Instituto Federal de Santa Catarina

Redes de Computadores

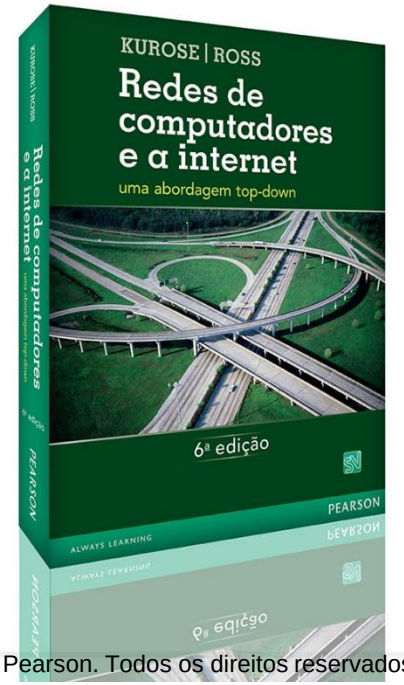
Redes de Computadores

RES 12502

O material para essas apresentações foi retirado das apresentações disponibilizadas pela Editora Pearson para o livro “Redes de Computadores e a Internet: Uma Abordagem Top-Down” de Jim Kurose e Keith Ross.

Capítulo 3

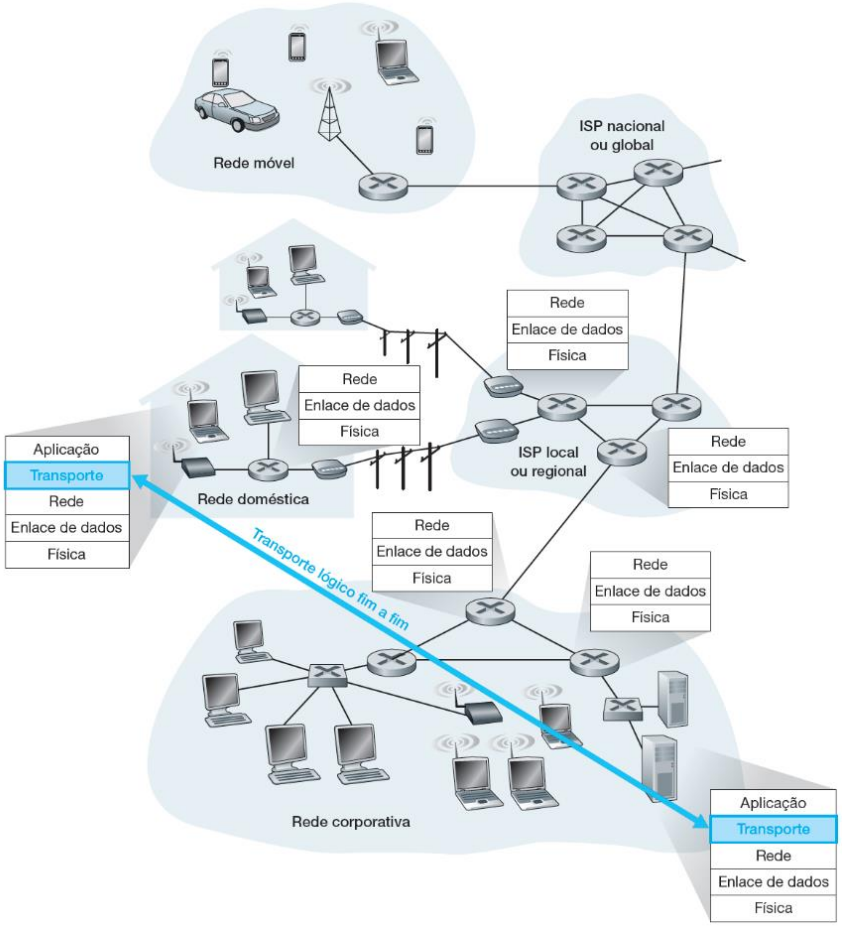
Camada de transporte



Introdução e serviços de camada de transporte

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição



- A camada de transporte fornece comunicação lógica, e não física, entre processos de aplicações:

Relação entre as camadas de transporte e de rede

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- Um protocolo de camada de transporte fornece comunicação lógica entre *processos* que rodam em hospedeiros diferentes.
- Um protocolo de camada de rede fornece comunicação lógica entre *hospedeiros*.
- Uma rede de computadores pode disponibilizar vários protocolos de transporte.
- Os serviços que um protocolo de transporte pode fornecer são muitas vezes limitados pelo modelo de serviço do protocolo subjacente da camada de rede.

Visão geral da camada de transporte na Internet

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

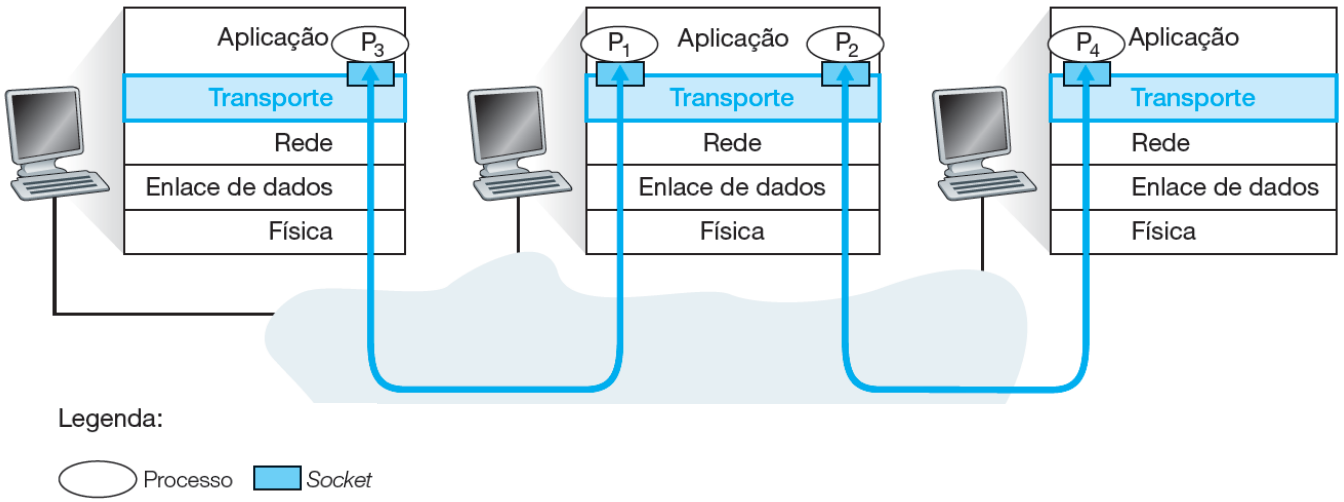
- A responsabilidade fundamental do UDP e do TCP é ampliar o serviço de entrega IP entre dois sistemas finais para um serviço de entrega entre dois processos que rodam nos sistemas finais.
- A ampliação da entrega hospedeiro a hospedeiro para entrega processo a processo é denominada **multiplexação/demultiplexação de camada de transporte**.
- O UDP e o TCP também fornecem verificação de integridade ao incluir campos de detecção de erros nos cabeçalhos de seus segmentos.

Multiplexação e demultiplexação

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- Multiplexação e demultiplexação na camada de transporte



Multiplexação e demultiplexação

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

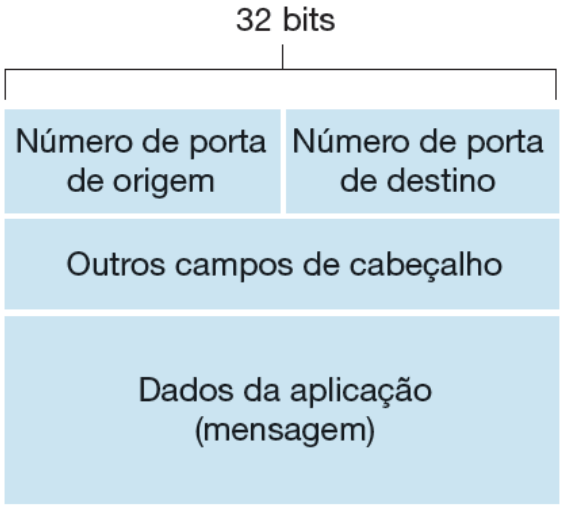
- A tarefa de entregar os dados contidos em um segmento da camada de transporte ao socket correto é denominada **demultiplexação**.
- O trabalho de reunir, no hospedeiro de origem, partes de dados provenientes de diferentes sockets, encapsular cada parte de dados com informações de cabeçalho para criar segmentos, e passar esses segmentos para a camada de rede é denominada **multiplexação**.

Multiplexação e demultiplexação

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- Campos de número de porta de origem e de destino em um segmento de camada de transporte:



Transporte não orientado para conexão: UDP

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- O UDP, definido no [RFC 768], faz apenas quase tão pouco quanto um protocolo de transporte pode fazer.
- À parte sua função de multiplexação/demultiplexação e de alguma verificação de erros simples, ele nada adiciona ao IP.
- Se o desenvolvedor de aplicação escolher o UDP, em vez do TCP, a aplicação estará "falando" quase diretamente com o IP.
- O UDP é *não orientado para conexão*.

Transporte não orientado para conexão: UDP

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- Aplicações populares da Internet e seus protocolos de transporte subjacentes:

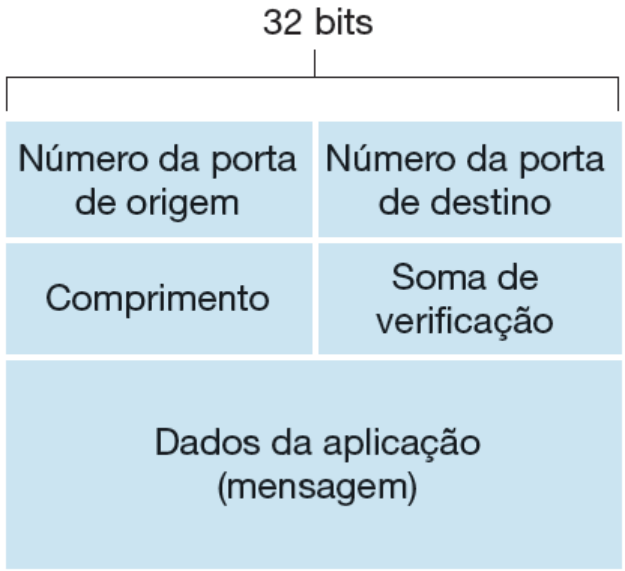
Aplicação	Protocolo da camada de aplicação	Protocolo de transporte subjacente
Correio eletrônico	SMTP	TCP
Acesso a terminal remoto	Telnet	TCP
Web	HTTP	TCP
Transferência de arquivo	FTP	TCP
Servidor de arquivo remoto	NFS	Tipicamente UDP
Recepção de multimídia	Tipicamente proprietário	UDP ou TCP
Telefonia por Internet	Tipicamente proprietário	UDP ou TCP
Gerenciamento de rede	SNMP	Tipicamente UDP
Protocolo de roteamento	RIP	Tipicamente UDP
Tradução de nome	DNS	Tipicamente UDP

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Estrutura do segmento UDP

- Aplicações populares da Internet e seus protocolos de transporte subjacentes:



KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Soma de verificação UDP

- A soma de verificação UDP serve para detectar erros.
- Suponha que tenhamos as seguintes três palavras de 16 bits:

```
0110011001100000
0101010101010101
1000111100001100
```

- A soma das duas primeiras é:

```
0110011001100000
0101010101010101
-----------------
1011101110110101
```

- Adicionando a terceira palavra à soma anterior, temos:

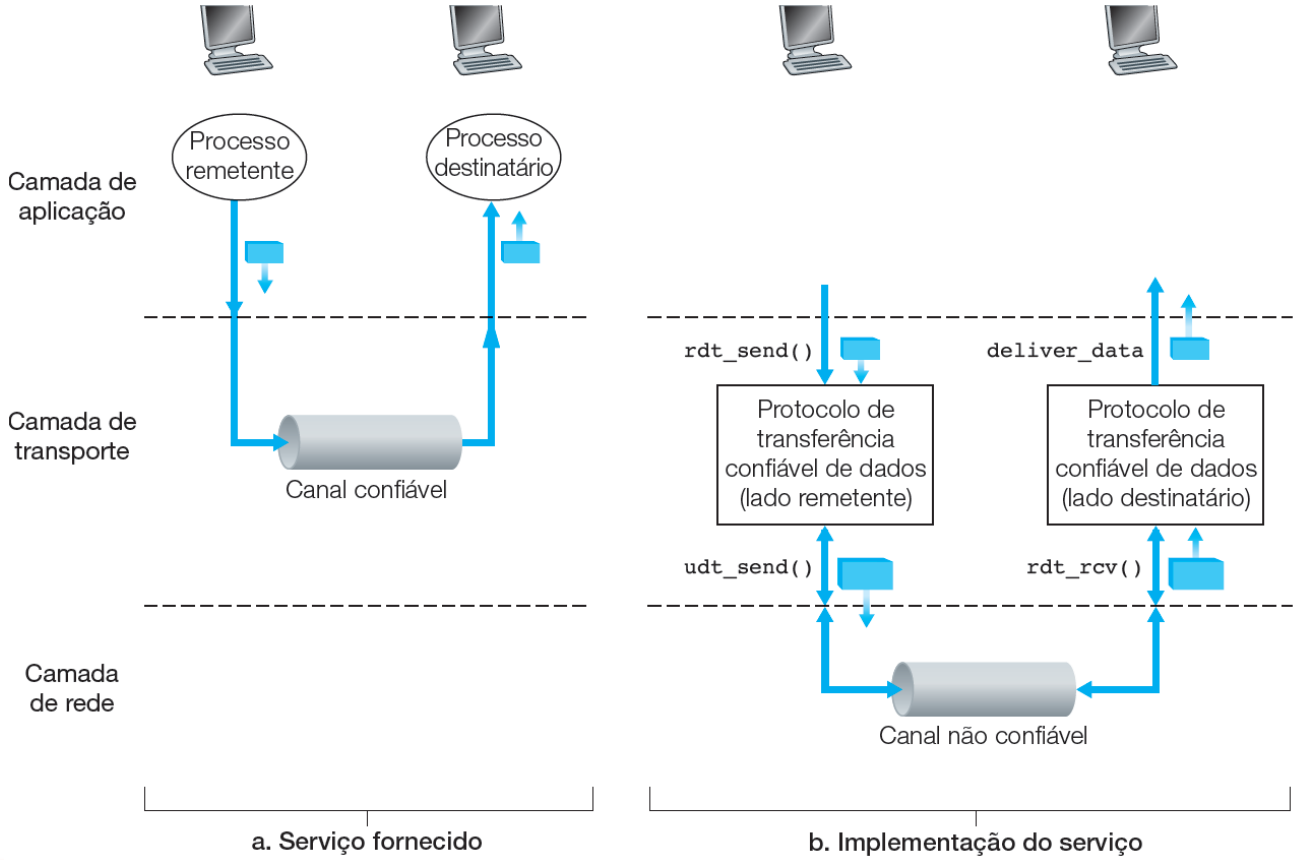
```
1011101110110101
1000111100001100
-----------------
0100101011000010
```

