Sistemas Operacionais

Mensagens e Outros Processos de Comunicação

Jó Ueyama

Apostila baseada nos trabalhos de Jó Ueyama, Kalinka Castelo Branco, Antônio Carlos Sementille, Paula Prata e nas transparências fornecidas no site de compra do livro "Sistemas Operacionais Modernos"

Semáforos e Monitores

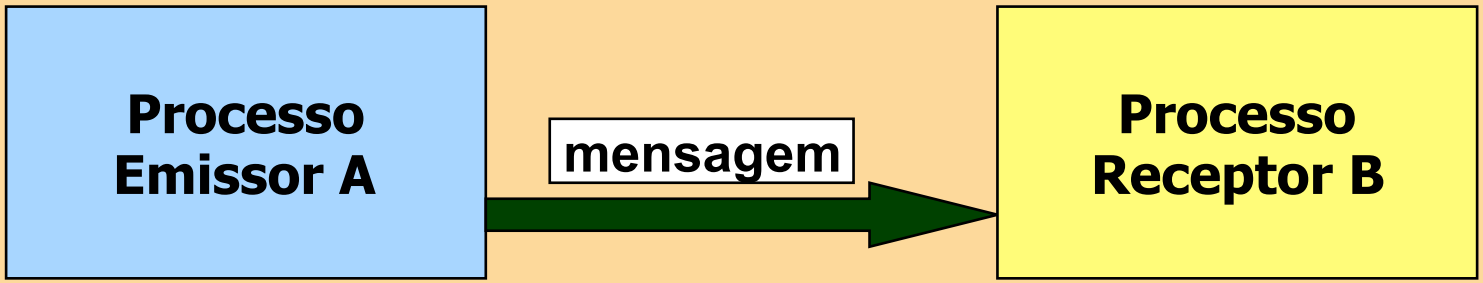
- Projetados para exclusão mútua em processadores que compartilham algum espaço de memória
  - Não funcionam com sistemas distribuídos, em que cada processador (ou grupo de processadores) possui sua própria memória, se comunicando via rede.
  - Como passar informação entre diferentes máquinas?

Mensagens

- Os mecanismos já considerados exigem do S.O. somente a sincronização
  - Asseguram a exclusão mútua, mas não garantem um controle sobre as operações desempenhadas sobre o recurso.
  - Deixam para o programador a comunicação de mensagens através da memória compartilhada
- A troca de mensagens é um mecanismo de comunicação e sincronização
  - Exige do S.O., tanto a sincronização quanto a comunicação entre os processos.
  - É um mecanismo mais elaborado de comunicação e sincronização entre processos

Mensagens

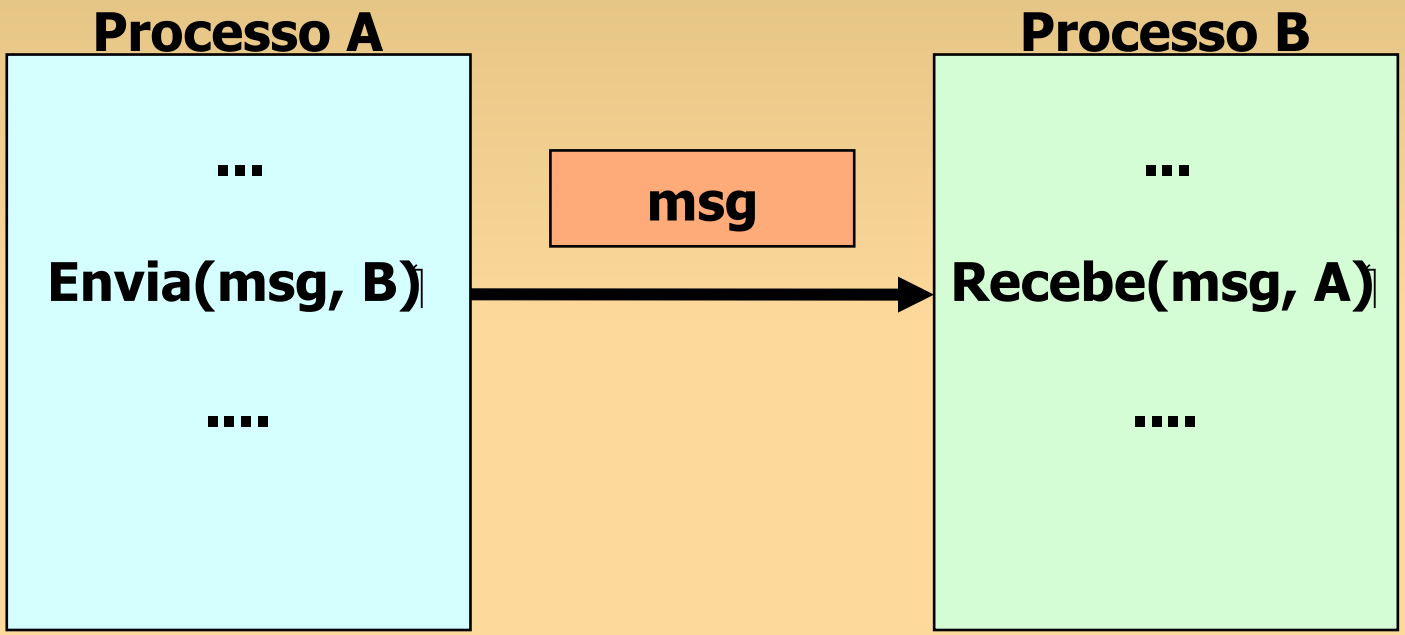
- Esquema de troca de mensagens:
  - Os processos enviam e recebem mensagens, em vez de ler e escrever em variáveis compartilhadas.
  - Sincronização entre processos:
    - Garantida pela restrição de que uma mensagem só poderá ser recebida depois de ter sido enviada.
    - A transferência de dados de um processo para outro, após ter sido realizada a sincronização, estabelece a comunicação.



Mensagens

- Possui duas primitivas:
  - Send
    - send(destino, &mensagem);
  - Receive
    - receive(fonte, &mensagem);
    - Se não houver mensagem disponível, o receptor pode:
      - Bloquear, até que haja alguma mensagem (Blocked)
      - Retornar com mensagem de erro (Unblocked)
  - Implementadas como chamadas ao sistema

Mensagens – Primitivas



O fato de um somente poder receber a mensagem após o outro enviar garante a sincronia entre os processos

Mensagens – Primitivas

- As primitivas podem ser de dois tipos:
  - Bloqueantes: quando o processo que a executar fica bloqueado até que a operação seja bem sucedida
    - Quando ocorrer a entrega efetiva da mensagem ao processo destino, no caso da emissão
    - Quando ocorrer o recebimento da mensagem pelo processo destino, no caso de recepção).
  - Não bloqueantes: quando o processo que executar a primitiva, continuar sua execução normal, independentemente da entrega ou do recebimento efetivo da mensagem pelo processo destino.

