Programação com MPI

Ementa

- Exemplo de um programa MPI
- Rotinas básicas de gerenciamento.
- Rotinas básicas de comunicação ponto a ponto
- Correspondência entre os tipos MPI e C
- Identificando o tamanho e as informações da mensagem recebida

Bibliografia

https://www.casadocodigo.com.br/products/livro-programacao-paralela

MPI - Introdução

Pré-requisitos

- Para os exemplos apresentados neste curso, será necessário um sistema operacional do tipo Linux.
- Preferencialmente, você pode utilizar as distribuições Fedora, Ubuntu ou WSL (no Windows).
- Mas os exemplos e comandos podem ser utilizados em outras distribuições desde que os pacotes necessários estejam corretamente instalados.
- Certifique-se de ter um compilador instalado. O MPI geralmente funciona com compiladores como gcc, g++, ou gfortran.

Pré-requisitos

- Instale uma implementação do MPI, as mais comuns são:
  - MPICH: Uma implementação amplamente usada.
  - OpenMPI: Populares em sistemas de alto desempenho.
- Em distribuições Linux do tipo Debian, você pode instalar usando:

```
$ sudo apt install mpich   # MPICH
$ sudo apt install openmpi-bin openmpi-common  # OpenMPI
```

- Os exemplos apresentados neste curso estão disponíveis no repositório https://github.com/Programacao-Paralela-e-Distribuida/MPI

Compilando MPI

- De uma maneira simplificada, um programa em MPI pode ser compilado e executado com os seguintes comandos em um terminal de um sistema operacional do tipo Linux utilizando-se o compilador gcc:

```
$ mpicc -o teste mpi_simples.c
$ mpirun -np 4 ./teste
```

- Onde np indica o número de processos com que o programa deve ser executado.
- A opção -hostfile define quais máquinas utilizar em um cluster.

Google Colab

- Os exemplos, notebooks e slides do minicurso estão disponíveis no seguinte endereço:
- https://github.com/Programacao-Paralela-e-Distribuida/MPI/

Programando com MPI

- Todo programa em MPI deve conter a seguinte diretiva para o pré-processador:

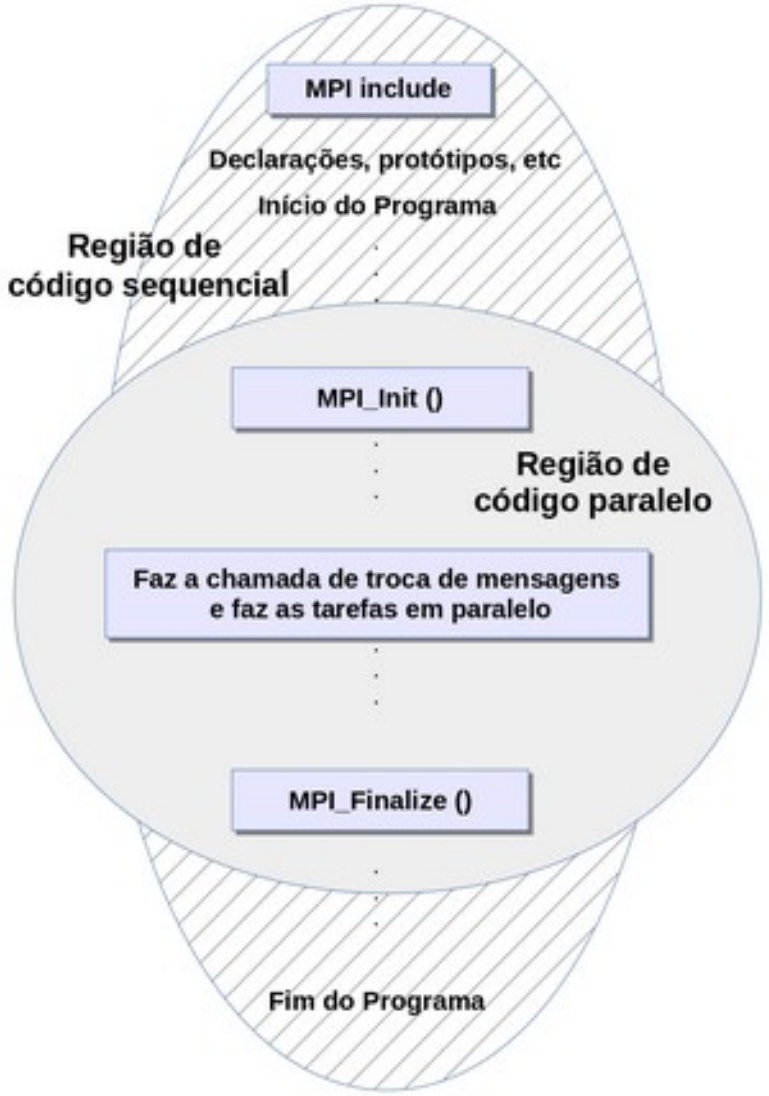
  #include “mpi.h”

- Este arquivo, mpi.h, contém as definições, macros e funções de protótipos de funções necessários para a compilação de um programa MPI.
- Antes de qualquer outra função MPI ser chamada, a função MPI_Init() deve ser chamada pelo menos uma vez.
- Seus argumentos são os ponteiros para os parâmetros do programa principal, argc e argv.

