

Redes de Computadores

Camada de Enlace de Dados

Kalinka Regina Lucas Jaquie Castelo Branco

Controle de Enlace Ponto-a-Ponto

- ❑ Um transmissor, um receptor, um link: mais fácil que um enlace broadcast:
 - não há Controle de Acesso ao Meio
 - não há necessidade de endereçamento MAC explícito
 - ex., enlace discado, linha ISDN
- ❑ protocolos ponto-a-ponto populares para camada de enlace:
 - PPP (point-to-point protocol)
 - HDLC: High level data link control (A camada de enlace costumava ser considerada de alto nível na pilha de protocolos!)

PPP Requisitos de Projeto [RFC 1557]

- ❑ **Enquadramento de pacote:** encapsulamento do datagrama da camada de rede no quadro da camada de enlace
 - transporta dados da camada de rede de qualquer protocolo de rede (não apenas o IP) *ao mesmo tempo*
 - capacidade de separar os protocolos na recepção
- ❑ **transparência de bits:** deve transportar qualquer padrão de bits no campo de dados
- ❑ **detecção de erros** (mas não correção)
- ❑ **gerenciamento da conexão:** detecta, e informa falhas do enlace para a camada de rede
- ❑ **negociação de endereço da camada de rede:** os pontos terminais do enlace podem aprender e configurar o endereço de rede

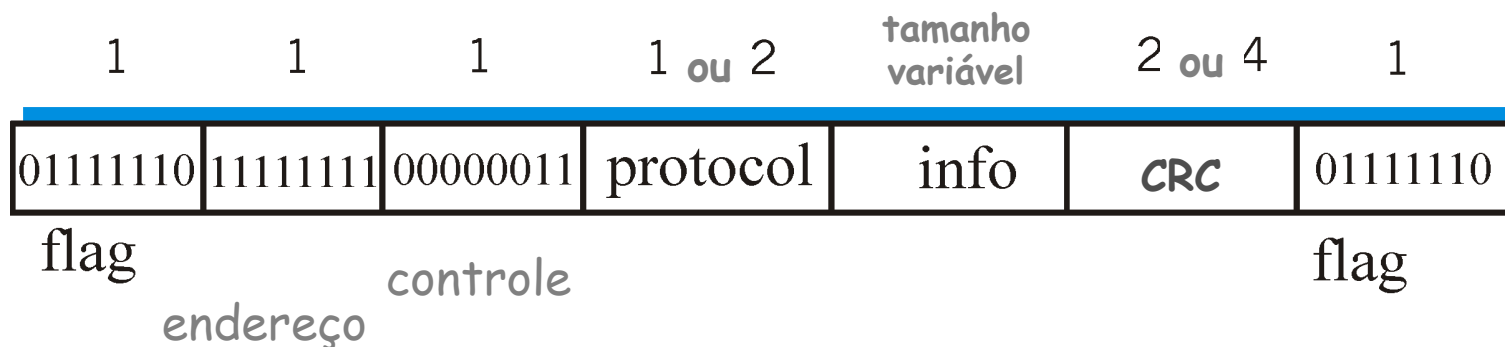
PPP não-requisitos

- ❑ não há correção nem recuperação de erros
- ❑ não há controle de fluxo
- ❑ aceita entregas fora de ordem (embora seja pouco comum)
- ❑ não há necessidade de suportar enlaces multiponto (ex., polling)

Recuperação de erros, controle de fluxo, re-ordenação dos dados são todos relegados para as camadas mais altas!