Mensagens – Primitivas

- Combinação de Primitivas
  - Existem quatro maneiras de se combinar as primitivas de troca de mensagens:

Envia Bloqueante – Recebe Bloqueante → **síncrono**

Envia Bloqueante – Recebe Não Bloqueante

Envia Não Bloqueante – Recebe Bloqueante

} **Semi síncrono**

Envia Não Bloqueante – Recebe Não Bloqueante → **Assíncrono**

Mensagens – Primitivas

- Exemplo de Comunicação usando Troca de Mensagens

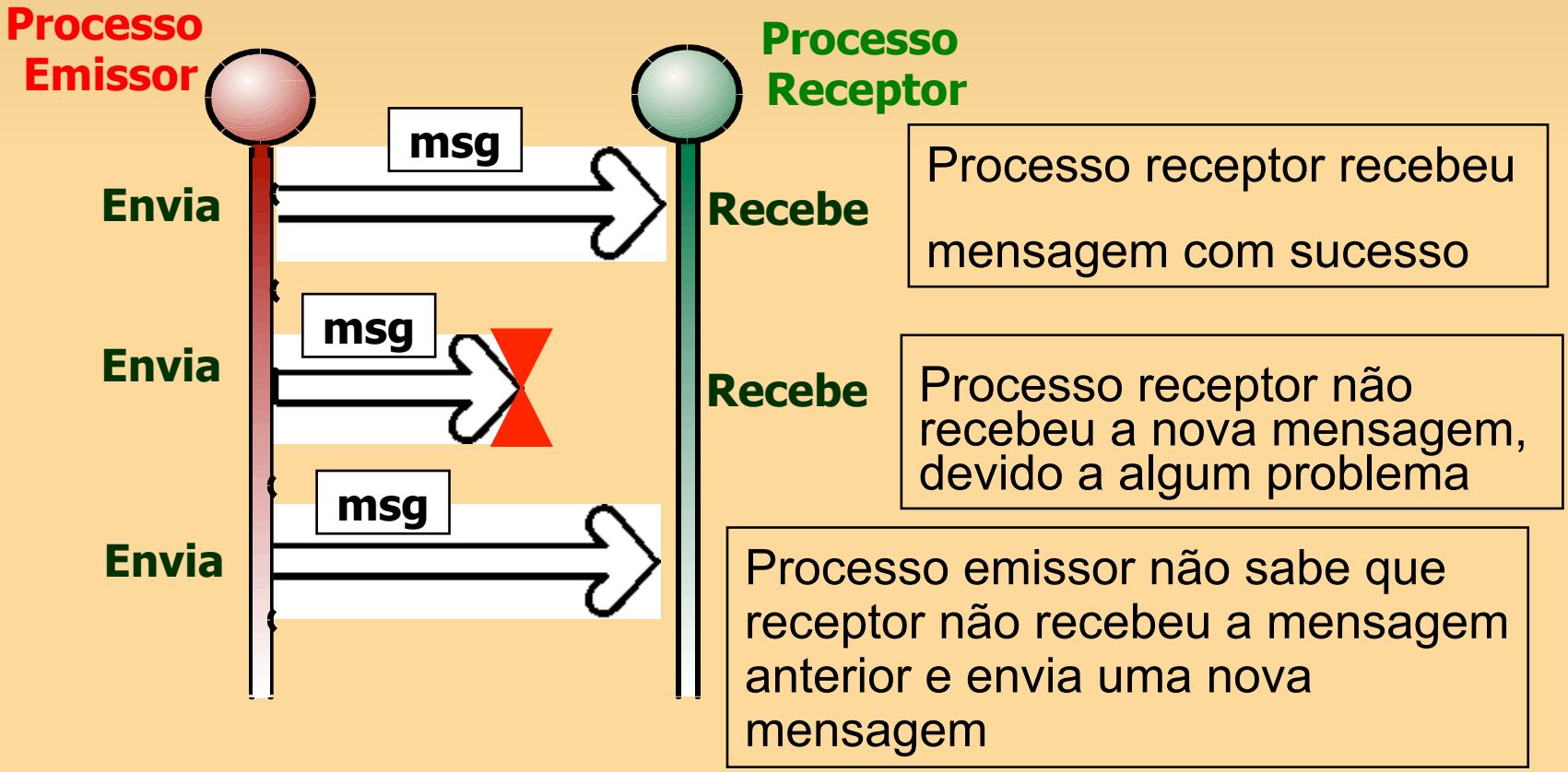
```
Program emissor_receptor;
Type msg=...;
Var mensagem : msg;
Begin  /* inicio do programa principal */
  Cobegin /* inicio dos processos concorrentes */
    Begin /* processo emissor – E */
     repeat
       ...;
       produz uma mensagem;
       Send(mensagem, R);
     until  false
    End;

    Begin /* processo receptor – R */
     repeat
       Receive(mensagem, E);
       Consome a  mensagem;
        ...;
       until  false
    End
  Coend
End.
```

Mensagens

- Os sistemas de troca de mensagens possuem alguns problemas e estudos de projetos interessantes
  - Principalmente quando os processos comunicantes estão em máquinas diferentes, conectadas por uma rede de comunicação.
  - Os principais são:
    - Perda de mensagens
    - Perda de reconhecimento
    - Nomeação de Processos
    - Autenticação
    - Estudos de Projeto para quando emissor e receptor estiverem na mesma máquina