Programando com MPI

- A função MPI_Init() permite que o sistema realize as operações de preparação necessárias para que a biblioteca MPI seja utilizada.
- Ao término do programa a função MPI_Finalize() deve ser chamada.
- Esta função limpa qualquer pendência deixada pelo MPI, p. ex, recepções pendentes que nunca foram completadas.
- Tipicamente, um programa em MPI deve ter o seguinte leiaute:

Programa MPI



Programa MPI

```
. . .
#include "mpi.h"
. . .
main(int argc, char** argv) {
. . .
/* Nenhuma função MPI pode ser chamada antes deste ponto  */
MPI_Init(&argc, &argv);
. . .
MPI_Finalize();
/* Nenhuma função MPI pode ser chamada depois deste ponto*/
. . .
}
```

Quem sou eu?

- O MPI tem a função MPI_Comm_Rank() que retorna o ranque (rank) de um processo no seu segundo argumento.
- Sua sintaxe é:

```
int MPI_Comm_rank(MPI_Comm com, int *ranque)
```

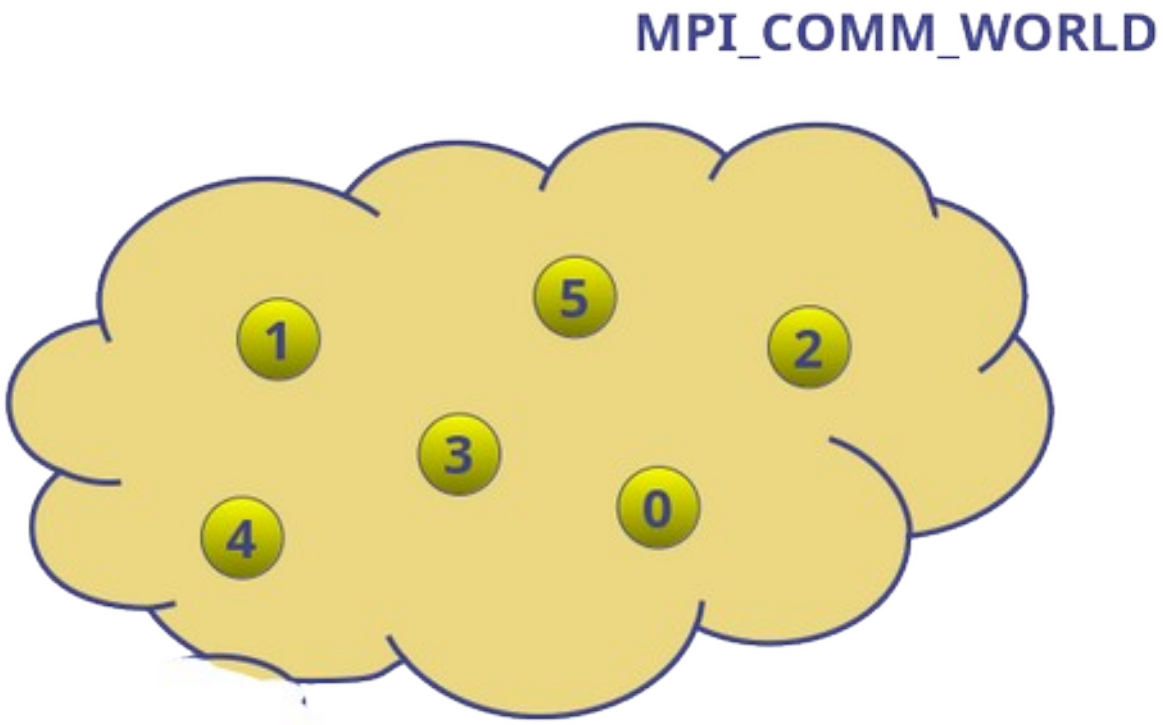
- O primeiro argumento é um comunicador. Essencialmente um comunicador é uma coleção de processos que podem enviar mensagens entre si.
- Para os programas básicos, o único comunicador necessário é MPI_COMM_WORLD, que é pré-definido no MPI e consiste de todos os processos executando quando a execução do programa começa.

Quantos processos somos?