Princípios da transferência confiável de dados

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

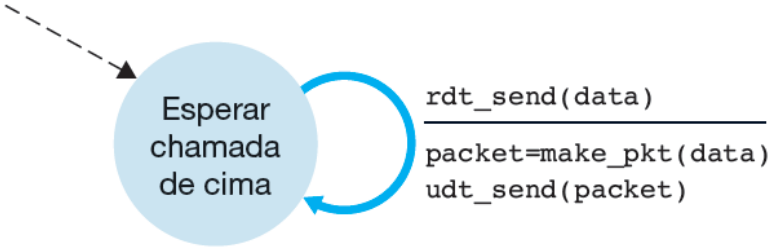
- Modelo do serviço e implementação do serviço:



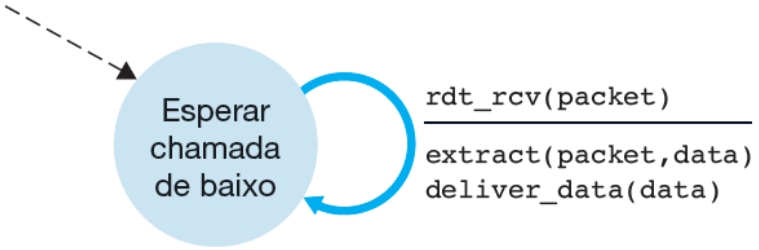
Transferência confiável de dados sobre um canal perfeitamente confiável: rdt1.0