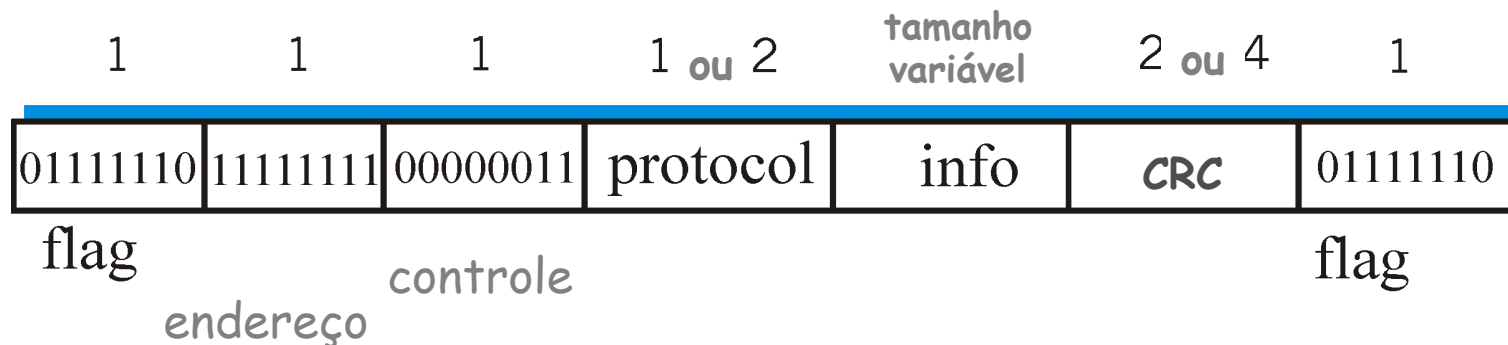
PPP Formato do Quadro

- ❑ **Flag:** delimitador (enquadramento)
- ❑ **Endereço:** não tem função (apenas uma opção futura)
- ❑ **Controle:** não tem função; no futuro é possível ter múltiplos campos de controle
- ❑ **Protocolo:** indica o protocolo da camada superior ao qual o conteúdo do quadro deve ser entregue (ex. PPP-LCP, IP, IPCP, etc.)



PPP Formato dos dados

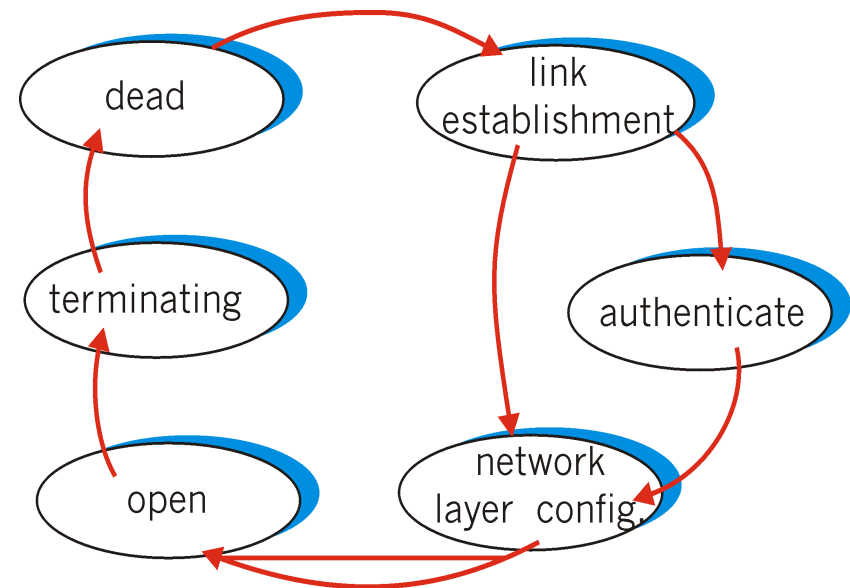
- ❑ **info:** dados da camada superior sendo transportados
- ❑ **CRC:** verificação de redundância cíclica para detecção de erros

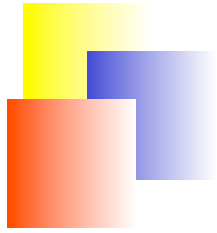


PPP Protocolo de Controle de Dados

Antes de trocar dados da camada de rede, os parceiros da camada de enlace devem

- ❑ **configurar o enlace PPP** (tamanho máximo do quadro, autenticação)
- ❑ **aprender/configurar** as informações da camada de rede
 - para o IP: transportar mensagens do Protocolo de Controle IP (IPCP) (campo de protocolo: 8021) para configurar/ aprender os endereços IP

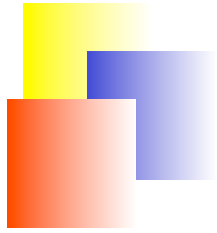




Protocolos da Camada de Enlace (HDLC)

EXEMPLO

- **HDLC** (*High-level Data link Control*)
 - É uma evolução do protocolo SDLC (*Synchronous Data Link Control*) desenvolvido pela IBM
 - Padronizado pela ISO
 - O ITU-T modificou o HDLC para o seu LAPB (*Link Access Procedure Balanced*) utilizado no X.25
-



Protocolos Orientados a Bits

Formato do Quadro HDLC

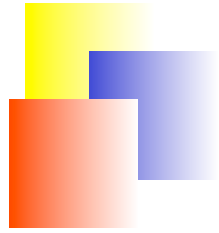
EXEMPLO

O **High Level Data Link Control (HDLC)** foi padronizado pela ISO em 1979, ele é considerado o pai de todos os protocolos de nível 2.