- Muitas construções em nossos programas também dependem do número de processos executando o programa.
- O MPI oferece a função MPI_Comm_size() para determinar este valor.
- Essa função retorna o número de processos em um comunicador no seu segundo argumento.
- Sua sintaxe é:

```
int MPI_Comm_size(MPI_Comm com, int *num_procs)
```

Ranque



Funções Básicas

- Abortando um programa:

  int MPI_Abort(MPI_Comm com, int erro)

- Identificando a versão do MPI:

  int MPI_Get_version(int *versao, int *subversao)

- Recuperando o nome do computador:

  int MPI_Get_processor_name (char *nome, int *comprimento)

Funções Básicas

```c
#include <stdio.h>
#include "mpi.h"
int main(int argc, char *argv[]) {    /* mpi_funcoes.c */
int meu_ranque, num_procs;
int versao, subversao,  aux, ret;
char maquina[MPI_MAX_PROCESSOR_NAME];
  /* Inicia o MPI. Em caso de erro aborta o programa */
  ret = MPI_Init(&argc, &argv);
  if (ret != MPI_SUCCESS) {
      printf("Erro ao iniciar o programa MPI. Abortando.\n");
      MPI_Abort(MPI_COMM_WORLD, ret);
  }
 /* Imprime a versão e subversão da biblioteca MPI */
  MPI_Get_version(&versao,&subversao);
  printf("Versão do MPI  = %d Subversão = %d \n", versao, subversao);
  /* Obtém o ranque e número de processos em execução */
  MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD, &num_procs);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &meu_ranque);
  /* Define o nome do computador onde o processo está executando */
  MPI_Get_processor_name(maquina, &aux);
  printf("Número de tarefas = %d Meu ranque = %d Executando em  %s\n"
  /* Finaliza o MPI */
  MPI_Finalize();
  return(0);
}
```

Funções Básicas

```
$ mpicc -o teste mpi_funcoes.c
$ mpirun -n 2 ./teste
Versão do MPI  = 3 Subversão = 1
Versão do MPI  = 3 Subversão = 1
Número de tarefas = 2 Meu ranque = 1 Executando em  lncc-2025
Foram gastos 0.000100 segundos com precisão de 1.000e-09 segundos
Número de tarefas = 2 Meu ranque = 0 Executando em  lncc-2025
Foram gastos 0.000135 segundos com precisão de 1.000e-09 segundos
```

Medindo o tempo de execução

- A função MPI_Wtime() retorna (em precisão dupla) o tempo total em segundos decorrido desde um instante determinado no passado.
- Esse instante é dependente de implementação, mas deve sempre o mesmo para uma dada implementação.
- A função MPI_Wtick() retorna (em precisão dupla) a resolução em segundos da função MPI_Wtime().
- Um exemplo de uso dessas funções pode ser visto a seguir.

```c
#include "mpi.h"
#include <stdio.h>
int main(int argc, char *argv[ ]) {     /* mpi_wtime.c */
double tempo_inicial, tempo_final, a;
  tempo_inicial = MPI_Wtime();
  for(long int i = 0; i < 100000000000; i++) {
      a = (double) i;       /* Realiza o trabalho em paralelo */
  }
  tempo_final = MPI_Wtime();
  printf("Foram gastos %3.6f segundos para calcular a = %3.0f com \
  precisão de  %3.3e segundos\n",tempo_final-tempo_inicial, a, MPI_Wtick ());
  return(0);
}
```

Medindo o tempo de execução

```
$ mpicc -o teste mpi_wtime.c
$ mpirun -n 2 ./teste
Foram gastos 19.818745 segundos para calcular a = 9999999999 com precisão de
1.000e-09 segundos
Foram gastos 19.900254 segundos para calcular a = 9999999999 com precisão de
1.000e-09 segundos
```