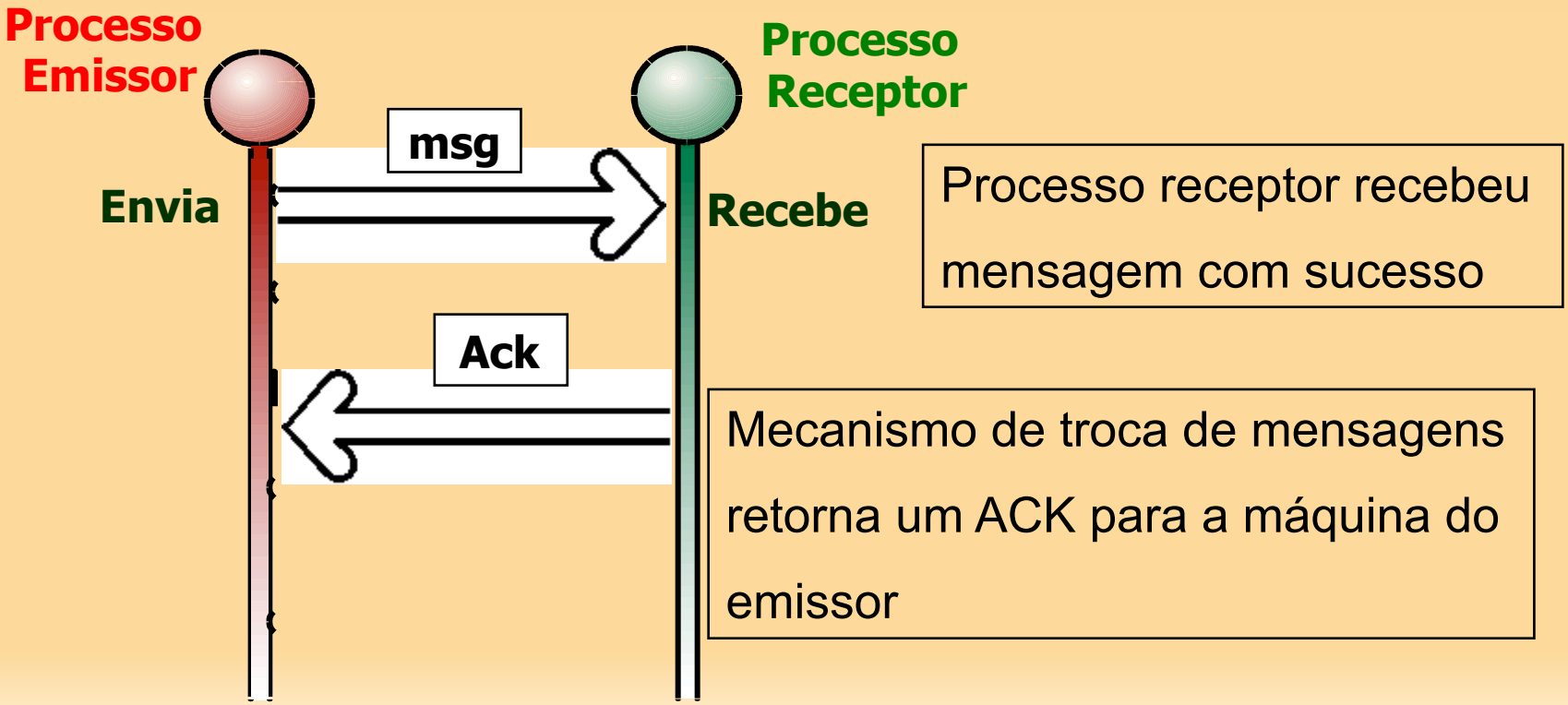
Mensagens – Problemas

- Perda de Mensagens
  - Podem ocorrer por falhas na rede, por exemplo



Perda de Mensagens

- Possível solução:
  - O receptor, ao receber uma nova mensagem, envia uma mensagem especial de reconhecimento (ACK).
  - Se o emissor não receber um ACK dentro de um determinado intervalo de tempo, deve retransmitir a mensagem.



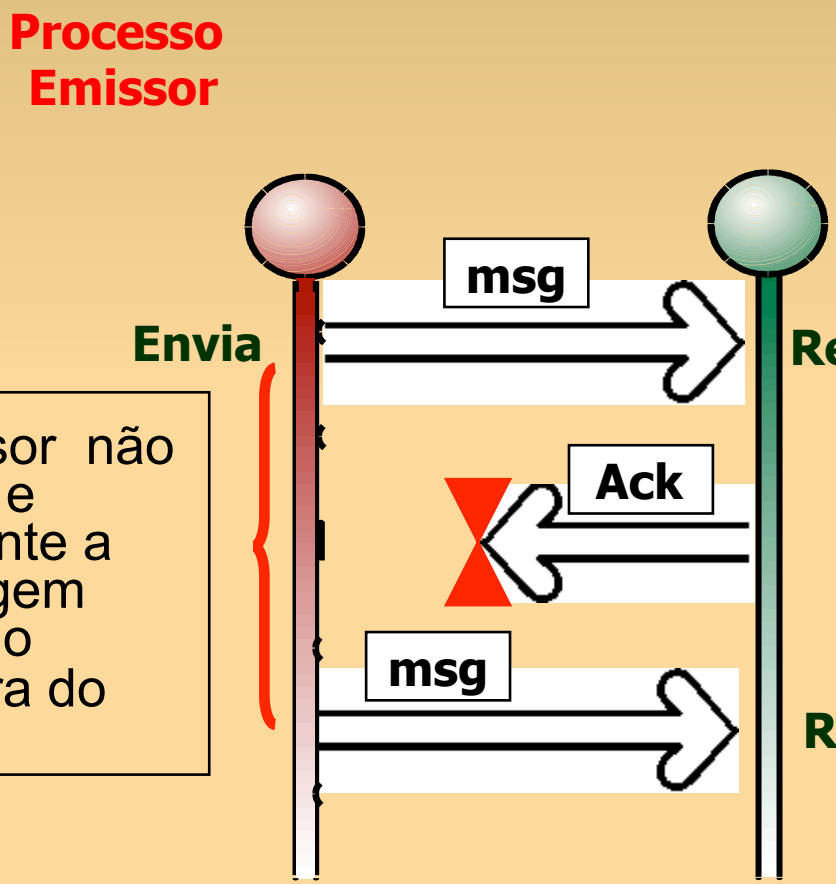
Perda de Mensagens

- Possível solução:
  - O que acontece se a mensagem é recebida corretamente, mas o ACK é perdido?

Perda de Reconhecimento

- Possível solução:
  - O que acontece se a mensagem é recebida corretamente, mas o reconhecimento (ACK) é perdido?
    - O emissor retransmitirá a mensagem
    - O receptor irá recebê-la duas vezes

Perda de Reconhecimento



Processo emissor não recebeu o ACK e enviou novamente a mesma mensagem (esgotamento do tempo de espera do ACK)