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down
6ª edição

- rdt1.0 – Um protocolo para um canal completamente confiável

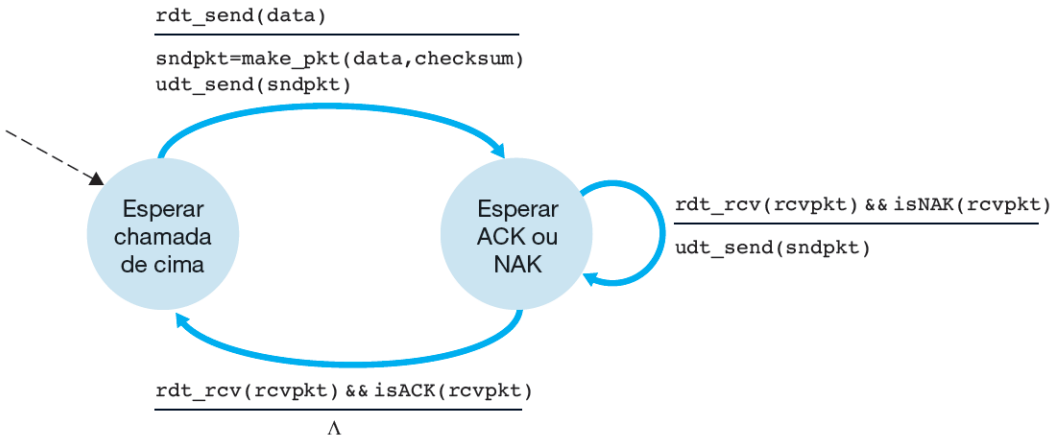


a. rdt1.0: lado remetente

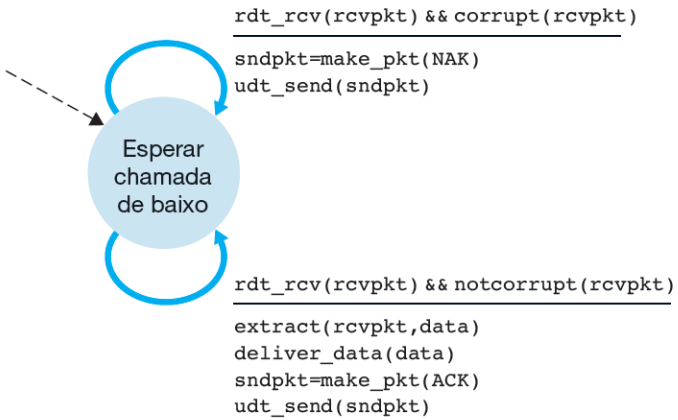


b. rdt1.0: lado destinatário

Transferência confiável de dados sobre um canal com erros de bits: rdt2.0



a. rdt2.0: lado remetente



b. rdt2.0: lado destinatário

- rdt2.0 – Um protocolo para um canal com erros de bits

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

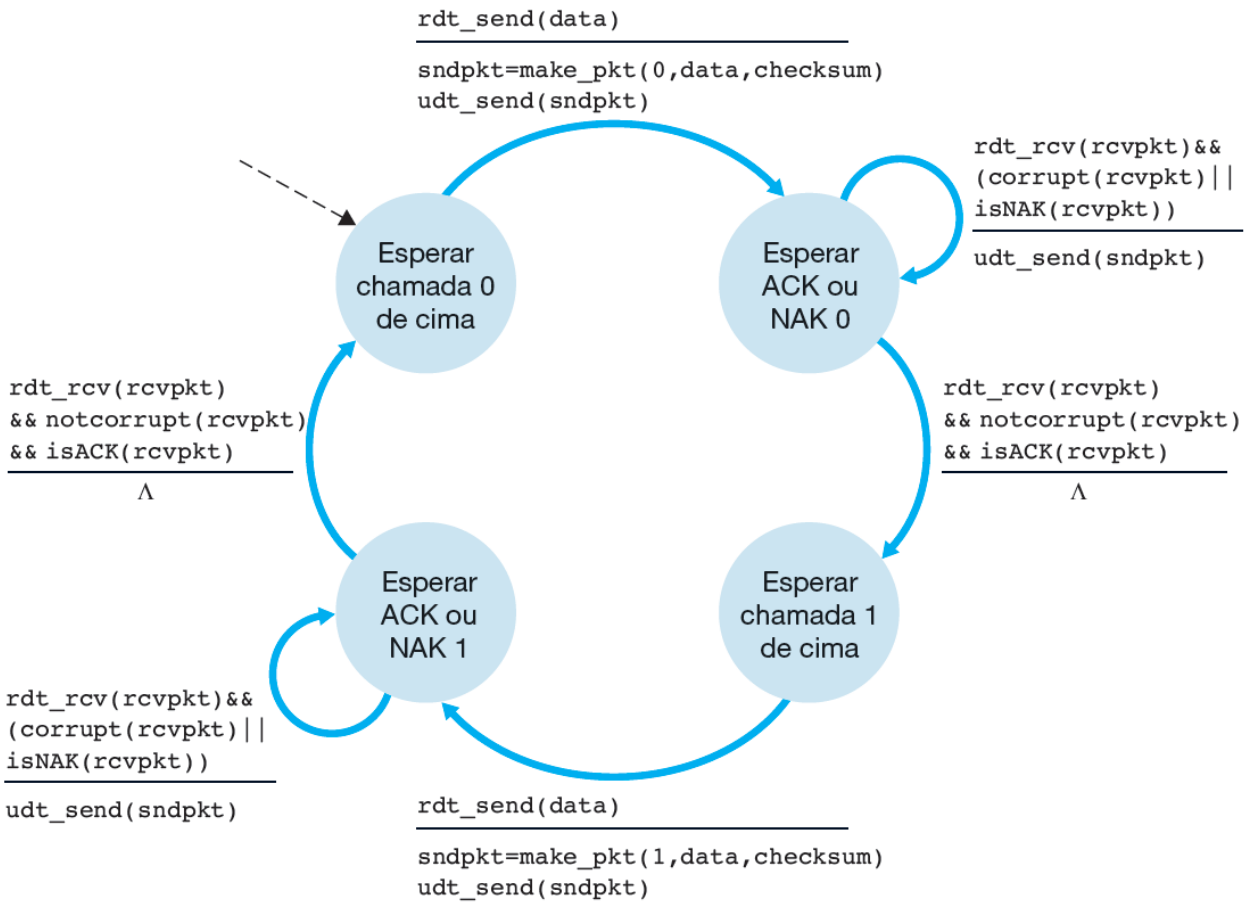
6ª edição

Transferência confiável de dados sobre um canal com erros de bits: rdt2.0

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- rdt2.1 remetente

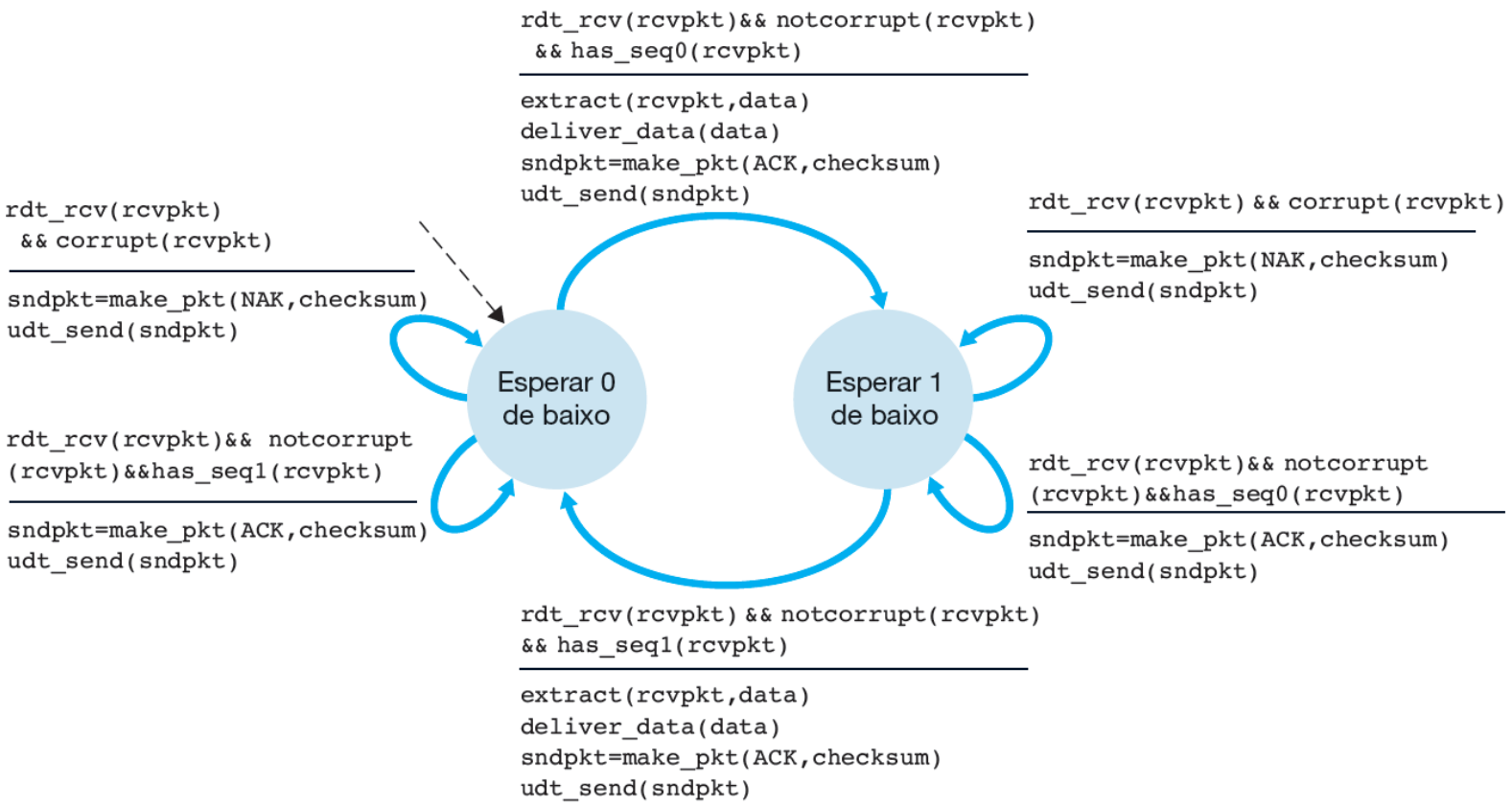


Transferência confiável de dados sobre um canal com erros de bits: rdt2.0

- rdt2.1 destinatário

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

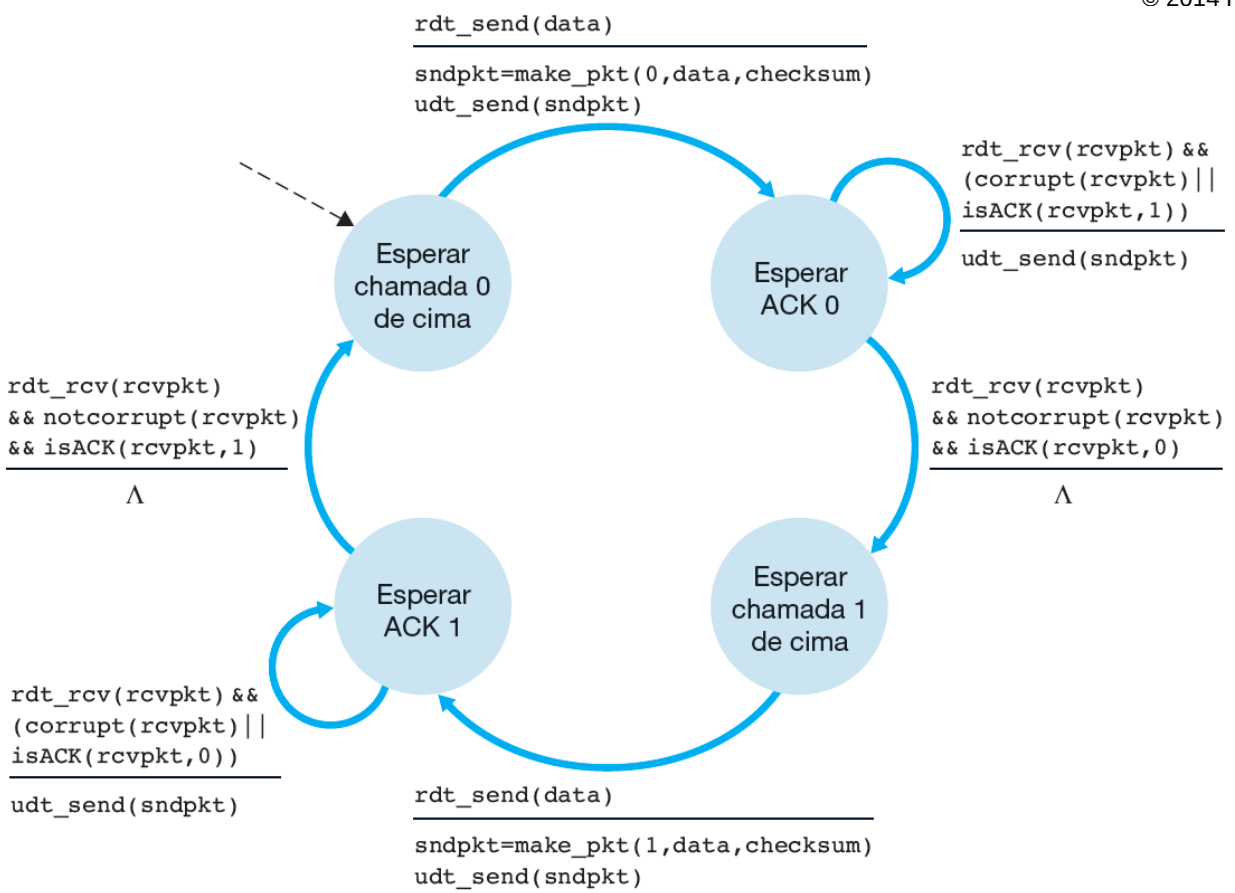


Transferência confiável de dados sobre um canal com erros de bits: rdt2.0

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- rdt2.2 remetente

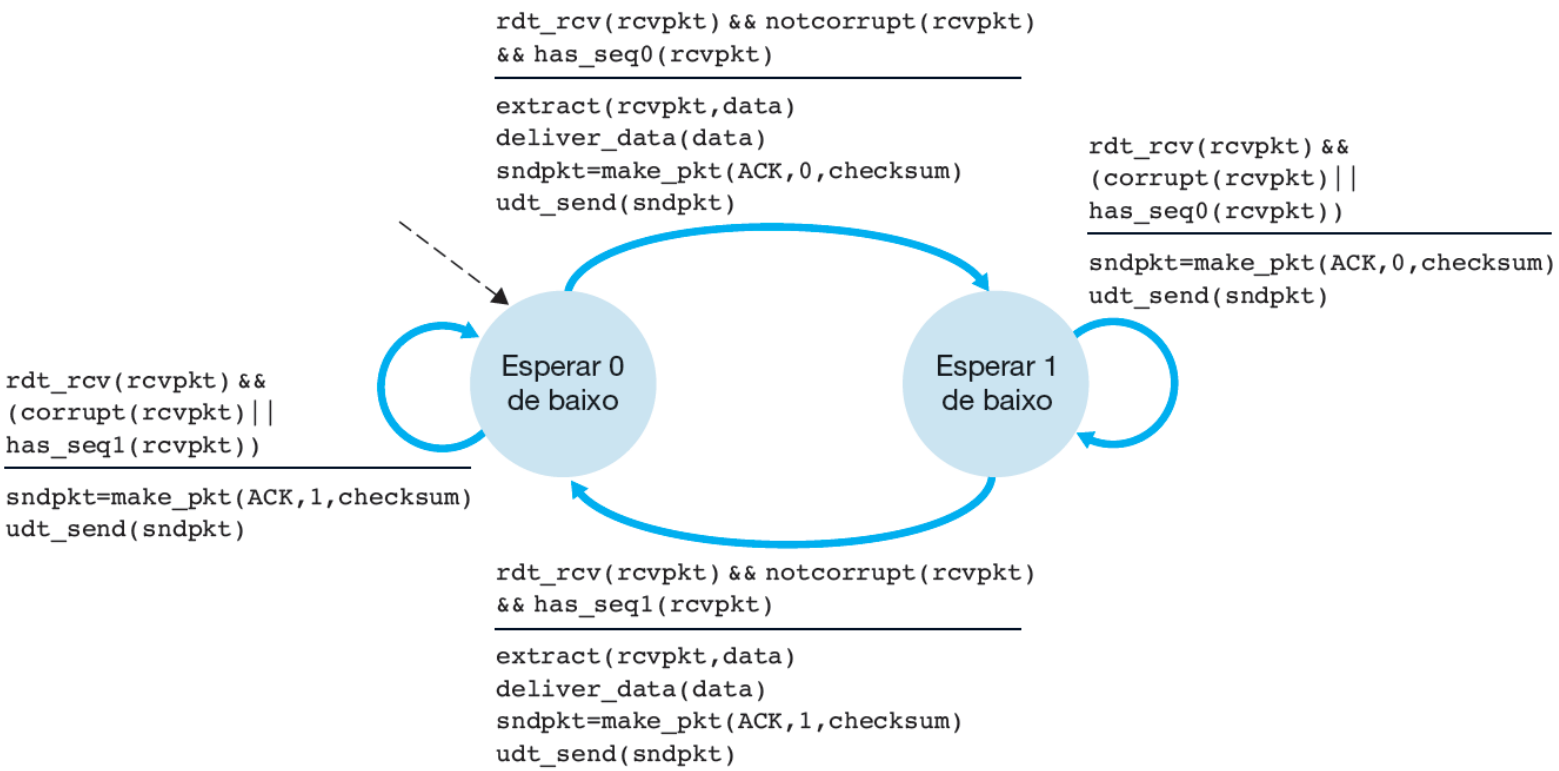


Transferência confiável de dados sobre um canal com erros de bits: rdt2.0

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- rdt2.2 destinatário

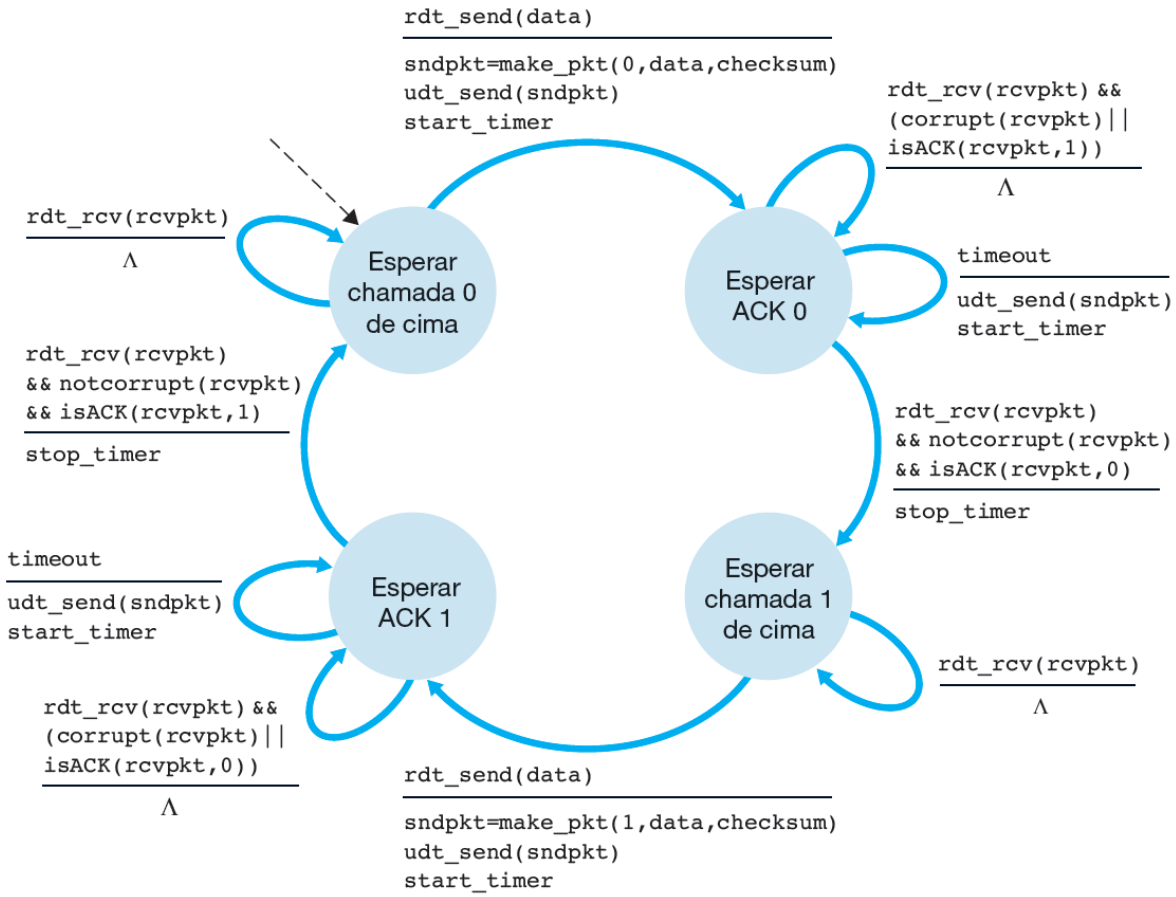


Transferência confiável de dados sobre um canal com perda e com erros de bits: rdt3.0

- rdt3.0 remetente

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

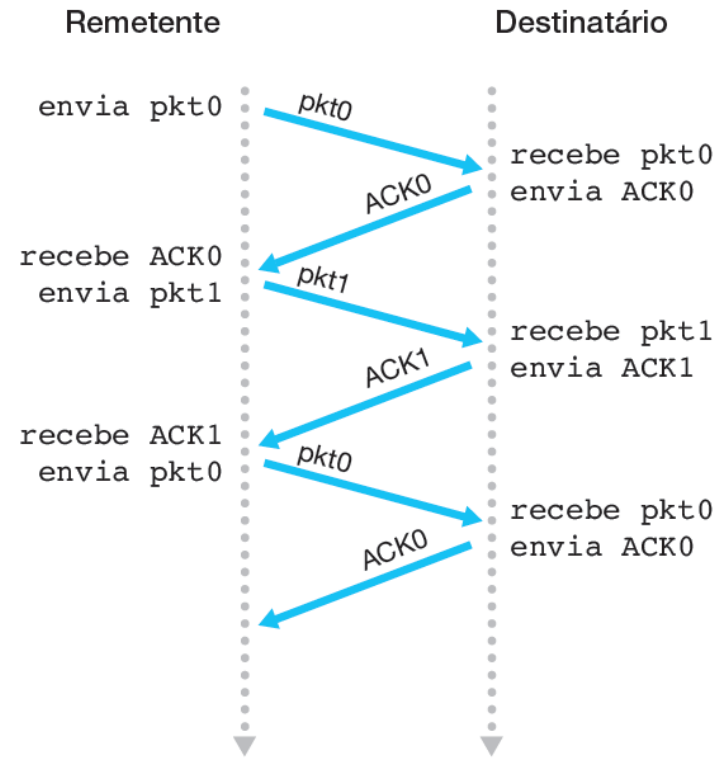


Transferência confiável de dados sobre um canal com perda e com erros de bits: rdt3.0