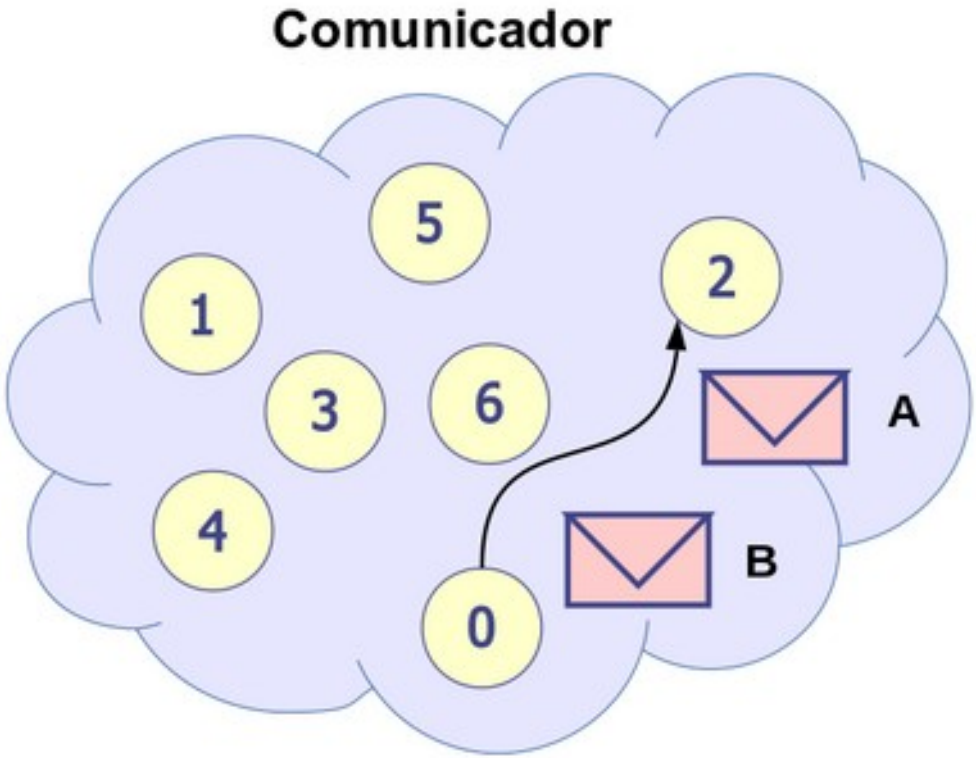
Comunicação Ponto a Ponto

Mensagem MPI

- Mensagem = Dados + Envelope
- Para que a mensagem seja comunicada com sucesso, o sistema deve anexar alguma informação aos dados que o programa de aplicação deseja transmitir.
- Essa informação adicional forma o envelope da mensagem, que no MPI contém a seguinte informação:
  - O ranque do processo origem.
  - O ranque do processo destino.
  - Uma etiqueta especificando o tipo da mensagem.
  - Um comunicador definindo o domínio de comunicação.

Ordem das Mensagens

- As mensagens não ultrapassam umas às outras.
- Por exemplo, se o processo com ranque 0 enviar duas mensagens sucessivas A e B, e o processo com ranque 2 chamar duas rotinas de recepção que combinam com qualquer uma das mensagens, a ordem das mensagens é preservada, sendo que A será sempre recebida antes de B.



Comunicação Ponto-a-Ponto

- O mecanismo de troca de mensagens ponto-a-ponto no MPI é realizado pelas funções MPI_Send() e MPI_Recv().
- Quando dois processos estão se comunicando utilizando MPI_Send() e MPI_Recv(), a importância do uso do comunicador aumenta quando módulos de um programa são desenvolvidos de forma independente.
- Por exemplo, ao desenvolver uma biblioteca para resolver um sistema de equações lineares, você pode criar um comunicador exclusivo para o solucionador linear.
- Isso evita conflitos entre as mensagens, mesmo que etiquetas idênticas sejam utilizadas em outros módulos.

Comunicação Ponto-a-Ponto

- Vamos utilizar por enquanto o comunicador pré-definido MPI_COMM_WORLD, que inclui todos os processos ativos desde o início da execução do programa.
- A rotina MPI_Send() envia a mensagem para um determinado processo e a rotina MPI_Recv() recebe a mensagem de um processo.
- Ambas são operações bloqueantes:
  - Envio bloqueante: aguarda até que a mensagem seja completamente copiada das variáveis do programa do usuário para os buffers de envio, seja do sistema operacional ou da biblioteca MPI.
  - Recepção bloqueante: aguarda até que a mensagem recebida esteja totalmente armazenada nas variáveis do programa do usuário e pronta para uso.

Comunicação Ponto-a-Ponto

- A maioria das funções MPI é do tipo inteiro e retorna um código de erro ao final da chamada.
- Contudo, como a maioria dos programadores em ‘C’, ao longo deste curso, nós vamos ignorar este código em quase todos exemplos apresentados.
- Apesar disso, em aplicações profissionais, é recomendável implementar o tratamento de erro das funções para identificar problemas durante a execução dos programas.

MPI_Send()

int MPI_Send(void* mensagem, int cont, MPI_Datatype tipo_mpi, int destino, int etiq, MPI_Comm com)

- mensagem: endereço inicial da mensagem a ser enviada.
- cont: número de elementos da mensagem.
- tipo_mpi: tipo de dados da mensagem.
- destino: ranque do processo destino da mensagem.
- etiq: etiqueta da mensagem.
- com: comunicador do contexto da mensagem.

MPI_Send()

- A mensagem a ser enviada está armazenada em uma posição de memória definida pelo ponteiro *mensagem.
- A mensagem é um vetor com cont elementos do mesmo tipo, especificado pelo argumento tipo_mpi.
- Esses dois parâmetros, combinados, permitem que o sistema determine corretamente o tamanho da mensagem a ser enviada.
- Para evitar ambiguidades entre arquiteturas diferentes, o MPI define uma lista de tipos pré-definidos, tais como MPI_CHAR, MPI_INT, MPI_FLOAT, MPI_BYTE, MPI_LONG, MPI_UNSIGNED_CHAR, etc.