Processo receptor recebeu mensagem com sucesso, e enviou um ACK

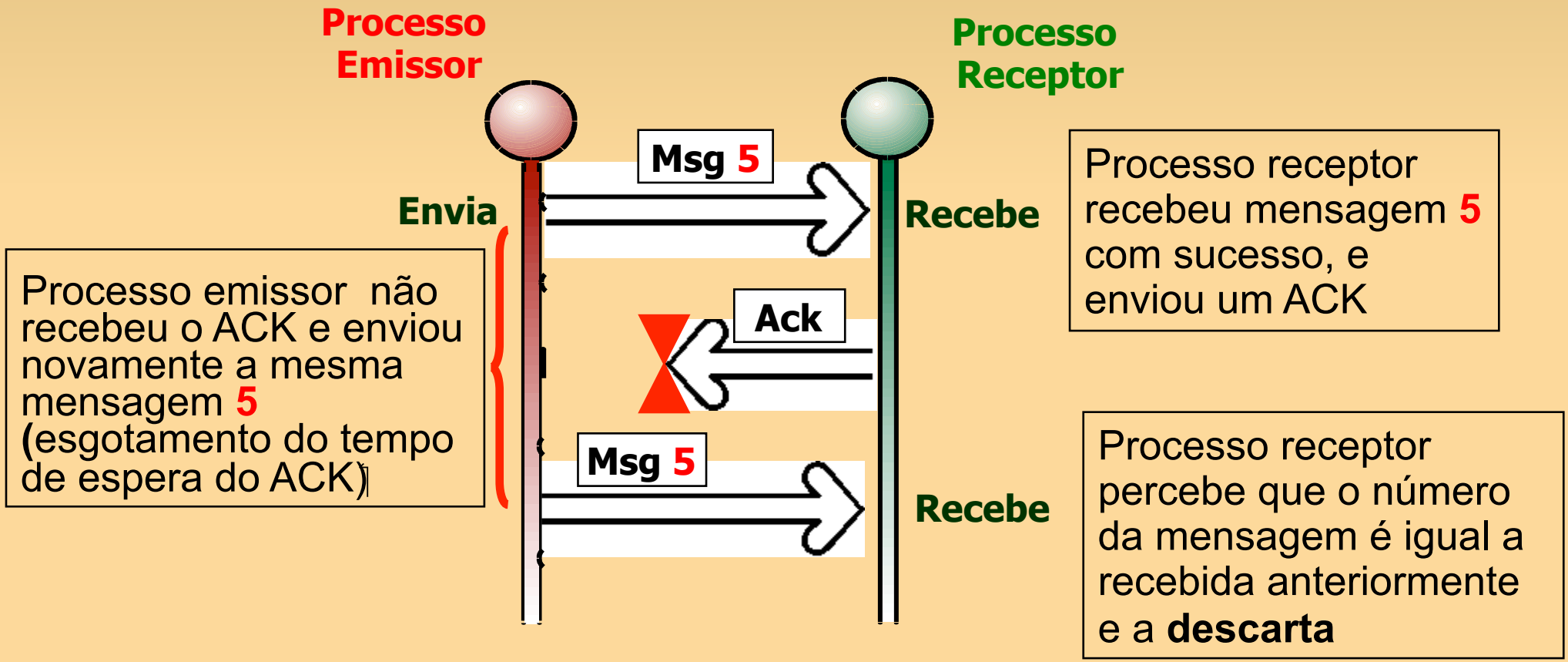
Processo receptor não sabe que o emissor não recebeu o ACK e considera a mensagem recebida como nova (duplicação)

Perda de Reconhecimento

- Possível solução:
  - É essencial que o receptor seja capaz de distinguir uma nova mensagem de uma retransmissão
  - Numerar as mensagens:
    - Se o receptor receber mensagem com o mesmo número que alguma anterior, sabe que é duplicata, ignorando-a.

Perda de Reconhecimento

- Solução:



Mensagens – Nomeação de Processos

- Os processos devem ser nomeados de maneira única, para que o nome do processo especificado no Send ou Receive não seja ambíguo.
  - Ex: processo@máquina (normalmente existe uma autoridade central que nomeia as máquinas).
- Quando o número de máquinas é muito grande:
  - processo@máquina.domínio.

Mensagens – Autenticação

- Como o cliente pode dizer que está se comunicando com o servidor real, e não um impostor?
  - Devemos permitir a comunicação e acessos apenas dos usuários autorizados.
  - Uma solução é criptografar as mensagens com uma chave conhecida apenas por usuários autorizados.
  - Garantir confidencialidade, integridade, autenticação e segurança operacional

Mensagens - Overhead

- Questões de estudo de projeto para quando emissor e receptor estão na mesma máquina
  - Desempenho:
    - Copiar mensagens de um processo para o outro é mais lento do que operações com semáforos e monitores;
  - Sugestão:
    - Limitar o tamanho das mensagens ao dos registradores.
    - Por que?
    - Passar as mensagens usando os registradores

Mensagens Produtor/Consumidor

Assumimos que mensagens enviadas e não lidas são guardadas pelo S.O.

Usamos um número de mensagens igual ao do buffer

```
#define N 100                                   /* number of slots in the buffer */

void producer(void)
{
     int item;
     message m;                                 /* message buffer */

     while (TRUE) {
          item = produce_item( );               /* generate something to put in buffer */
          receive(consumer, &m);                /* wait for an empty to arrive */
          build_message(&m, item);              /* construct a message to send */
          send(consumer, &m);                   /* send item to consumer */
     }
}

void consumer(void)
{
     int item, i;
     message m;

     for (i = 0; i < N; i++) send(producer, &m);  /* send N empties */
     while (TRUE) {
          receive(producer, &m);                /* get message containing item */
          item = extract_item(&m);              /* extract item from message */
          send(producer, &m);                   /* send back empty reply */
          consume_item(item);                   /* do something with the item */
     }
}
```

Mensagens – Mecanismos de Comunicação Síncronos

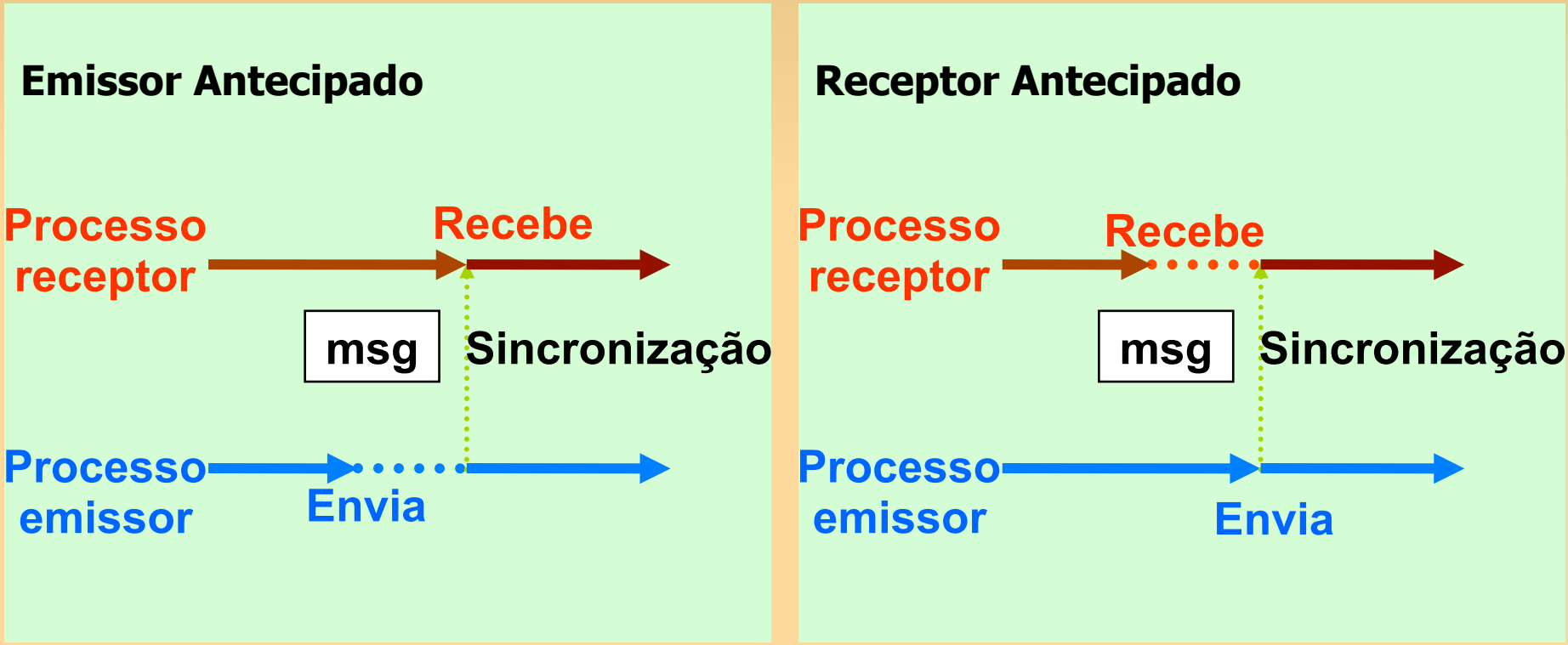
- Existem três mecanismos de comunicação síncrona mais importantes:
  - Rendez-vous
  - Rendez-vous Estendido
  - Chamada Remota de Procedimento