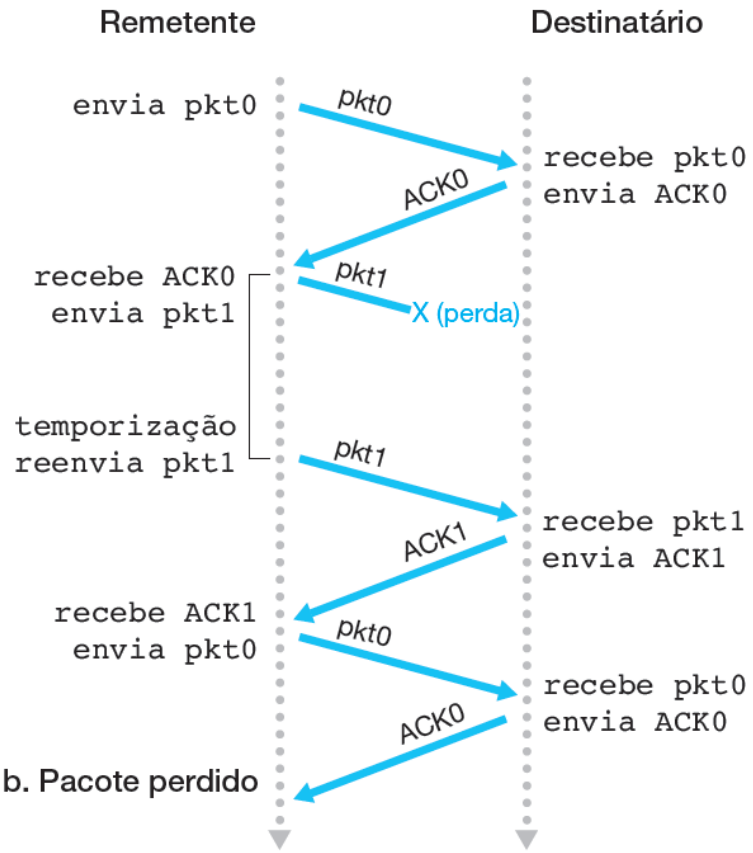
- Operação do rdt3.0, o protocolo bit alternante

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição



a. Operação sem perda



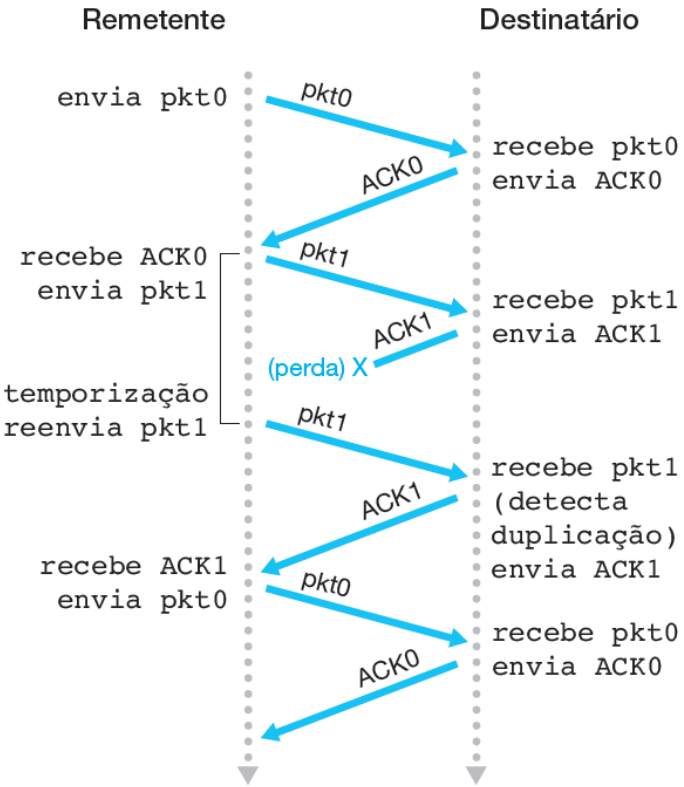
b. Pacote perdido

Transferência confiável de dados sobre um canal com perda e com erros de bits: rdt3.0

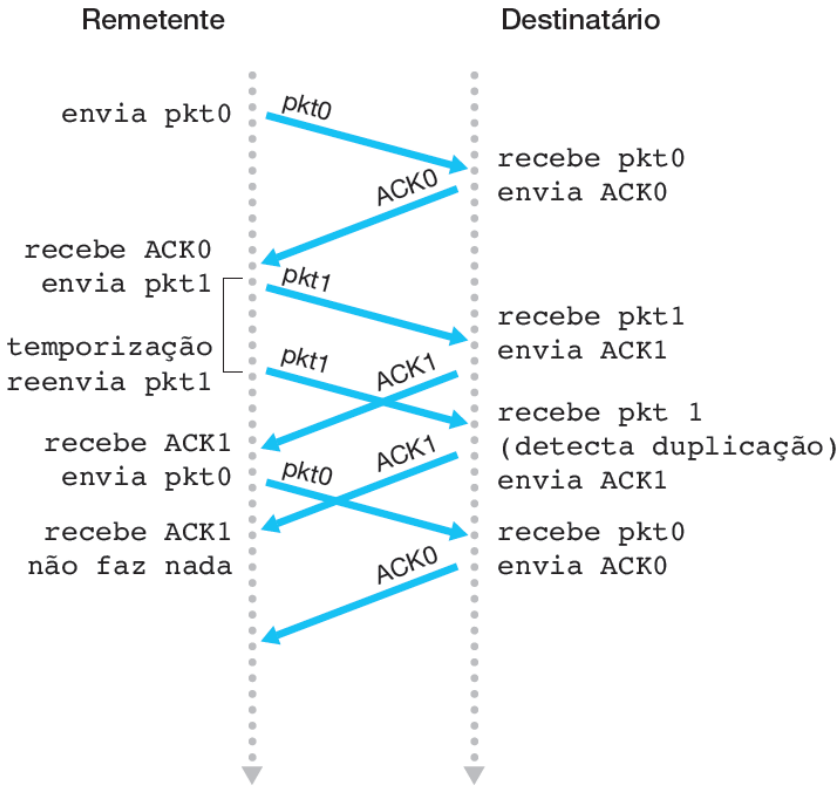
- Operação do rdt3.0, o protocolo bit alternante

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição



c. ACK perdido



d. Temporização prematura

Protocolos de transferência confiável de dados com paralelismo

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- No coração do problema do desempenho do rdt3.0 está o fato de ele ser um protocolo do tipo pare e espere.

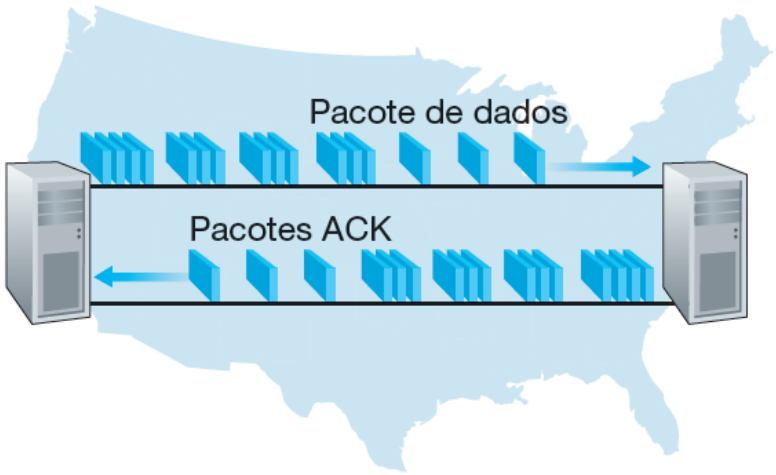
- Um protocolo pare e espere em operação

Protocolos de transferência confiável de dados com paralelismo

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- Um protocolo com paralelismo em operação