MPI_Send()

- O argumento destino é o ranque do processo para o qual a mensagem será enviada. Não há um “coringa” para o destino; ele deve sempre ser definido de forma única e explícita.
- O etiq é um inteiro usado pelo processo de destino para diferenciar mensagens distintas enviadas pelo mesmo processo de origem.
- O parâmetro com define, por meio do comunicador, o contexto da comunicação e os processos participantes do grupo. O comunicador padrão é MPI_COMM_WORLD e, por enquanto, será o único comunicador que utilizaremos.

MPI_Recv()

int MPI_Recv(void* mensagem, int cont, MPI_Datatype tipo_mpi, int origem, int etiq, MPI_Comm com, MPI_Status* estado)

- mensagem: endereço inicial onde a mensagem vai ser armazenada.
- cont: número máximo de elementos a serem recebidos.
- tipo_mpi: tipo de dados esperado na mensagem.
- origem: ranque do processo origem.
- etiq: etiqueta esperada da mensagem.
- com: comunicador do contexto da mensagem.
- estado: estrutura auxiliar com informações como o remetente e a etiqueta da mensagem.

MPI_Recv()

- A mensagem recebida vai ser armazenada em uma posição de memória definida pelo ponteiro *mensagem.
- A mensagem recebida poderá ter, no máximo, cont elementos do do tipo tipo_mpi.
- O argumento origem é o ranque do processo do qual estamos esperando a mensagem.
- O MPI permite que origem seja um coringa (*), neste caso usamos MPI_ANY_SOURCE neste parâmetro.
- Reforçamos que não há um “coringa” para o destino da mensagem.

MPI_Recv()

- etiq é especificado pelo usuário para distinguir as mensagens de um único processo.
- O MPI garante que inteiros entre 0 e 32767 possam ser usados como etiquetas, mas o valor máximo é dependente de implementação.
- Existe um coringa, MPI_ANY_TAG, que a função MPI_Recv pode usar como etiqueta.
- O último argumento de MPI_Recv(), chamado de estado, fornece informações detalhadas sobre os dados efetivamente recebidos.

Comunicação ponto-a-ponto

- Esse argumento corresponde a uma estrutura que inclui os seguintes campos principais:
  - MPI_SOURCE: indica o ranque do processo remetente.
  - MPI_TAG: identifica a etiqueta da mensagem recebida.
  - MPI_ERROR: Informa se a mensagem foi recebida corretamente ou não.
- Por exemplo, se a origem da recepção foi especificada como MPI_ANY_SOURCE, o campo MPI_SOURCE conterá o ranque do processo que enviou a mensagem.
- Se a etiqueta de recepção foi especificada como MPI_ANY_TAG, o campo MPI_TAG contém a etiqueta da mensagem recebida.

Comunicação ponto-a-ponto

- Para que a comunicação entre dois processos **A** e **B** no MPI ocorra corretamente, os argumentos usados por MPI_Send() no processo **A** devem ser rigorosamente compatíveis com os usados por MPI_Recv() no processo **B**.
- Isso ocorre porque o MPI utiliza esses argumentos para estabelecer uma correspondência entre o envio e o recebimento das mensagens.
- Qualquer incompatibilidade pode resultar em erros, mensagens perdidas ou comportamentos inesperados.
- Em primeiro lugar, o mesmo comunicador deve ser usado em ambos processos para que a mensagem seja transferida corretamente.

Comunicação ponto-a-ponto

- No processo **A**, o argumento destino em MPI_Send() deve corresponder ao ranque do processo **B** (identificador único no comunicador).
- No processo **B**, o argumento origem em MPI_Recv() deve ser o ranque do processo **A** ou um coringa, como MPI_ANY_SOURCE.
- Ambos os processos devem usar a mesma etiqueta para identificar a mensagem.
- A etiqueta permite que um processo receba mensagens específicas, mesmo quando há múltiplas mensagens em trânsito.
- Se o coringa MPI_ANY_TAG for usado no processo **B**, qualquer etiqueta será aceita.