Comunicação Síncrona: Mecanismos

- Rendez-vous
  - Obtido através de primitivas Envia e Recebe bloqueantes colocadas em processos distintos;
  - A execução destas primitivas em tempos diferentes faz com que o processo que executar a primitiva antes do outro fique bloqueado até que ocorra a sincronização entre os dois processos, e a consecutiva transferência da mensagem;
  - Em seguida, ambos os processos continuarão seu andamento em paralelo.
  - Ex.: linguagem CSP.

Comunicação Síncrona: Mecanismos

- Rendez-vous



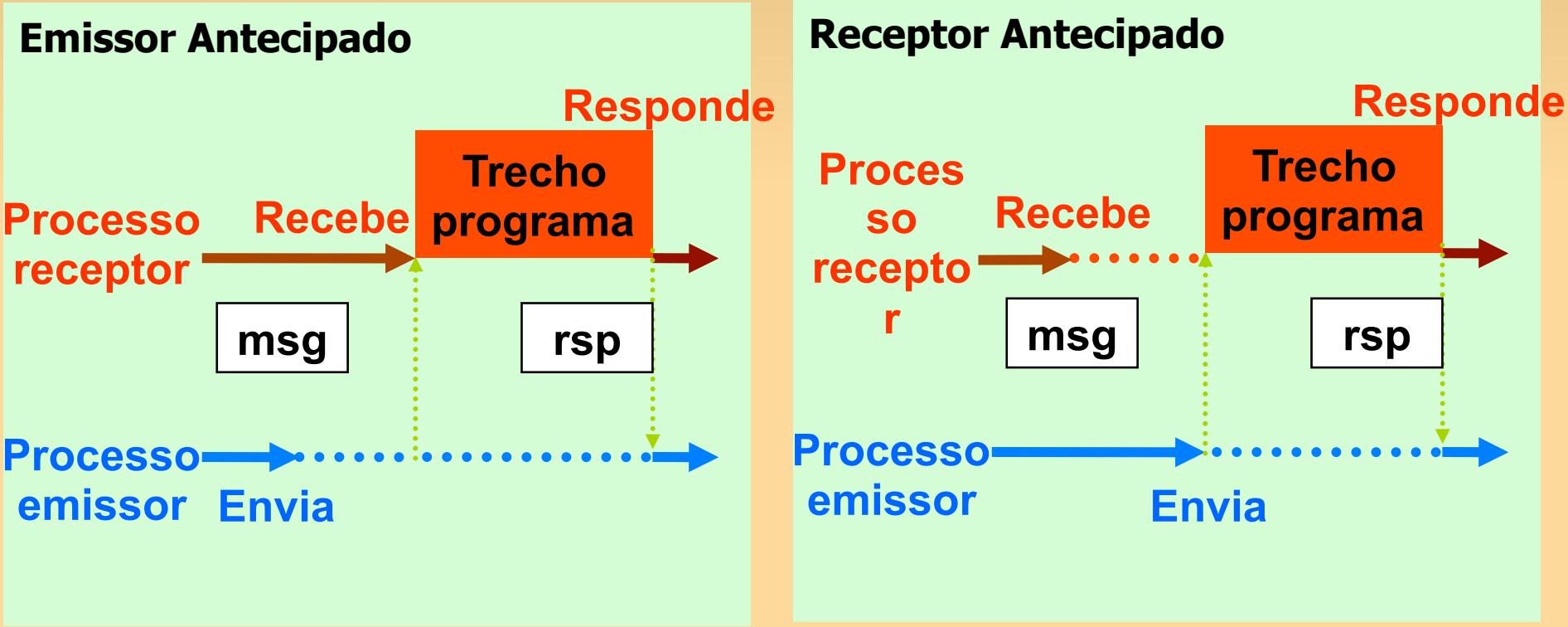
A transferência da mensagem é copiada diretamente do emissor ao receptor, sem uso de buffer intermediário.

Comunicação Síncrona: Mecanismos

- Rendez-vous Estendido
  - Caracteriza-se por apresentar uma estrutura de comunicação onde um processo consegue comandar a execução de um trecho de programa previamente estabelecido, pertencente a outro processo, envolvendo sincronização e, eventualmente, troca de mensagem.
    - O processo emissor deve esperar que o receptor chegue na parte do código desejada
  - Ex: linguagem ADA.