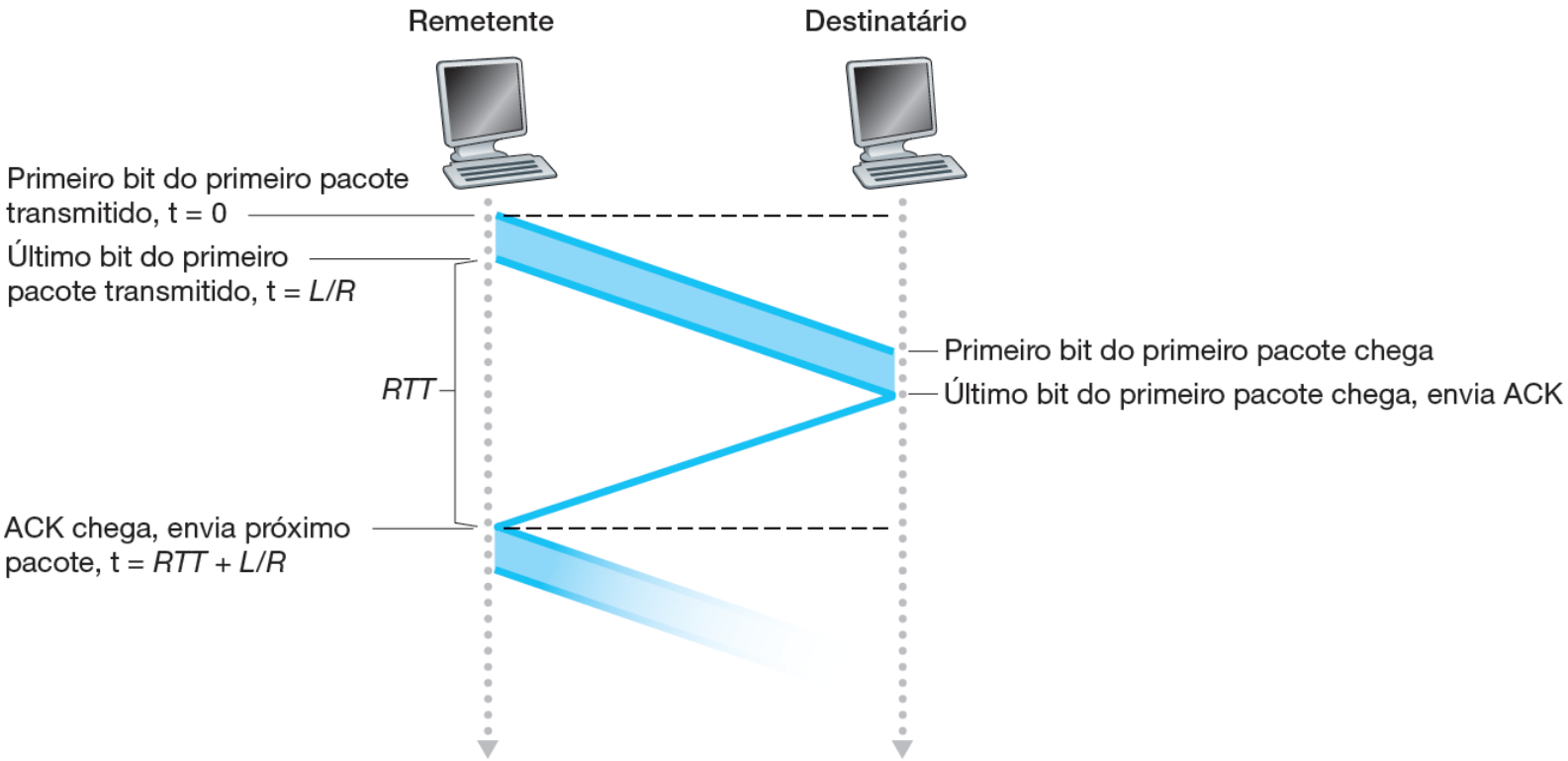


Protocolos de transferência confiável de dados com paralelismo

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- Envio com pare e espere

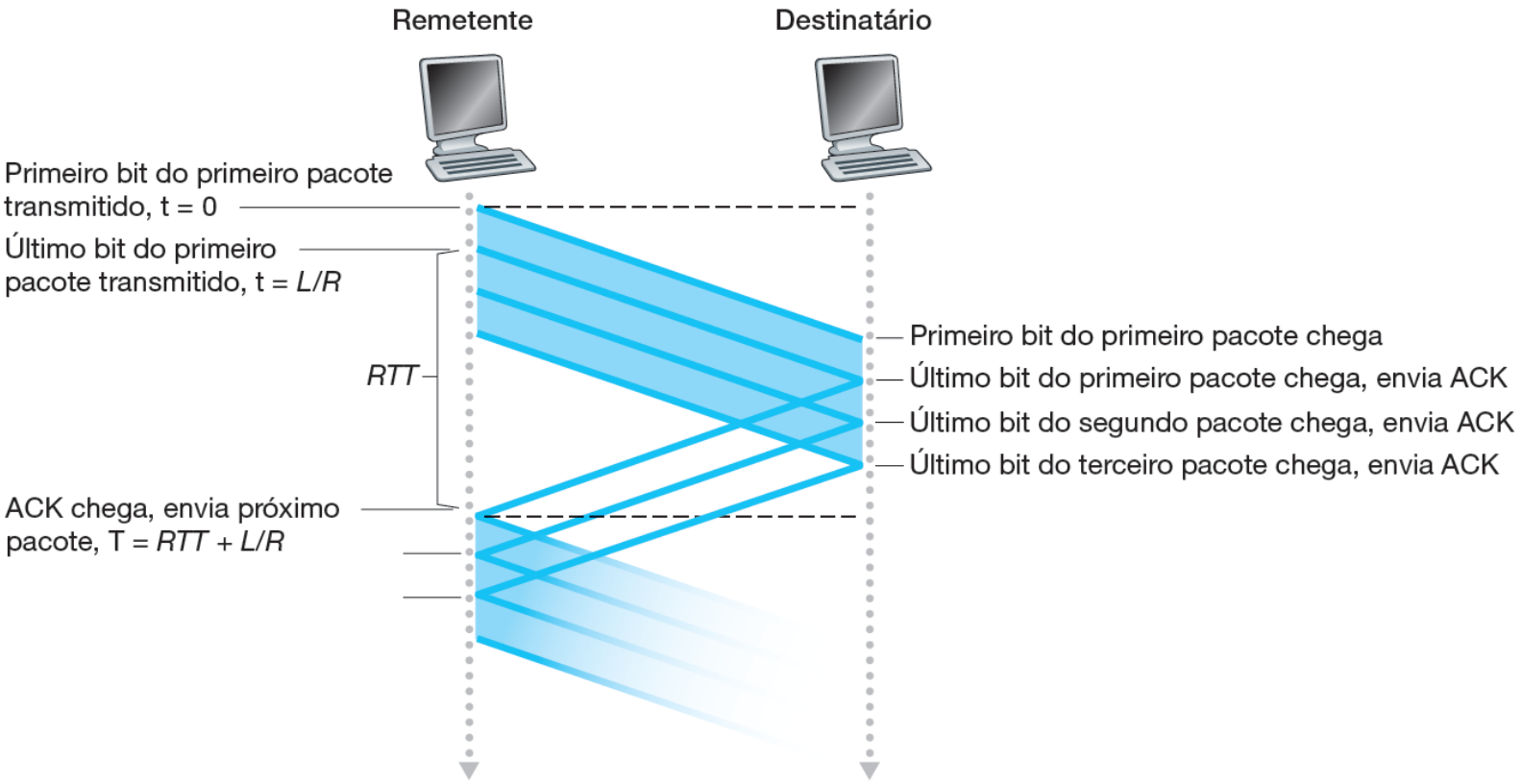


Protocolos de transferência confiável de dados com paralelismo

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- Envio com paralelismo

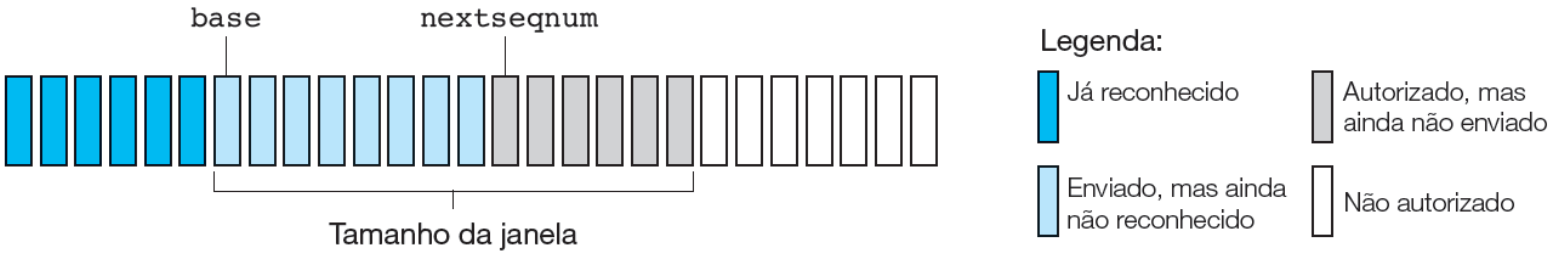


KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Go-Back-N (GBN)

- Em um **protocolo *Go-Back-N*** (**GBN**), o remetente é autorizado a transmitir múltiplos pacotes sem esperar por um reconhecimento.
- Porém, fica limitado a ter não mais do que algum número máximo permitido, **N**, de pacotes não reconhecidos na "tubulação".
- Visão do remetente para os números de sequência no protocolo Go-Back-N:

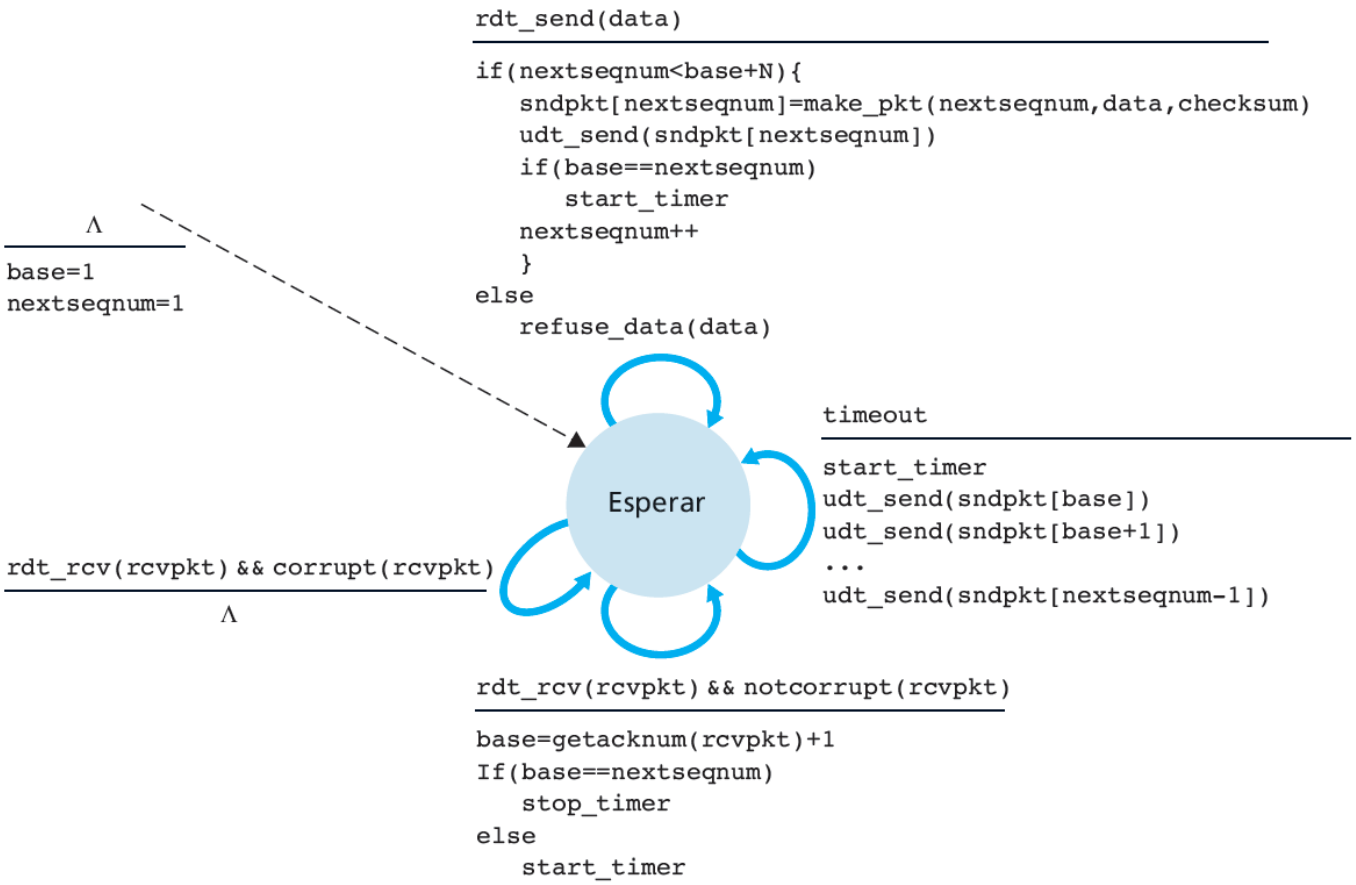


KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Go-Back-N (GBN)

- Descrição da FSM estendida do remetente GBN

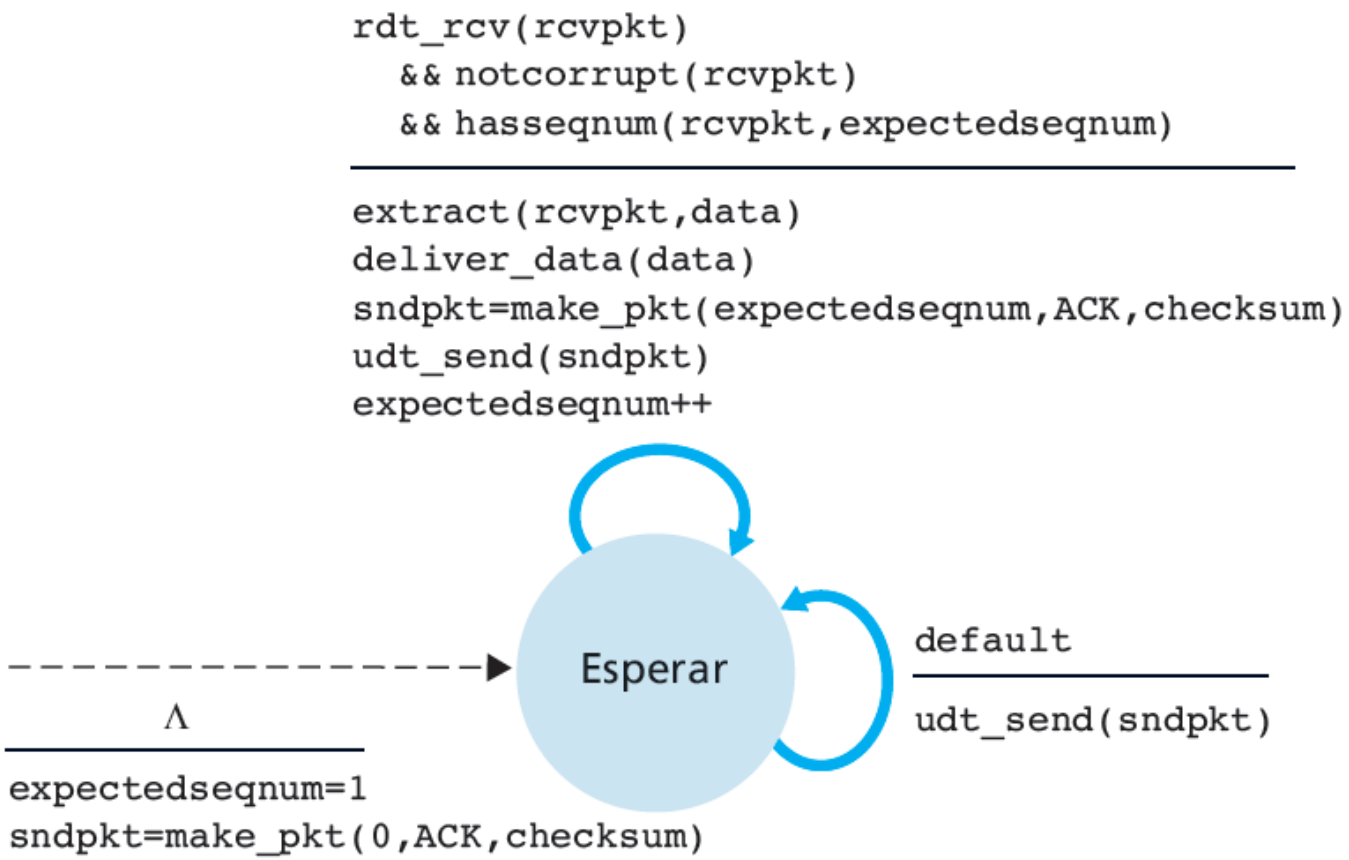


KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

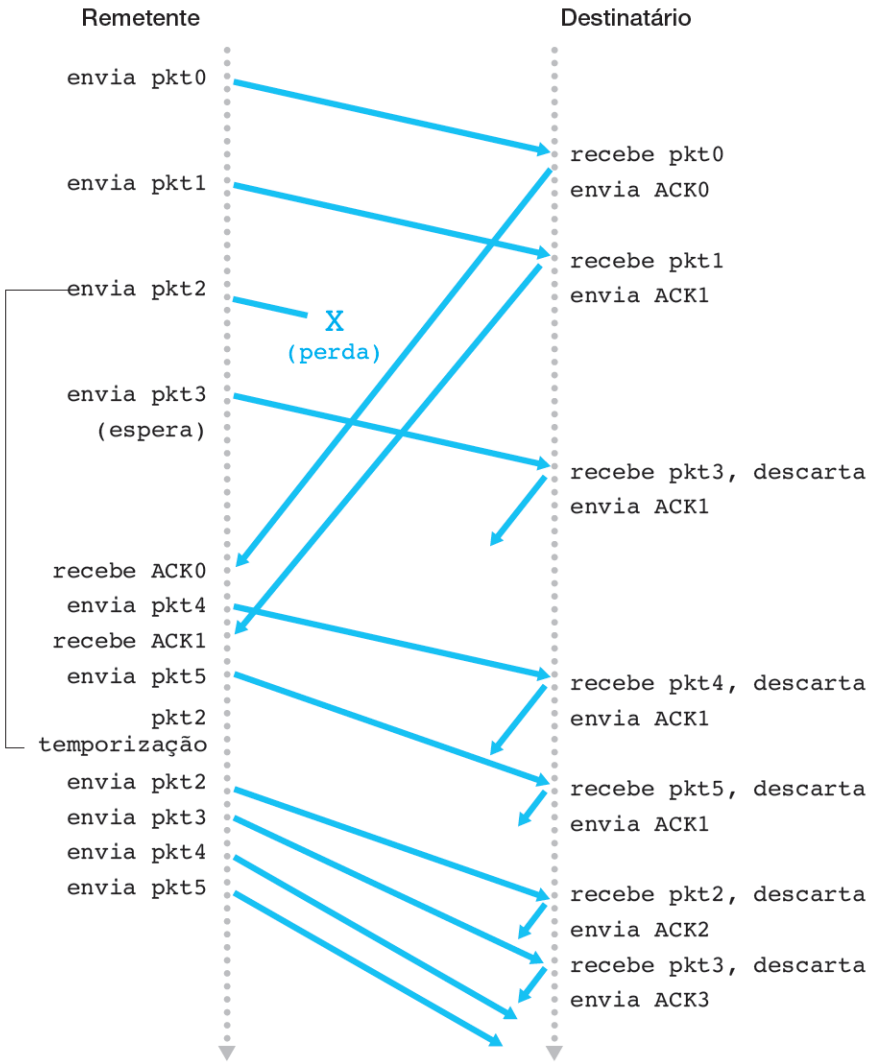
6ª edição

Go-Back-N (GBN)

- Descrição da FSM estendida do destinatário GBN



Go-Back-N (GBN)