- Orientado a bit, início e fim de frame
- Numero de sequência
- CRC

A partir de sua generalidade foram definidos diversos protocolos de nível 2 para algumas arquiteturas de redes específicas, baseados em subconjuntos funcionais do HDLC.

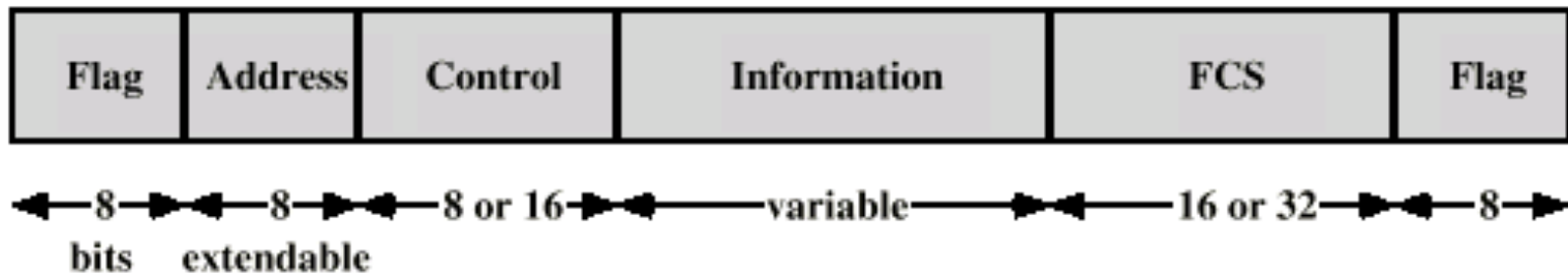
- LAP-B de redes X.25 (ex.: RENPAC),
 - LAP-D para redes ISDN,
 - LAP-M para modems inteligentes,
 - LLC (*Logical Link Control*) do IEEE-802.2 para redes locais
-

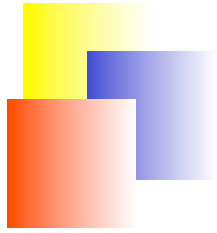


Protocolos Orientados a Bits

Formato do Quadro HDLC

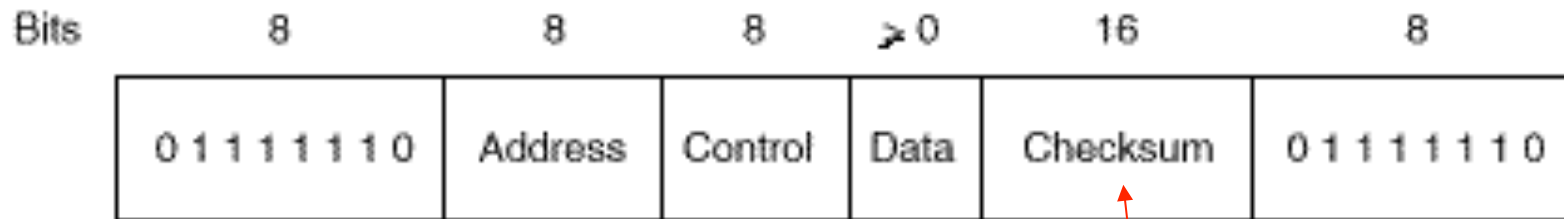
EXEMPLO





Protocolos Orientados a Bits

Formato do Quadro HDLC



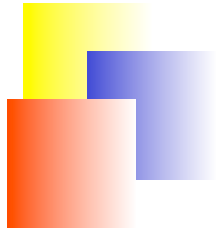
Flags

Endereço: usado para identificar terminais em canais multiponto ou para distinguir comandos de respostas.

CRC-CCITT

Dados: de comprimento variável.

Controle: inclui nos. de sequência, reconhecimentos, etc.