Comunicação Síncrona: Mecanismos

- Rendez-vous Estendido

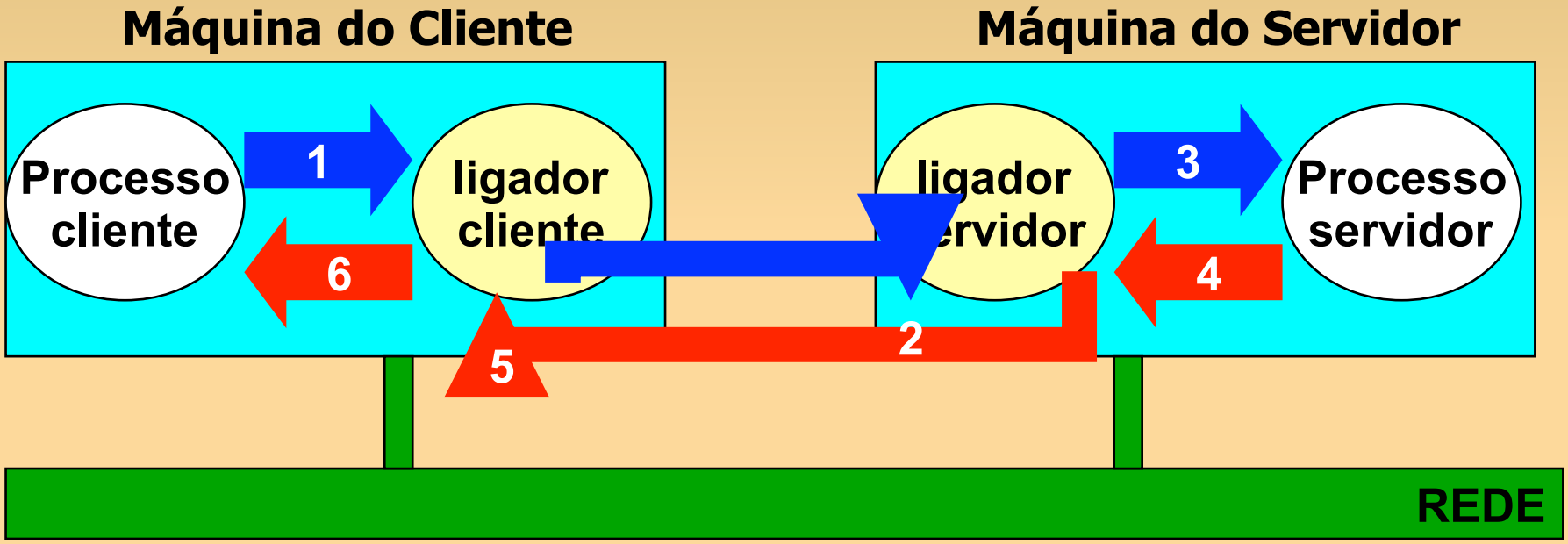


Comunicação Síncrona: Mecanismos

- Chamada Remota de Procedimento (RPC - Remote Procedure Call)
  - Apresenta uma estrutura de comunicação na qual um processo pode comandar a execução de um procedimento situado em outro processador.
  - O processo chamador deverá ficar bloqueado até que o procedimento chamado termine.
  - Tanto a chamada quanto o retorno podem envolver troca de mensagem, conduzindo parâmetros.
  - Ex: linguagem C (via aplicativo rpcgen).

Comunicação Síncrona: Mecanismos

- Chamada Remota de Procedimento (RPC)



(1) e (3) são chamadas de procedimento comuns
(2) e (5) são mensagens
(4) e (6) são retornos de procedimento comuns

Comunicação Síncrona: Mecanismos

- Vantagem da Chamada Remota de Procedimento
  - Cliente e servidor não precisam saber que as mensagens são utilizadas.
  - Eles as vêem como chamadas de procedimento locais.

Comunicação Síncrona: Mecanismos

- Problemas da Chamada Remota de Procedimento
  - Dificuldade da passagem de parâmetros por referência:
    - Se servidor e cliente possuem diferentes representações de informação (necessidade de conversão).
  - Diferenças de arquitetura:
    - As máquinas podem diferir no armazenamento de palavras.
    - Ex: long do C tem tamanhos diferentes, dependendo se o S.O. For 32 ou 64 bits

Comunicação Síncrona: Mecanismos

- Problemas da Chamada Remota de Procedimento
  - Falhas semânticas:
    - Ex: o servidor pára de funcionar quando executava uma RPC. O que dizer ao cliente?
    - Se disser que houve falha e o servidor terminou a chamada logo antes de falhar, o cliente pode pensar que falhou antes de executar a chamada.
      - Ele pode tentar novamente, o que pode não ser desejável (ex: atualização de BD).
    - Principais abordagens: “no mínimo uma vez”, “exatamente uma vez” e “no máximo uma vez”.

Comunicação Síncrona: Mecanismos

- Falhas Semânticas da Chamada RPC:
  - No mínimo uma vez
    - O cliente fica retransmitindo o pedido até que tenha a resposta desejada
  - Exatamente uma vez
    - Toda chamada é executada exatamente uma vez
    - Se o cliente transmite e o servidor cai, ele não sabe se o servidor processou o pedido antes de cair
  - No máximo uma vez
    - Se o servidor cair, o cliente saberá do erro, mas não saberá se a operação foi executada

Comunicação – Outros Mecanismos

- RPC – Remote Procedure Call
  - Rotinas que permitem comunicação de processos em diferentes máquinas;
  - Chamadas remotas;
- MPI – Message-passing Interface;
  - Sistemas paralelos;
- RMI Java – Remote Method Invocation
  - Permite que um objeto ativo em uma máquina virtual Java possa interagir com objetos de outras máquinas virtuais Java, independentemente da localização dessas máquinas virtuais;

Mensagens

- Outros Mecanismos de Comunicação Baseados na Troca de mensagens
  - Existem diversos mecanismos atuais baseados na troca de mensagens, além dos discutidos. Os mais representativos são:
    - Caixas Postais (Mailboxes)
    - Portos (Ports)