- Go-Back-N em operação

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down
6ª edição

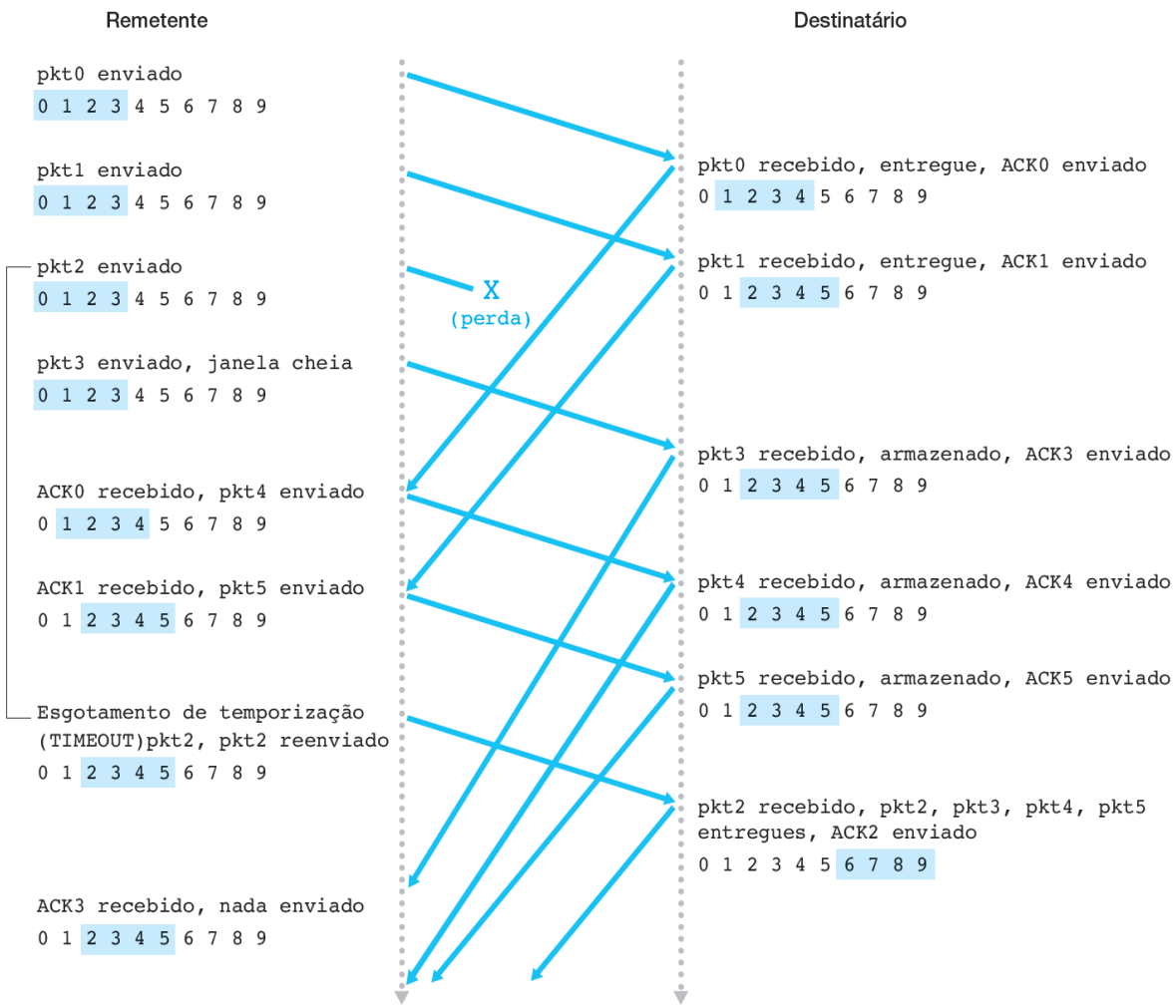
KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Repetição seletiva (SR)

- Protocolos de repetição seletiva (SR) evitam retransmissões desnecessárias.
- Eles fazem o remetente retransmitir apenas os pacotes suspeitos de terem sido recebidos com erro no destinatário.
- Essa retransmissão individual, só quando necessária, exige que o destinatário reconheça individualmente os pacotes recebidos de modo correto.

Repetição seletiva (SR)



KUROSE | ROSS

Redes de computadores e a internet

uma abordagem top-down

6ª edição

- Operação SR

Transporte orientado para conexão: TCP

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Resumo de mecanismos de transferência confiável de dados e sua utilização:

- **Soma de verificação** - Usada para detectar erros de bits em um pacote transmitido.
- **Temporizador** - Usado para controlar a temporização/retransmissão de um pacote, possivelmente porque o pacote (ou seu ACK) foi perdido dentro do canal.
- **Número de sequência** - Usado para numeração sequencial de pacotes de dados que transitam do remetente ao destinatário.

Transporte orientado para conexão: TCP

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- **Reconhecimento** - Usado pelo destinatário para avisar o remetente que um pacote ou conjunto de pacotes foi recebido corretamente.
- **Reconhecimento negativo** - Usado pelo destinatário para avisar o remetente que um pacote não foi recebido corretamente.
- **Janela, paralelismo** - O remetente pode ficar restrito a enviar somente pacotes com números de sequência que caiam dentro de uma determinada faixa.

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

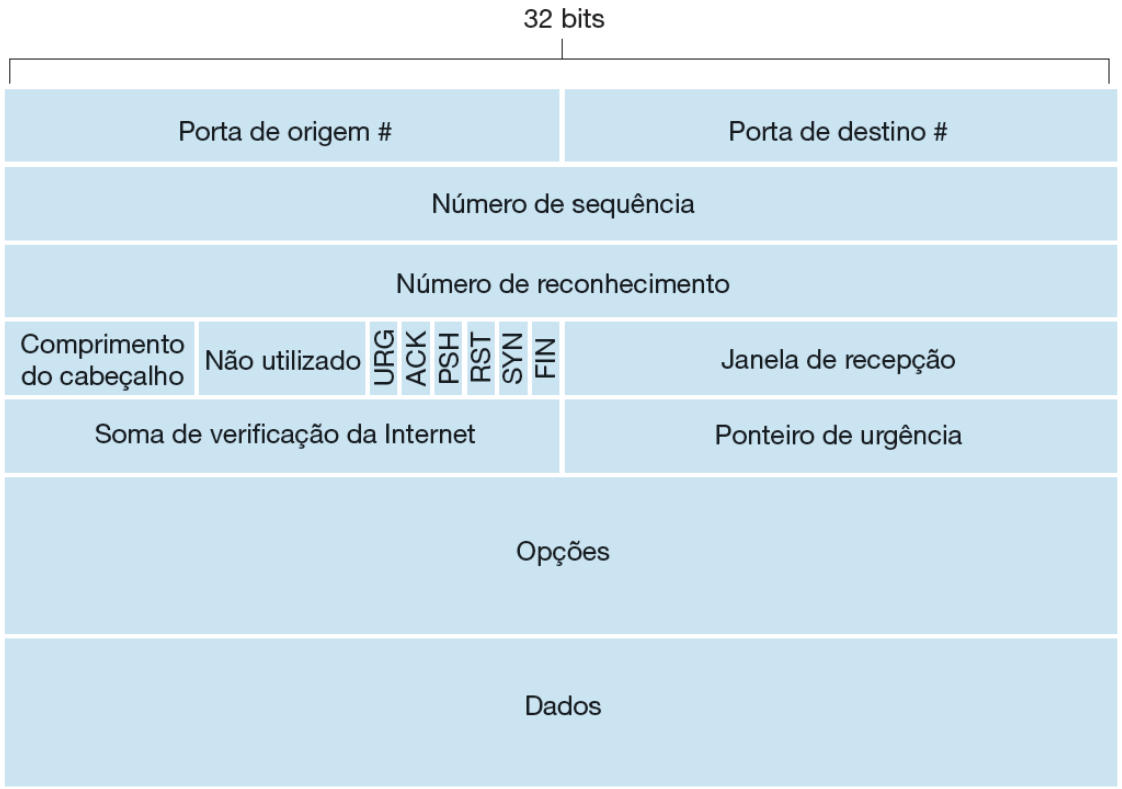
A conexão TCP

- Uma conexão TCP provê um **serviço *full-duplex***.
- A conexão TCP é sempre **ponto a ponto**.
- Uma vez estabelecida uma conexão TCP, dois processos de aplicação podem enviar dados um para o outro.
- O TCP combina cada porção de dados do cliente com um cabeçalho TCP, formando, assim, **segmentos TCP**.

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Estrutura do segmento TCP



Números de sequência e números de reconhecimento

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- O **número de sequência** para um segmento é o número do primeiro byte do segmento.
- O **número de reconhecimento** que o hospedeiro A atribui a seu segmento é o número de sequência do próximo byte que ele estiver aguardando do hospedeiro B.
- Como o TCP somente reconhece bytes até o primeiro byte que estiver faltando na cadeia, dizemos que o TCP provê **reconhecimentos cumulativos**.

Transferência confiável de dados

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- O TCP cria um **serviço de transferência confiável de dados** sobre o serviço de melhor esforço do IP.
- O serviço de transferência garante que a cadeia de bytes é idêntica à cadeia de bytes enviada pelo sistema final que está do outro lado da conexão.
- Os procedimentos recomendados no [RFC 6298] para gerenciamento de temporizadores TCP utilizam apenas um único temporizador de retransmissão.

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Controle de fluxo

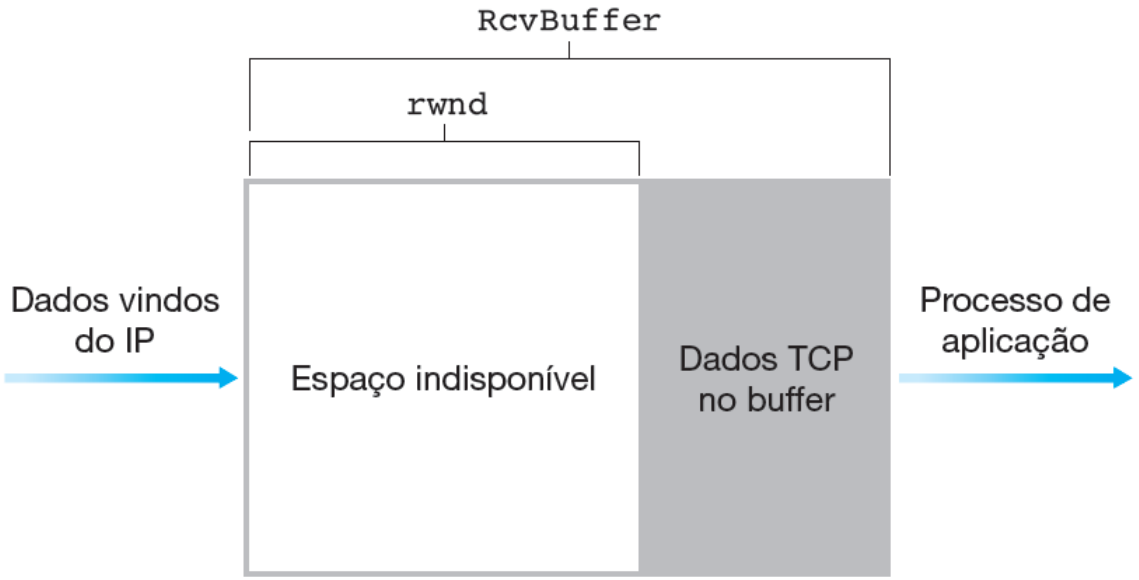
- O TCP provê um **serviço de controle de fluxo** às suas aplicações, para eliminar a possibilidade de o remetente estourar o buffer do destinatário.
- **Controle de fluxo** é um serviço de compatibilização de velocidades.
- O TCP oferece serviço de controle de fluxo fazendo que o remetente mantenha uma variável denominada **janela de recepção**.

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Controle de fluxo

- A janela de recepção (rwnd) e o buffer de recepção (RcvBuffer)



Gerenciamento da conexão TCP

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- O TCP no cliente estabelece uma conexão TCP com o TCP no servidor da seguinte maneira:

1. O lado cliente do TCP primeiro envia um segmento TCP especial ao lado servidor do TCP.

2. Assim que o datagrama IP contendo o segmento TCP SYN chega ao hospedeiro servidor, o servidor extrai o segmento TCP SYN do datagrama, aloca buffers e variáveis TCP à conexão e envia um segmento de aceitação de conexão ao TCP cliente.