Exemplo

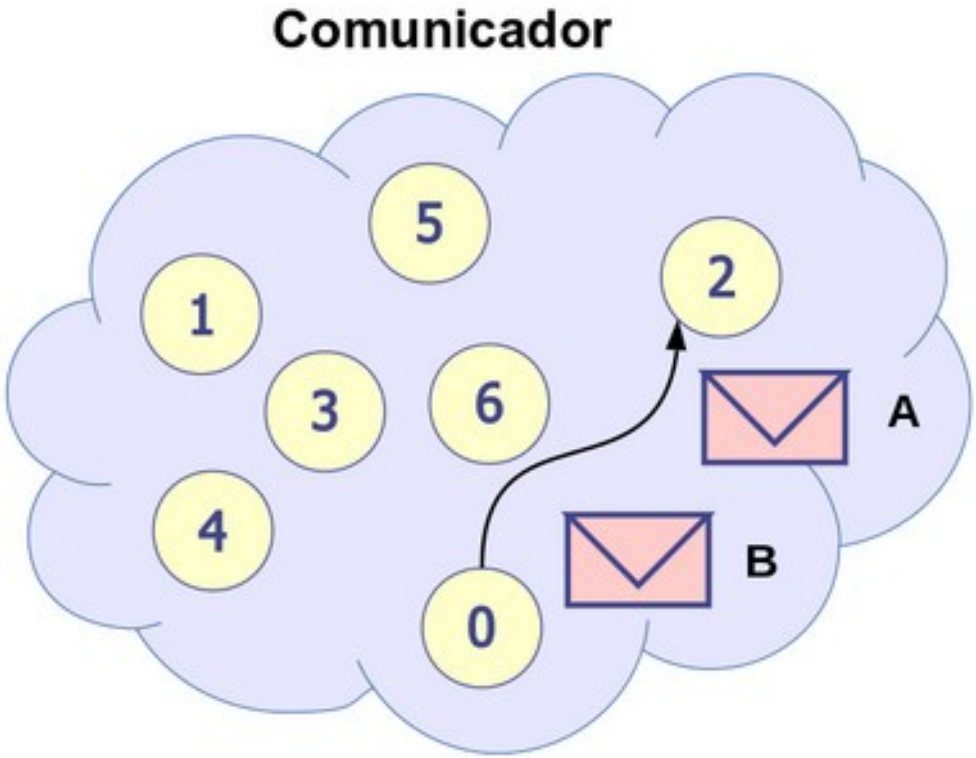
```c
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "mpi.h'"
main(int argc, char** argv) {
  int meu_ranque, num_procs, origem, destino, etiq=0;
  char mensagem[100];
  MPI_Status estado;
  MPI_Init(&argc, &argv);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD,&meu_ranque);
  MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD,&num_procs);
  if (meu_ranque != 0){
    sprintf(msg, "Processo %d está vivo!", meu_ranque);
    destino = 0;
    MPI_Send(mensagem, strlen(mensagem)+1, MPI_CHAR, destino, etiq, MPI_COMM_WORLD);
  }
  else{
    for (origem=1; origem < num_procs; origem++) {
        MPI_Recv(mensagem, 100, MPI_CHAR, origem, etiq,   MPI_COMM_WORLD, &estado);
        printf("%s\n", mensagem);
    }
  }
  MPI_Finalize( );
}
```

Mensagem MPI

- Mensagem = Dados + Envelope
- Para que a mensagem seja comunicada com sucesso, o sistema deve anexar alguma informação aos dados que o programa de aplicação deseja transmitir.
- Essa informação adicional forma o envelope da mensagem, que no MPI contém a seguinte informação:
  - O ranque do processo origem.
  - O ranque do processo destino.
  - Uma etiqueta especificando o tipo da mensagem.
  - Um comunicador definindo o domínio de comunicação.

Ordem das Mensagens

- As mensagens não ultrapassam umas às outras.
- Por exemplo, se o processo com ranque 0 enviar duas mensagens sucessivas A e B, e o processo com ranque 2 chamar duas rotinas de recepção que combinam com qualquer uma das mensagens, a ordem das mensagens é preservada, sendo que A será sempre recebida antes de B.



Comunicação Ponto-a-Ponto

- O mecanismo de troca de mensagens ponto-a-ponto no MPI é realizado pelas funções MPI_Send() e MPI_Recv().
- Quando dois processos estão se comunicando utilizando MPI_Send() e MPI_Recv(), a importância do uso do comunicador aumenta quando módulos de um programa são desenvolvidos de forma independente.
- Por exemplo, ao desenvolver uma biblioteca para resolver um sistema de equações lineares, você pode criar um comunicador exclusivo para o solucionador linear.
- Isso evita conflitos entre as mensagens, mesmo que etiquetas idênticas sejam utilizadas em outros módulos.

Comunicação Ponto-a-Ponto

- Vamos utilizar por enquanto o comunicador pré-definido MPI_COMM_WORLD, que inclui todos os processos ativos desde o início da execução do programa.
- A rotina MPI_Send() envia a mensagem para um determinado processo e a rotina MPI_Recv() recebe a mensagem de um processo.
- Ambas são operações bloqueantes:
  - Envio bloqueante: aguarda até que a mensagem seja completamente copiada das variáveis do programa do usuário para os buffers de envio, seja do sistema operacional ou da biblioteca MPI.
  - Recepção bloqueante: aguarda até que a mensagem recebida esteja totalmente armazenada nas variáveis do programa do usuário e pronta para uso.

Comunicação Ponto-a-Ponto

- A maioria das funções MPI é do tipo inteiro e retorna um código de erro ao final da chamada.
- Contudo, como a maioria dos programadores em ‘C’, ao longo deste curso, nós vamos ignorar este código em quase todos exemplos apresentados.
- Apesar disso, em aplicações profissionais, é recomendável implementar o tratamento de erro das funções para identificar problemas durante a execução dos programas.