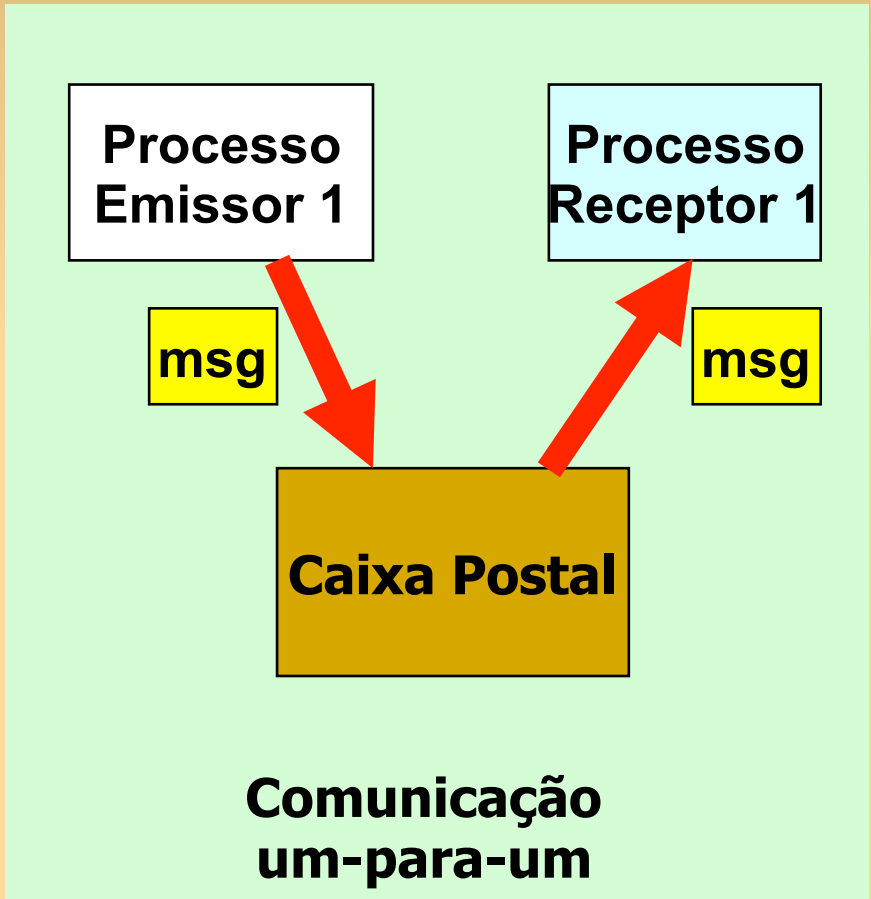
Caixas Postais

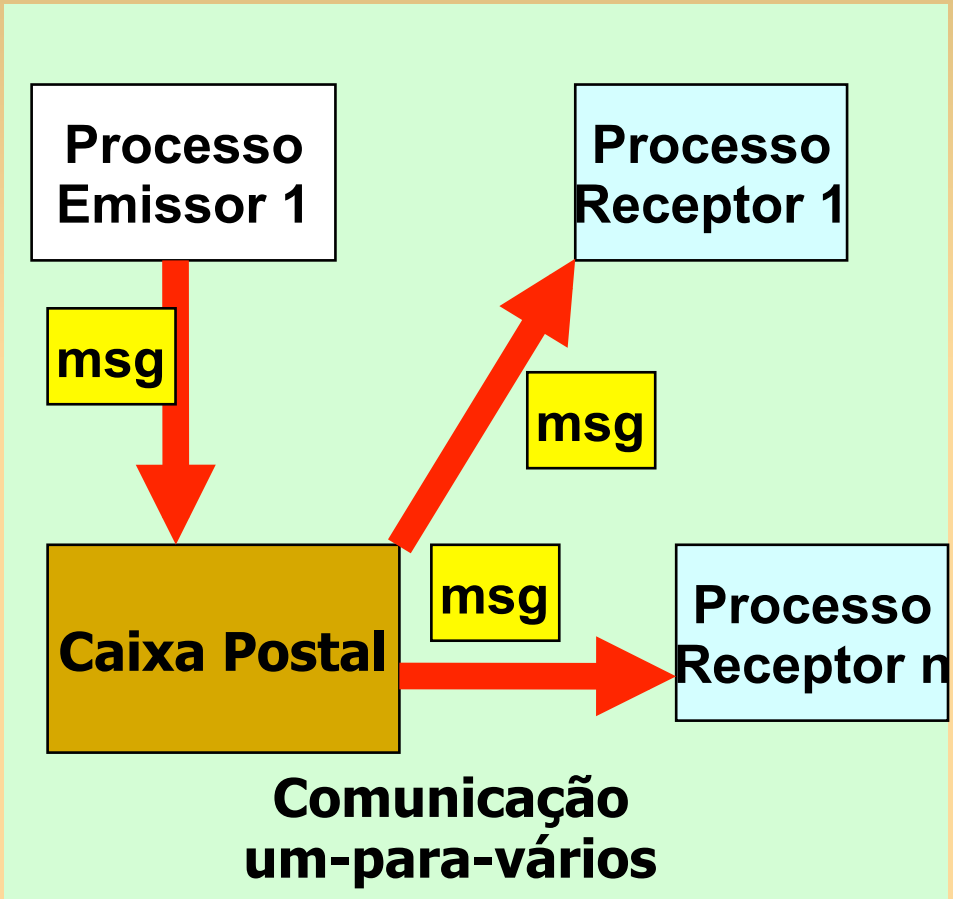
- Estrutura de dados:
  - São filas de mensagens não associadas, a princípio, com nenhum processo.
- Lugar para se colocar um certo número de mensagens
  - Mensagens são enviadas ou lidas da caixa postal, e não diretamente dos processos
  - Quando um processo tenta enviar para uma caixa cheia, ele é suspendido até que uma mensagem seja removida da caixa

Caixas Postais

- Os processos podem enviar e receber mensagens das caixas postais
  - Mecanismo adequado para comunicar diversos remetentes a diversos receptores.
  - Cada processo pode ter uma caixa exclusiva
- Restrição
  - Necessidade de envio de duas mensagens para comunicar o remetente com o receptor: uma do remetente à caixa postal, e outra da caixa postal para o receptor.

Caixas Postais





Portos

- Consistem em elementos do sistema que permitem a comunicação entre conjuntos de processos.
  - Conexão de dados virtual ou lógica, usada para que programas troquem informação diretamente
  - Ex: TCP – numerados de 1 a 65535
- Cada porto é como uma caixa postal, porém com um dono, que será o processo que o criar.

Portos

Cria_porto(S, saída, msg)

conecta_porto(S, E)

envia_porto(S, msg)

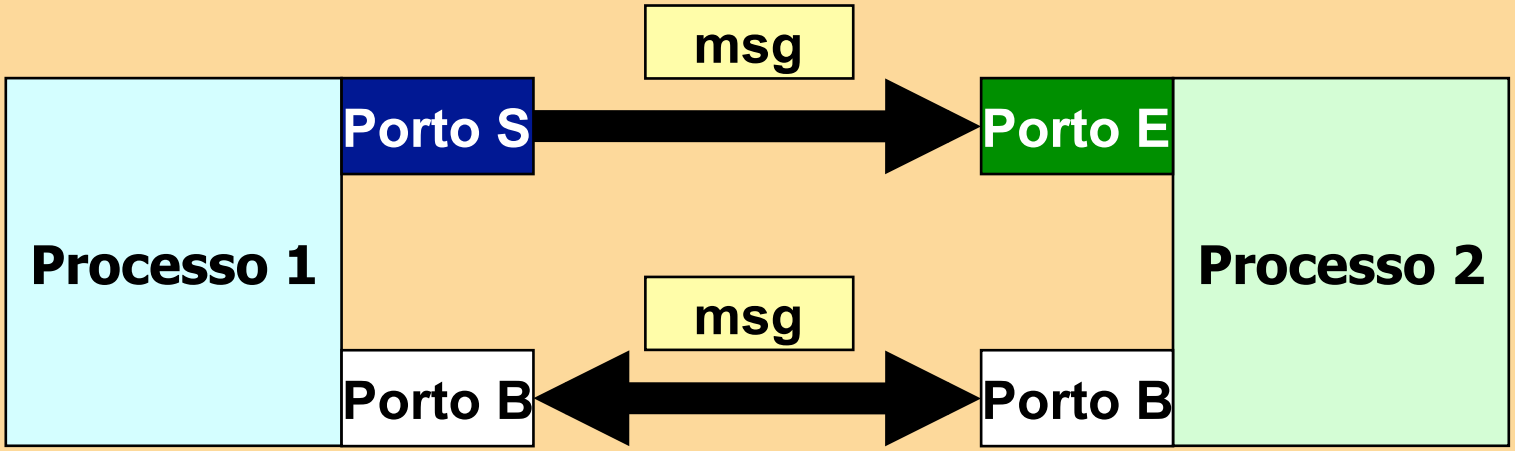
desconecta_porto(S, E)

destruir_porto(S)