Gerenciamento da conexão TCP

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

3. Ao receber o segmento SYNACK, o cliente também reserva buffers e variáveis para a conexão.

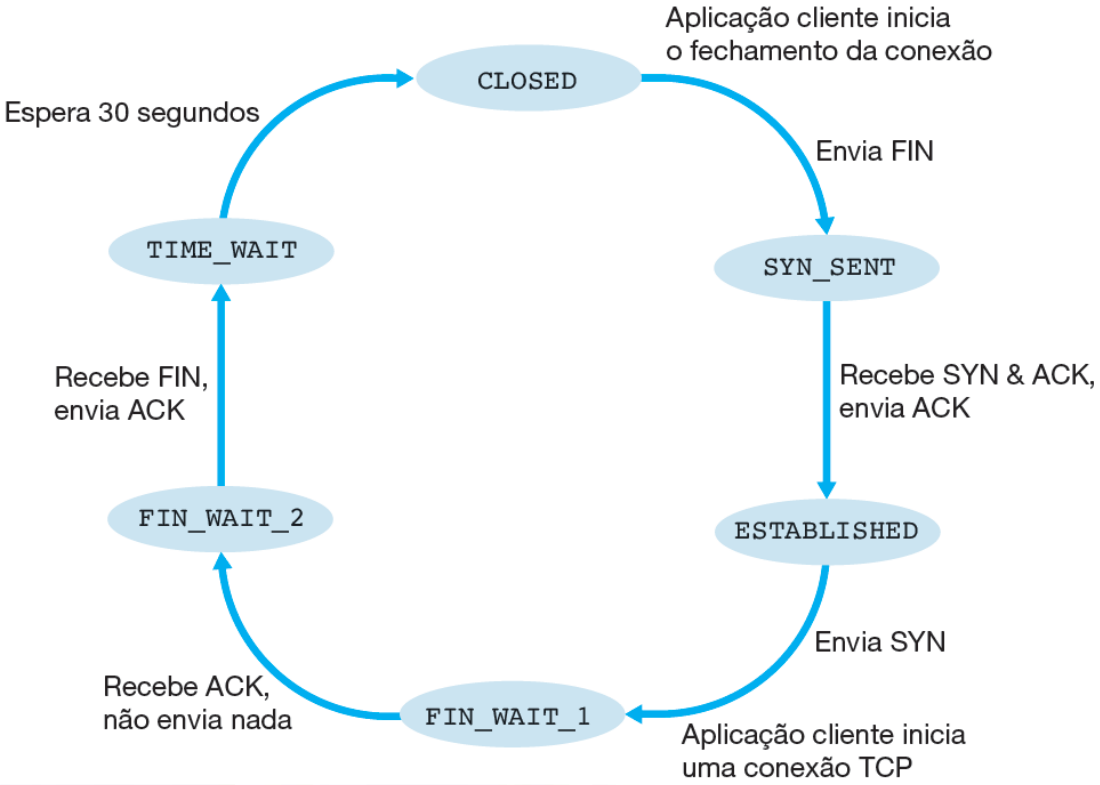
- Completadas as três etapas, os hospedeiros cliente e servidor podem enviar segmentos contendo dados um ao outro.

- Durante a vida de uma conexão TCP, o protocolo TCP que roda em cada hospedeiro faz transições pelos vários estados do TCP.

- A figura a seguir ilustra uma sequência típica de estados do TCP visitados pelo TCP cliente.

Gerenciamento da conexão TCP

- Uma sequência típica de estados do TCP visitados por um TCP cliente:



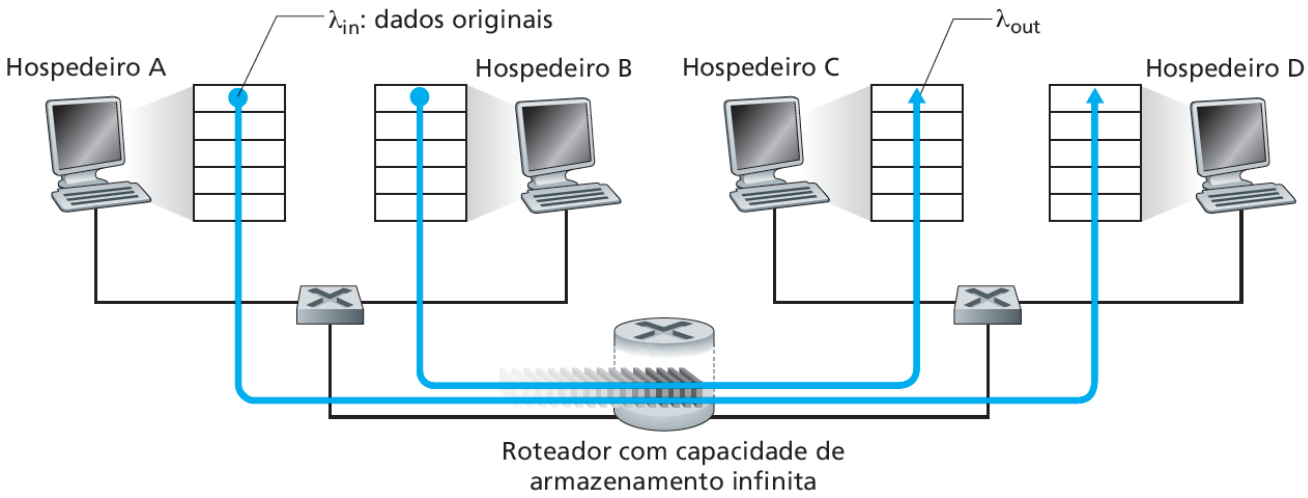
KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Princípios de controle de congestionamento

- As causas e os custos do congestionamento:

Cenário de congestionamento 1: duas conexões compartilhando um único roteador com número infinito de buffers.



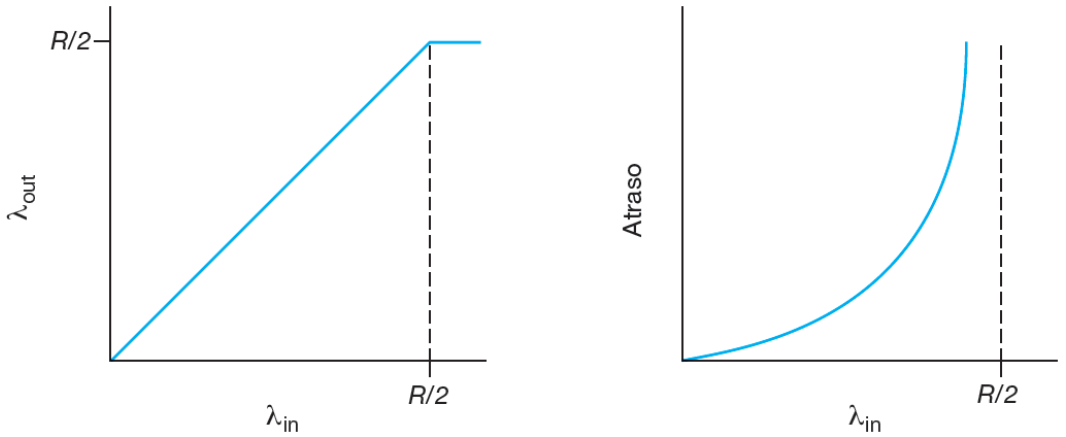
KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Princípios de controle de congestionamento

- As causas e os custos do congestionamento:

Cenário de congestionamento 1: vazão e atraso em função da taxa de envio do hospedeiro.



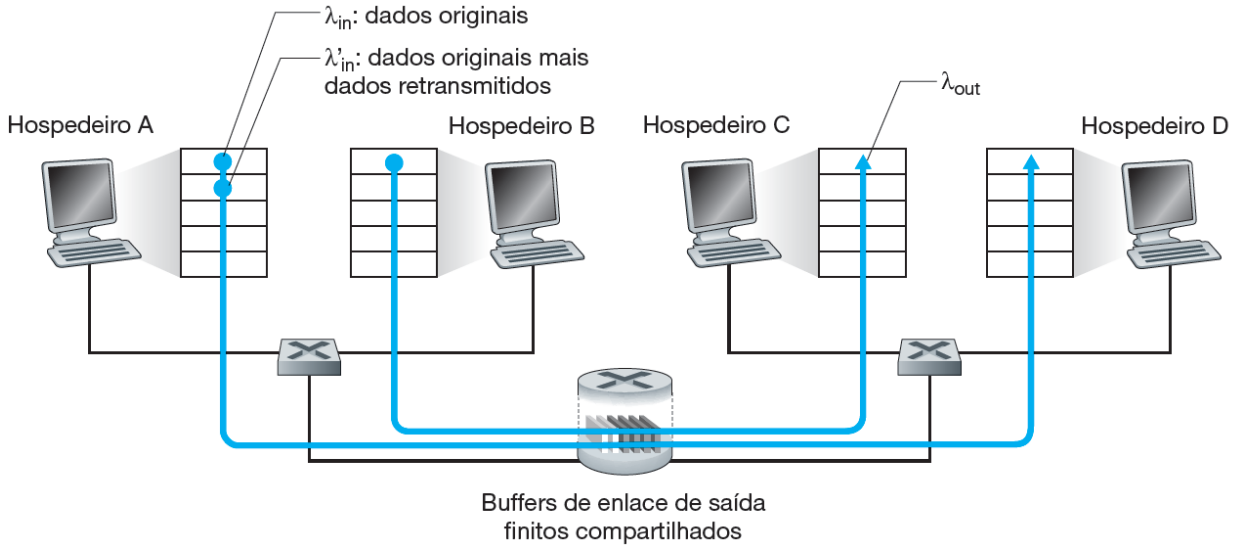
KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Princípios de controle de congestionamento

- As causas e os custos do congestionamento:

Cenário 2: dois hospedeiros (com retransmissões) e um roteador com buffers finitos.



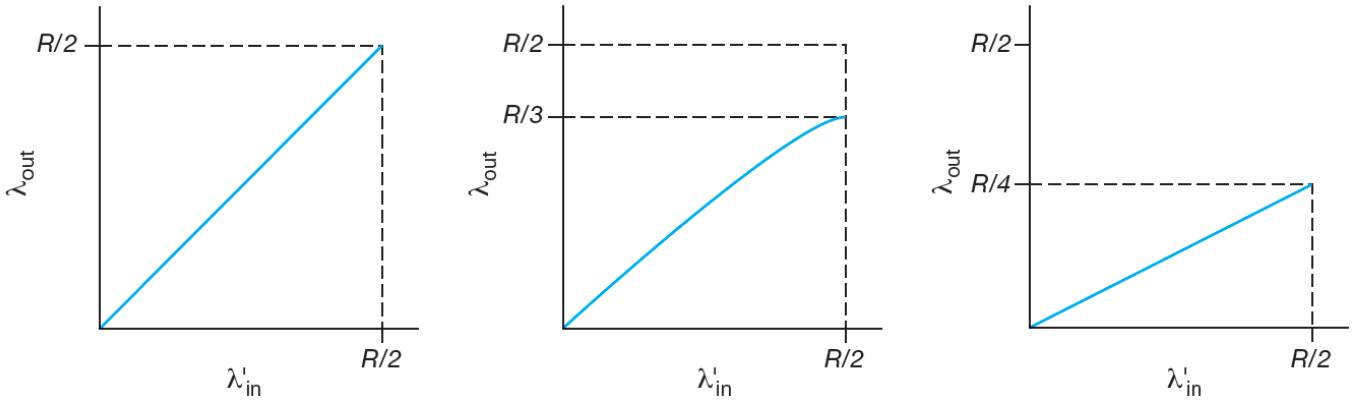
KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Princípios de controle de congestionamento

- As causas e os custos do congestionamento:

Desempenho no cenário 2 com buffers finitos.



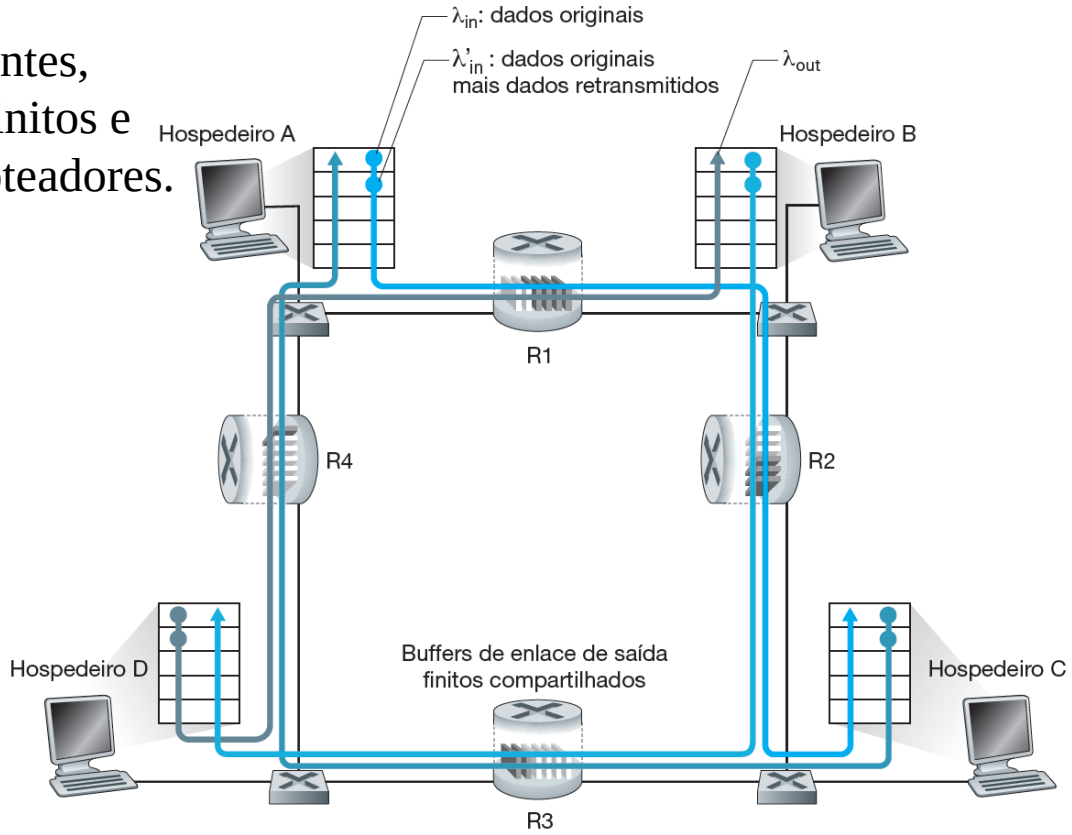
KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Princípios de controle de congestionamento

- As causas e os custos do congestionamento:

Cenário 3: quatro remetentes, roteadores com buffers finitos e trajetos com múltiplos roteadores.