Protocolos Orientados a Bits

Quadro HDLC

Campo de Controle

Quadro de Informação:

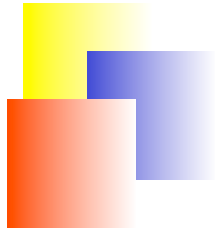
1	3	1	3
0	Seq	P/F	Next

Quadro de Supervisão:

1	0	Type	P/F	Next
---	---	------	-----	------

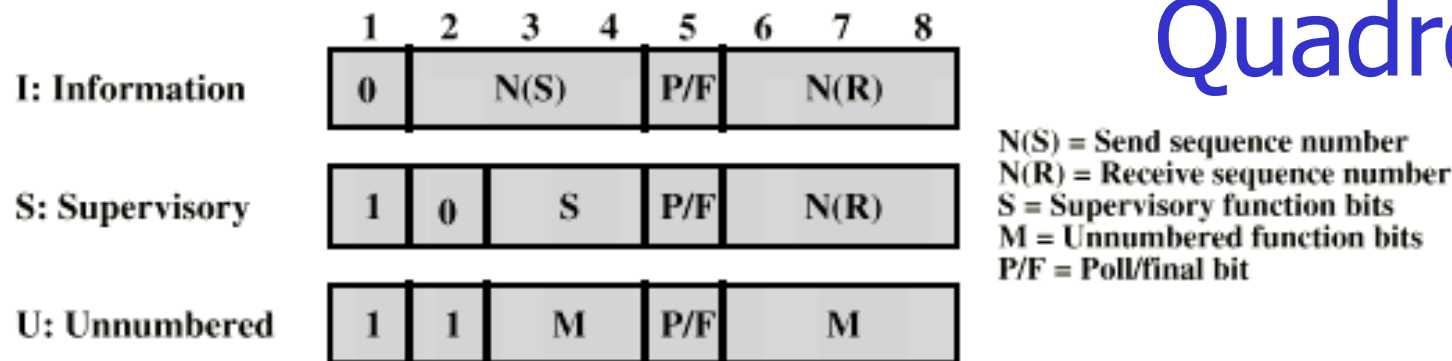
Quadro Não Numerado:

1	1	Type	P/F	Modifier
---	---	------	-----	----------



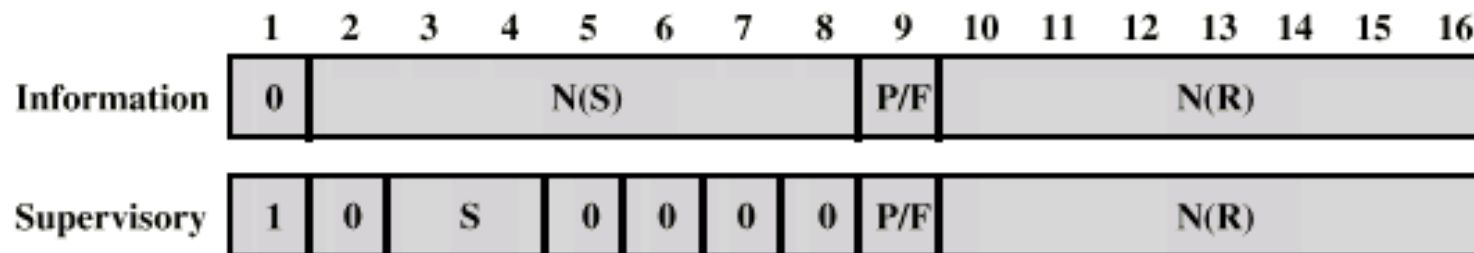
Protocolos Orientados a Bits

Quadro HDLC

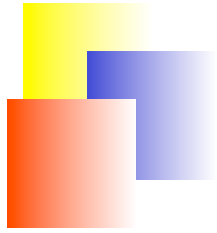


(c) 8-bit control field format

Campo de Controle

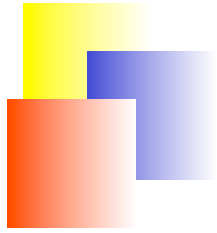


(d) 16-bit control field format



Quadros de Supervisão

- Tipo 0: quadro de reconhecimento positivo (*RR - Receive Ready*)
 - Tipo 1: quadro de reconhecimento negativo (*REJ - REJect*)
 - Tipo 2: quadro de reconhecimento (*RNR - Receive Not Ready*)
 - Tipo 3: quadro de rejeição seletiva (*SREJ - Selective Reject*)
-



