local/include/cc++2 -
    D_GNU_SOURCE -pthread   /usr/local/lib/libccgnu2.so
     -L/usr/local/lib -ldl -Wl,--rpath -Wl,/usr/local/
     lib

Saída:
======
[andre@mercurio threads]$ ./t6 10 2
Entrada: ./t6 10 2
Construtor iproc = 0
Construtor iproc = 1
iproc = 0
iproc = 1
Estimation of pi is 3.14243
*/
```

# 12 Comparação dos tempos de processamento

A Tabela 2 apresenta uma comparação do tempo de processamento utilizando multi-threadings e multi-processing.

Os computadores utilizados para os testes tem placa mãe ASUS-CUV4X-DLS com 2 processadores PIII de 1000MHz, 2GB de memória ram, placa de rede Intel EtherExpress Pro 100b de 100Mbs. E estão conectados a um switch 3com SuperStack III de 100Mbs usando cabos de par trançado. O sistema operacional utilizado é GNU/Linux com Mosix, kernel 2.4.19. O compilador é o gcc 2.96.

O cluster foi montado com 3 computadores (6 processadores).

Com 1 thread o tempo de processamento ficou em 1m4.850s, o uso de 2 threads é vantajoso (0m32.443s), e, como esperado, o uso de 4 threads implica em um tempo de processamento maior (0m32.602s). Todas as threads são executadas no mesmo computador, o mosix não distribuição processos que executem threads.

O uso de processos com mosix tem o comportamento esperado, o que pode ser visualizado através do programa de monitoramento (mon). A simulação com 2 processos, foi toda executada no mesmo computador, não houve redistribuição dos processos, e o tempo de processamento ficou em 0m22.963s. Quando se usa 4 processos, o mosix distribui os processos pelas máquinas do cluster, e o tempo de processamento ficou em 0m12.592s. Com seis processos o tempo de processamento ficou em 0m10.090s. De um modo geral, o tempo de processamento pode ser estimado pela relação tempoNormal/numeroProcessos com perdas pequenas em função da redistribuição dos processos.

# 13 Conclusões

Apresentou-se as diferenças e semelhanças entre threads e processos, a estrutura de cada um, suas característica e seus estados. As funções básicas para utilização de processos e threads são descritas de forma simples e com exemplos práticos. A seguir, apresentou-se a biblioteca common C++ que apresenta classes para manipulação de threads e mutexes, e alguns exemplos.

Verificou-se que a grande vantagem do uso de threads é o compartilhamento da memória pelas threads. Sendo a memória compartilhada a implementação de códigos paralelos é extremamente simplificada.

Tabela 2: Comparação tempos processamento.

| Comando | intervalos | número threads | tempo | |
|---|---|---|---|---|
| ./threads | 1000000000 | 1 | 1m4.850s | |
| ./threads | 1000000000 | 2 | 0m32.443s | |
| ./threads | 1000000000 | 4 | 0m32.602s | |
| Comando | intervalos | número processos | tempo | |
| ./processos | 1000000000 | 2 | 0m22.963s | |
| ./processos | 1000000000 | 4 | 0m12.592s | |
| ./processos | 1000000000 | 6 | 0m10.090s | |

O uso de múltiplos processos, que são automaticamente distribuídos para as diferentes máquinas do cluster se mostrou eficiente e torna o uso de múltiplos processos com uso do Mosix uma opção de fácil implementação. Pois o uso das instruções fork e pipe é rapidamente compreendido pelos programadores de C/C++.

O uso de threads é relativamente simples, principalmente quando se utiliza uma biblioteca como a *common C++*.

# Referências

[1] André Duarte Bueno. *Introdução ao Processamento Paralelo e ao Uso de Clusters, Parte I: Filosofia*, 11 2002.

[2] David R. Butenhof. *Programming with POSIX(R) Threads*. Addison-Wesley, 1987.

[3] Hank Dietz. *Linux Parallel Processing HOWTO*. LDP, http://yara.ecn.purdue.edu/ pplinux/PPHOWTO/pphowto.html, 1998.

[4] GNU. *GNU CommonC++ Reference Manual*. GNU, http://www.gnu.org/directory/GNU/commoncpp.html, 2002.

[5] Cameron Hughs and Tracey Hughes. *Object Oriented Multithreading using C++: architectures and components*, volume 1. John Wiley Sons, 2 edition, 1997.

[6] Brian Masney. Introdutcion to multi-thread programming. Linux Journal, april 1999.

[7] LinuxThreads Programming. Matteo dell omodarme.

[8] Bryan Sullivan. Faq - threads - http://www.serpentine.com/ bos/threads-faq/, 1996.

[9] Tom Wagner and Don Towsley. Getting started with posix threads. University of Massachusetts at Amherst, july 1995.

[10] Barry Wilkinson and C. Michael Allen. *Parallel Programming: Techniques and Applications Using Workstation and Parallel Computers*. Prentice Hall, 1999.

Segundo [10], o processamento paralelo com uso de threads é de mais alto nível que os mecanismos de troca de mensagens. Também tem um tempo de latência menor.