MPI_Send()

int MPI_Send(void* mensagem, int cont, MPI_Datatype tipo_mpi, int destino, int etiq, MPI_Comm com)

- mensagem: endereço inicial da mensagem a ser enviada.
- cont: número de elementos da mensagem.
- tipo_mpi: tipo de dados da mensagem.
- destino: ranque do processo destino da mensagem.
- etiq: etiqueta da mensagem.
- com: comunicador do contexto da mensagem.

MPI_Send()

- A mensagem a ser enviada está armazenada em uma posição de memória definida pelo ponteiro *mensagem.
- A mensagem é um vetor com cont elementos do mesmo tipo, especificado pelo argumento tipo_mpi.
- Esses dois parâmetros, combinados, permitem que o sistema determine corretamente o tamanho da mensagem a ser enviada.
- Para evitar ambiguidades entre arquiteturas diferentes, o MPI define uma lista de tipos pré-definidos, tais como MPI_CHAR, MPI_INT, MPI_FLOAT, MPI_BYTE, MPI_LONG, MPI_UNSIGNED_CHAR, etc.

MPI_Send()

- O argumento destino é o ranque do processo para o qual a mensagem será enviada. Não há um “coringa” para o destino; ele deve sempre ser definido de forma única e explícita.
- O etiq é um inteiro usado pelo processo de destino para diferenciar mensagens distintas enviadas pelo mesmo processo de origem.
- O parâmetro com define, por meio do comunicador, o contexto da comunicação e os processos participantes do grupo. O comunicador padrão é MPI_COMM_WORLD e, por enquanto, será o único comunicador que utilizaremos.

MPI_Recv()

int MPI_Recv(void* mensagem, int cont, MPI_Datatype tipo_mpi, int origem, int etiq, MPI_Comm com, MPI_Status* estado)

- mensagem: endereço inicial onde a mensagem vai ser armazenada.
- cont: número máximo de elementos a serem recebidos.
- tipo_mpi: tipo de dados esperado na mensagem.
- origem: ranque do processo origem.
- etiq: etiqueta esperada da mensagem.
- com: comunicador do contexto da mensagem.
- estado: estrutura auxiliar com informações como o remetente e a etiqueta da mensagem.

MPI_Recv()

- A mensagem recebida vai ser armazenada em uma posição de memória definida pelo ponteiro *mensagem.
- A mensagem recebida poderá ter, no máximo, cont elementos do do tipo tipo_mpi.
- O argumento origem é o ranque do processo do qual estamos esperando a mensagem.
- O MPI permite que origem seja um coringa (*), neste caso usamos MPI_ANY_SOURCE neste parâmetro.
- Reforçamos que não há um “coringa” para o destino da mensagem.

MPI_Recv()

- etiq é especificado pelo usuário para distinguir as mensagens de um único processo.
- O MPI garante que inteiros entre 0 e 32767 possam ser usados como etiquetas, mas o valor máximo é dependente de implementação.
- Existe um coringa, MPI_ANY_TAG, que a função MPI_Recv pode usar como etiqueta.
- O último argumento de MPI_Recv(), chamado de estado, fornece informações detalhadas sobre os dados efetivamente recebidos.

Comunicação ponto-a-ponto

- Esse argumento corresponde a uma estrutura que inclui os seguintes campos principais:
  - MPI_SOURCE: indica o ranque do processo remetente.
  - MPI_TAG: identifica a etiqueta da mensagem recebida.
  - MPI_ERROR: Informa se a mensagem foi recebida corretamente ou não.
- Por exemplo, se a origem da recepção foi especificada como MPI_ANY_SOURCE, o campo MPI_SOURCE conterá o ranque do processo que enviou a mensagem.
- Se a etiqueta de recepção foi especificada como MPI_ANY_TAG, o campo MPI_TAG contém a etiqueta da mensagem recebida.

Comunicação ponto-a-ponto

- Para que a comunicação entre dois processos **A** e **B** no MPI ocorra corretamente, os argumentos usados por MPI_Send() no processo **A** devem ser rigorosamente compatíveis com os usados por MPI_Recv() no processo **B**.
- Isso ocorre porque o MPI utiliza esses argumentos para estabelecer uma correspondência entre o envio e o recebimento das mensagens.
- Qualquer incompatibilidade pode resultar em erros, mensagens perdidas ou comportamentos inesperados.
- Em primeiro lugar, o mesmo comunicador deve ser usado em ambos processos para que a mensagem seja transferida corretamente.