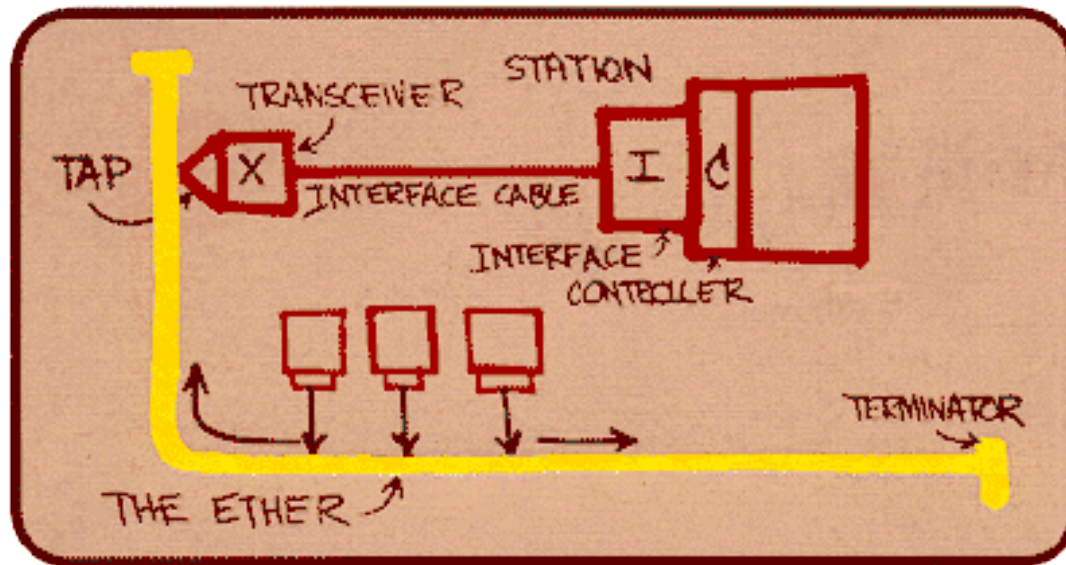
Quadros Não Numerados

- DISC (*DISConnect*)
 - SNRM (*Set Normal Response Mode*)
 - SABM (*Set Asynchronous Balanced Mode*)
 - FRMR (*FRaMe Reject*)
 - UA (*Unnumbered Acknowledgment*)
-

Ethernet

Tecnologia de rede local “dominante” :

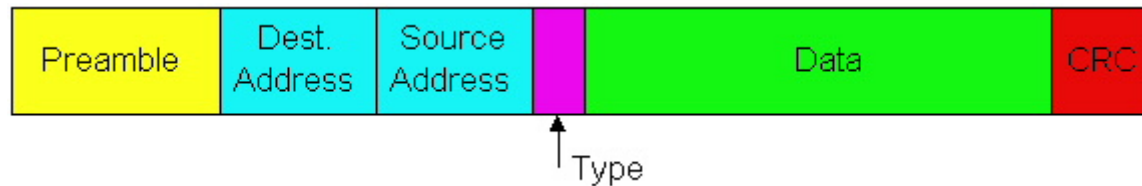
- ❑ barato R\$30 por 100Mbps!
- ❑ primeira tecnologia de LAN largamente usada
- ❑ Mais simples, e mais barata que LANs com token e ATM
- ❑ Velocidade crescente: 10, 100, 1000 Mbps



Esboço da Ethernet
por Bob Metcalf

Estrutura do Quadro Ethernet

Adaptador do transmissor encapsula o datagrama IP (ou outro pacote de protocolo da camada de rede) num **quadro Ethernet**