Cria_porto(E, entrada, msg)

recebe_porto(E, msg)

destruir_porto(E)

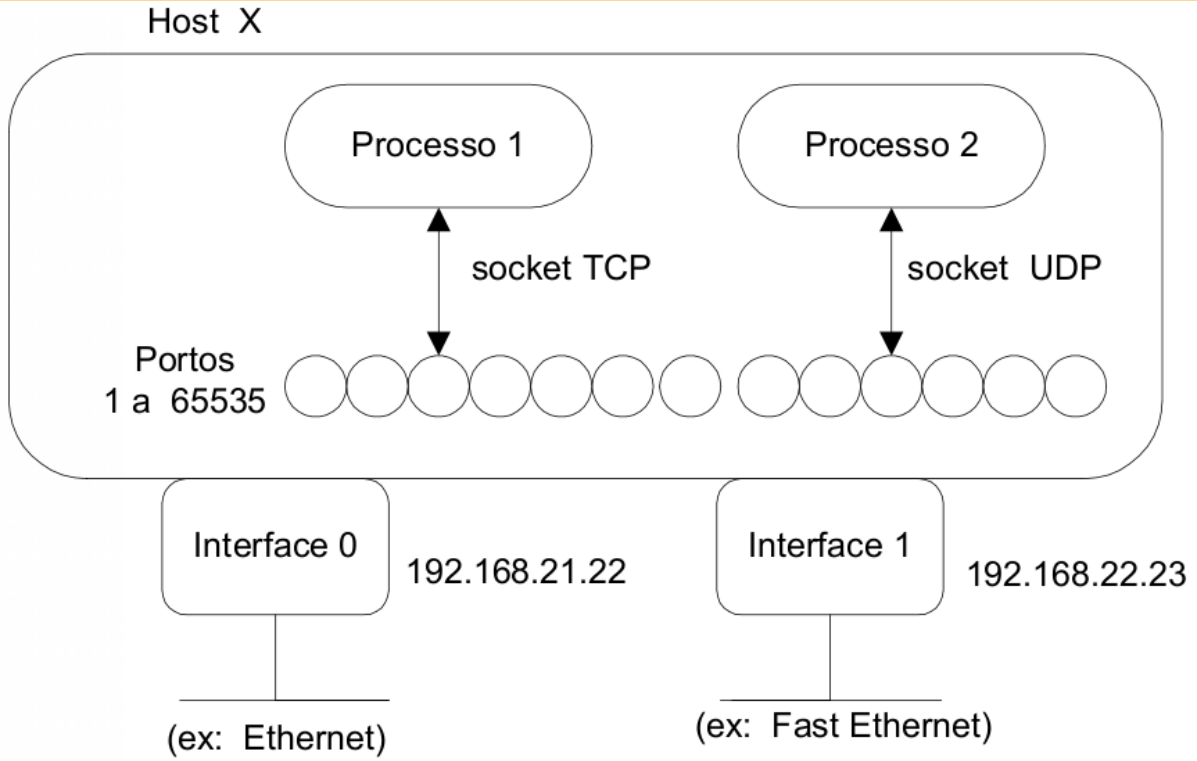


Portos

- Outras Características dos Portos
  - A criação e a interligação de portos e caixas postais pode ser feita de maneira dinâmica.
    - A necessidade de enfileiramento das mensagens enviadas, torna necessário o uso de “buffers”, para o armazenamento intermediário.
  - A comunicação entre processos locais ou remotos, em um sistema estruturado com portos, será feita pela execução de primitivas síncronas (ou assíncronas) do tipo envia e recebe.

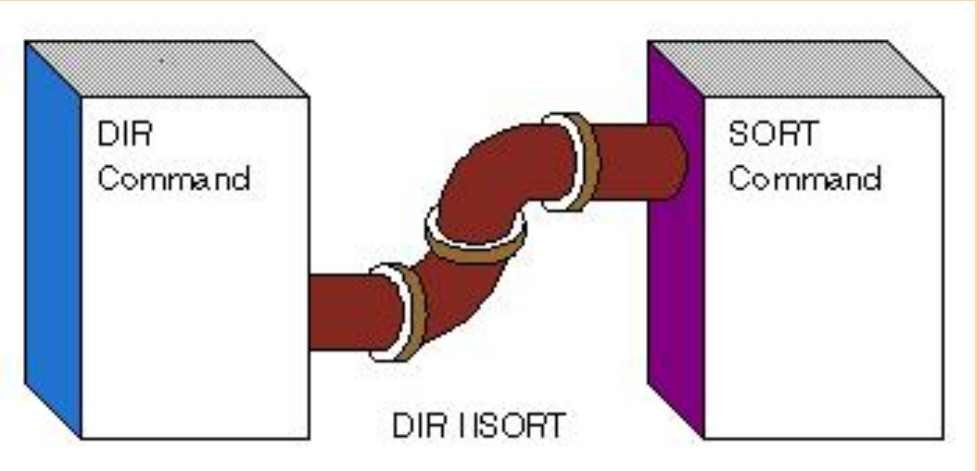
Comunicação – Outros Mecanismos

- Socket:
  - Par endereço IP e porta utilizado para comunicação entre processos em máquinas diferentes;
  - Host X (192.168.1.1:1065) Server Y (192.168.1.2:80);
  - Em unix, sockets são um tipo de arquivo que conectam processos a seus respectivos portos



Comunicação – Outros Mecanismos

- Pipe:
  - Fluxo de dados de mão única entre processos
  - Usados no sistema operacional UNIX para permitir a comunicação entre processos.
    - Um pipe é um modo de conectar a saída de um processo com a entrada de outro processo, sem o uso de arquivos temporários.
    - Todo dado escrito por um processo na pipe é dirigido, pelo kernel, a outro processo, que pode então lê-lo



Comunicação – Outros Mecanismos

- Pipe:
  - Um pipeline é uma conexão de dois ou mais programas ou processos através de pipes.
    - Permite a criação de filas de processos;
    - Ex: ps -ef | grep alunos | sort
  - Existe enquanto o processo existir;
  - Exemplos:
    - Sem uso de pipes (usando arquivos temporários)
      - $ ls > temp
      - $ sort < temp
    - Com uso de pipes
      - $ ls | sort

Comunicação – Outros Mecanismos

- Problemas com pipes:
  - Não há como abrir uma pipe já existente
    - Dois processos não compartilham a mesma pipe, a menos que sejam irmãos, e ela tenha sido criada pelo pai desses processos
- Named pipe (ou FIFO):
  - Extensão de pipe que soluciona esse problema
  - É um tipo de arquivo especial em Unix
    - Pode ser aberto por qualquer processo
    - Continua existindo mesmo depois que o processo terminar;
    - Criado com chamadas de sistemas;

Referências Adicionais

- Bovet, D.P., Cesati, M.: Understanding the Linux Kernel. O'Reilly. 1st Ed. 2000.