Comunicação ponto-a-ponto

- No processo **A**, o argumento destino em MPI_Send() deve corresponder ao ranque do processo **B** (identificador único no comunicador).
- No processo **B**, o argumento origem em MPI_Recv() deve ser o ranque do processo **A** ou um coringa, como MPI_ANY_SOURCE.
- Ambos os processos devem usar a mesma etiqueta para identificar a mensagem.
- A etiqueta permite que um processo receba mensagens específicas, mesmo quando há múltiplas mensagens em trânsito.
- Se o coringa MPI_ANY_TAG for usado no processo **B**, qualquer etiqueta será aceita.

Exemplo

```
#include <stdio.h>
#include <string.h>
#include "mpi.h'"
main(int argc, char** argv) {
  int meu_ranque, num_procs, origem, destino, etiq=0;
  char mensagem[100];
  MPI_Status estado;
  MPI_Init(&argc, &argv);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD,&meu_ranque);
  MPI_Comm_size(MPI_COMM_WORLD,&num_procs);
  if (meu_ranque != 0){
    sprintf(msg, "Processo %d está vivo!", meu_ranque);
    destino = 0;
    MPI_Send(mensagem, strlen(mensagem)+1, MPI_CHAR, destino, etiq, MPI_COMM_WORLD);
  }
  else{
    for (origem=1; origem < num_procs; origem++) {
        MPI_Recv(mensagem, 100, MPI_CHAR, origem, etiq,   MPI_COMM_WORLD, &estado);
        printf("%s\n", mensagem);
    }
  }
  MPI_Finalize( );
}
```

Correspondência tipos MPI e C

Correspondência entre tipos MPI e C

Tipo de dado MPI	Tipo de dados C
MPI_CHAR	signed char
MPI_SHORT	signed short int
MPI_INT	signed int
MPI_LONG	signed long int
MPI_UNSIGNED CHAR	unsigned char
MPI_UNSIGNED SHORT	unsigned short int
MPI_UNSIGNED	unsigned int
MPI_UNSIGNED LONG	unsigned long int
MPI_FLOAT	float
MPI_DOUBLE	double
MPI_LONG DOUBLE	long double
MPI_BYTE, MPI_PACKED	

Correspondência entre tipos MPI e C

- Os dois últimos tipos, MPI_BYTE e MPI_PACKED, não possuem correspondência direta com os tipos padronizados em C.
- O tipo MPI_BYTE é útil quando não se deseja realizar conversões entre tipos de dados diferentes.
- Já o tipo MPI_PACKED é empregado no envio de mensagens empacotadas.
- É importante observar que a quantidade de espaço alocado no *buffer* de recepção não precisa ser idêntica ao tamanho da mensagem recebida.
- O MPI permite que uma mensagem seja recebida enquanto houver espaço suficiente disponível no *buffer*.

Comunicação ponto-a-ponto

- A informação sobre a recepção de mensagem com o uso de um coringa é retornada pela função MPI_Recv em uma estrutura do tipo “MPI_Status”.
- Essa estrutura tem diversos usos, por exemplo, para saber o total de elementos recebidos utilize a rotina:

  int MPI_Get_count(MPI_Status *status, MPI_Datatype datatype, int *count)

Informação	C
remetente	status.MPI_SOURCE
etiqueta	status.MPI_TAG
erro	status.MPI_ERROR

Exemplo

```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include "mpi.h"
#define MAX 100
int main(int argc, char *argv[]) { /* mpi_status.c  */
int meu_ranque, total_num, etiq = 0;
int origem = 0, destino = 1, numeros[MAX];
MPI_Status estado;
  MPI_Init(&argc, &argv);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &meu_ranque);
  MPI_Comm_rank(MPI_COMM_WORLD, &meu_ranque);
  if (meu_ranque == origem) {
      /* Escolhe uma quantidade aleatória de inteiros para enviar para o processo 1 */
      srand(MPI_Wtime());
      total_num = (rand() / (float)RAND_MAX) * MAX;
      /* Envia a quantidade de inteiros para o processo 1 */
      MPI_Send(numeros, total_num, MPI_INT, destino, etiq, MPI_COMM_WORLD);
      printf("Processo %d enviou %d números para 1\n", origem, total_num);
    }
```

Exemplo

```
  else {
        /* Recebe no máximo MAX números do processo 0 */
        MPI_Recv(numeros, MAX, MPI_INT, origem, etiq, MPI_COMM_WORLD, &estado);
        /* Quando chega a mensagem, verifica o status para saber quantos números foram recebidos */
        MPI_Get_count(&estado, MPI_INT, &total_num);
        /* Imprime a quantidade de números e a informação adicional que está no manipulador "estado" */
        printf("Processo %d recebeu %d números. Origem da mensagem = %d, etiqueta = %d\n", destino, \
        total_num, estado.MPI_SOURCE, estado.MPI_TAG);
    }
  MPI_Finalize();
  return(0);
}
```

Exemplo

```
$ mpirun -np 2 ./teste
Processo 0 enviou 93 números para 1
Processo 1 recebeu 93 números. Origem da mensagem = 0, etiqueta = 0
```