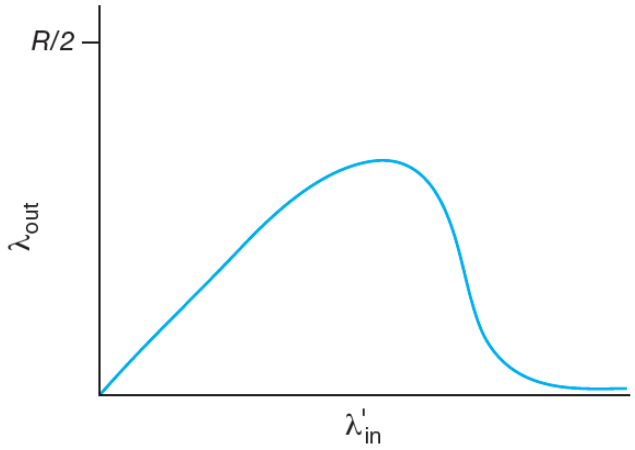
Princípios de controle de congestionamento

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- As causas e os custos do congestionamento:

Desempenho obtido no cenário 3, com buffers finitos e trajetos com múltiplos roteadores.



Mecanismos de controle de congestionamento

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Controle de congestionamento fim a fim:

- A camada de rede não fornece nenhum suporte explícito à camada de transporte com a finalidade de controle de congestionamento.

Controle de congestionamento assistido pela rede:

- Os componentes da camada de rede (isto é, roteadores) fornecem retroalimentação específica de informações ao remetente a respeito do estado de congestionamento na rede.

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Controle de congestionamento no TCP

- A abordagem adotada pelo TCP é obrigar cada remetente a limitar a taxa à qual enviam tráfego para sua conexão como uma função do congestionamento de rede percebido.
- Se um remetente TCP perceber que há pouco congestionamento no caminho entre ele e o destinatário, aumentará sua taxa de envio.
- Se perceber que há congestionamento, reduzirá sua taxa de envio.

Controle de congestionamento no TCP

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

- Mas essa abordagem levanta três questões:

1. Como um remetente TCP limita a taxa pela qual envia tráfego para sua conexão?

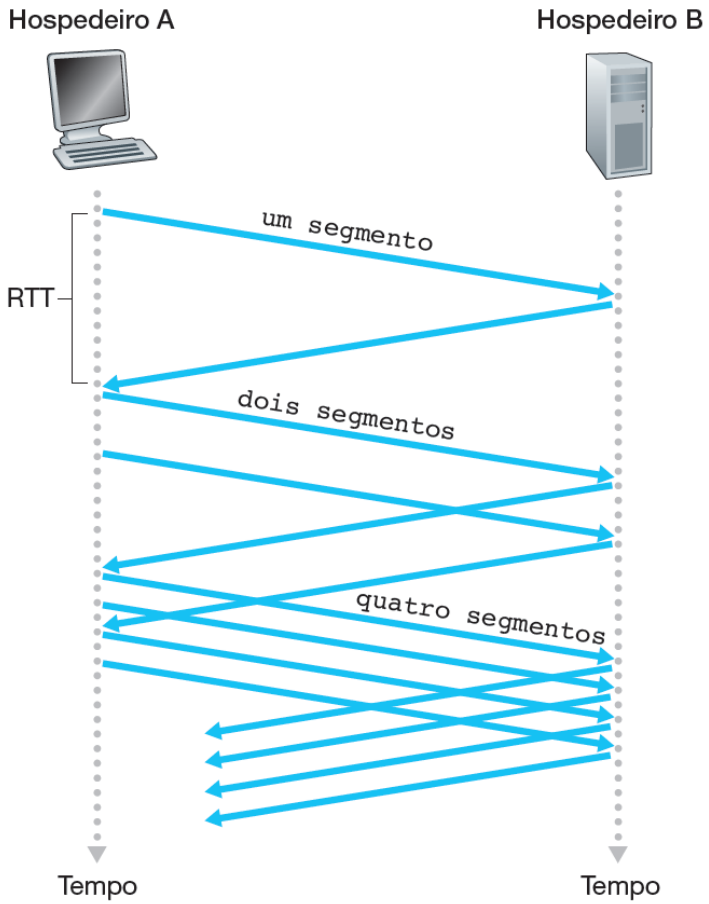
2. Como um remetente TCP percebe que há congestionamento entre ele e o destinatário?

3. Que algoritmo o remetente deve utilizar para modificar sua taxa de envio como uma função do congestionamento fim a fim percebido?

KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

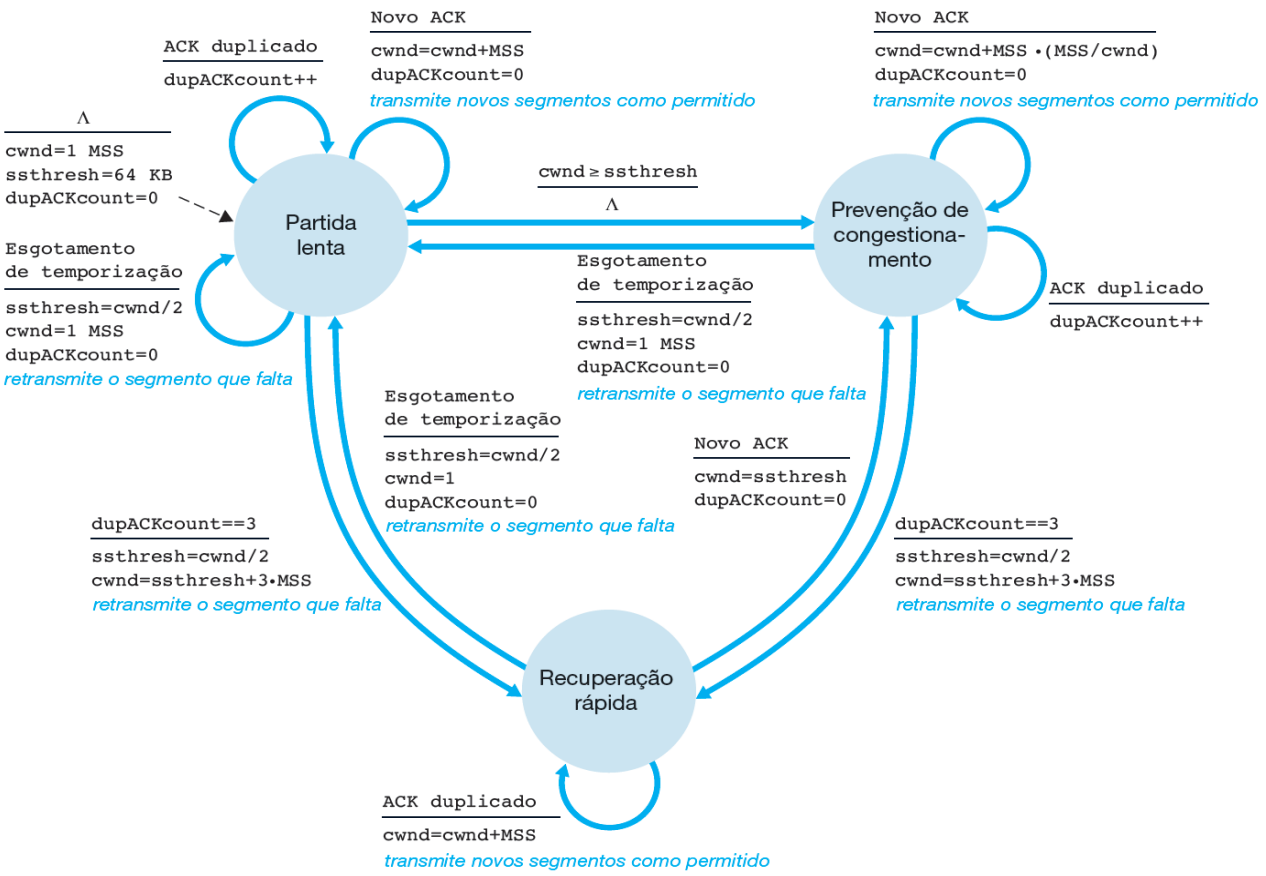
Partida lenta



- Partida lenta TCP

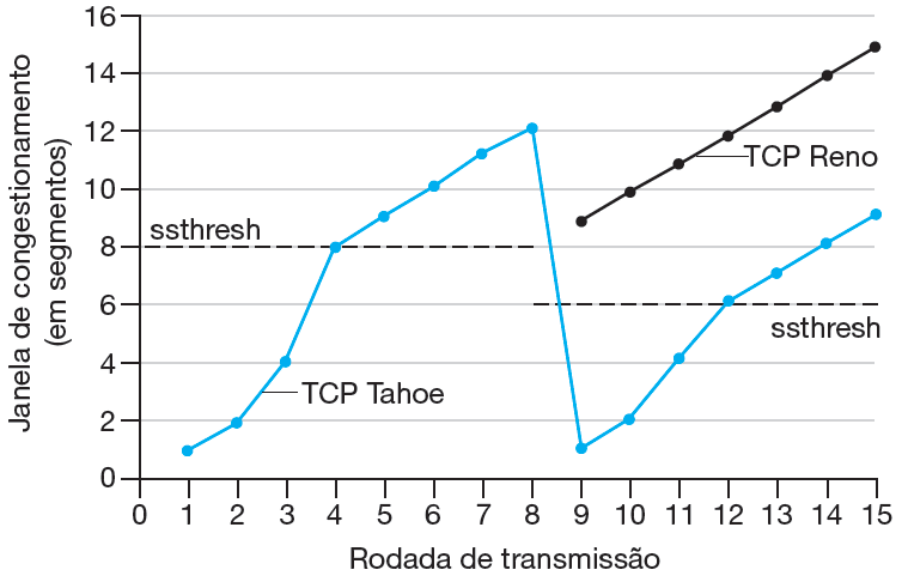
Prevenção de congestionamento

- Descrição FSM do controle de congestionamento no TCP



Recuperação rápida

- Evolução da janela de congestionamento do TCP (Tahoe e Reno)

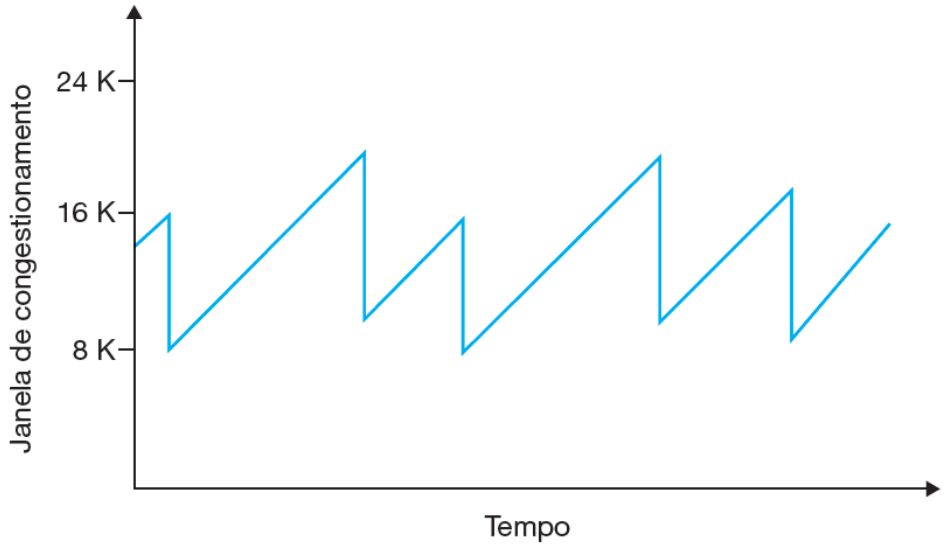


KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

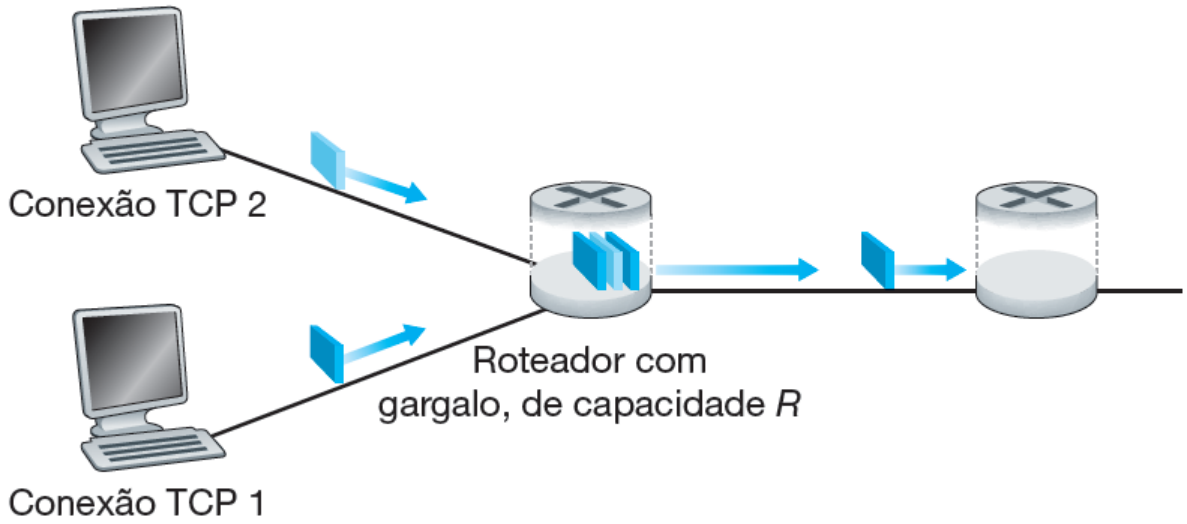
Controle de congestionamento no TCP: retrospectiva

- O controle de congestionamento AIMD faz surgir o comportamento semelhante a "dentes de serra":



Equidade

- Duas conexões TCP compartilhando um único enlace congestionado



KUROSE | ROSS
Redes de computadores e a internet
uma abordagem top-down

6ª edição

Equidade

- Vazão alcançada pelas conexões TCP 1 e TCP 2