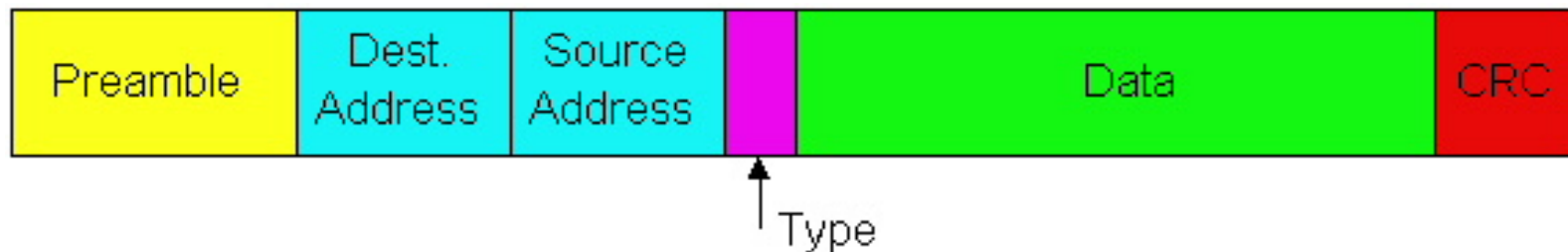


Preâmbulo:

- ❑ 7 bytes com padrão 10101010 seguido por um byte com padrão 10101011
- ❑ usado para sincronizar as taxas de relógio do transmissor e do receptor

Estrutura do Quadro Ethernet (mais)

- ❑ **Endereços:** 6 bytes, quadro é recebido por todos os adaptadores e descartado se o endereço do quadro não coincide com o endereço do adaptador
- ❑ **Tipo:** indica o protocolo da camada superior, geralmente é o protocolo IP mas outros podem ser suportados tais como Novell IPX e AppleTalk)
- ❑ **CRC:** verificado no receptor, se um erro é detectado, o quadro é simplesmente descartado.



Ethernet: usa CSMA/CD

A: examina canal, **se** em silêncio

então {

transmite e monitora o canal;

Se detecta outra transmissão

então {

aborta e envia sinal de “jam”;

atualiza número de colisões;

espera como exigido pelo algoritmo “exponential
backoff”;

vá para A

}

senão {quadro transmitido; zera contador de colisões}

}

senão {espera até terminar a transmissão em curso **vá para A**}

Ethernet CSMA/CD (mais)

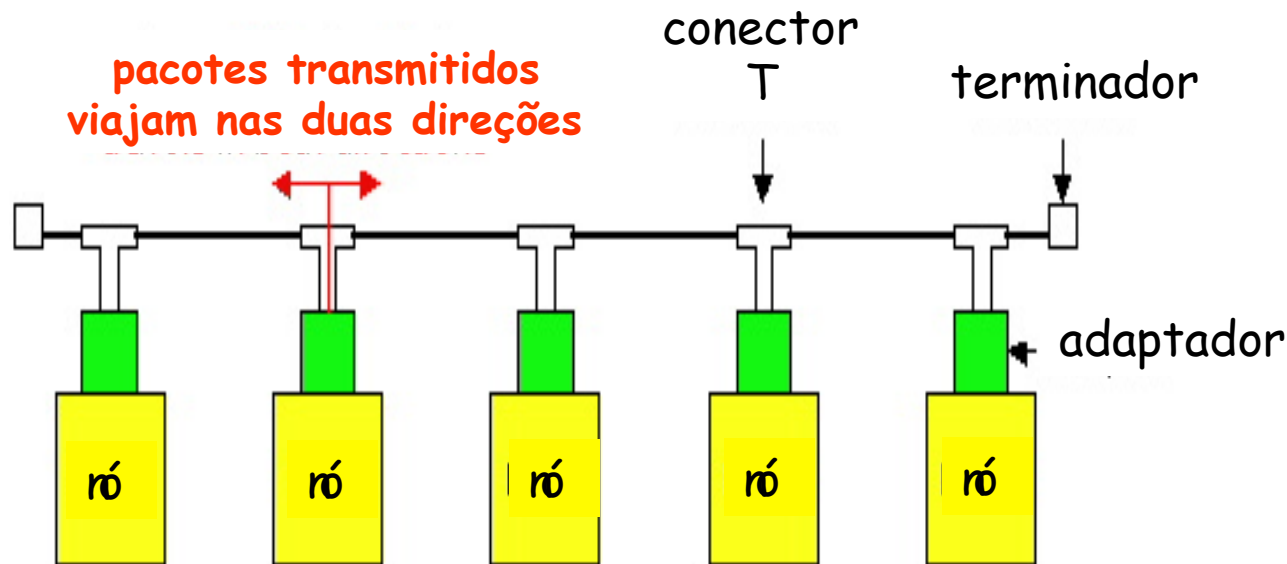
Sinal “Jam”: garante que todos os outros transmissores estão cientes da colisão; 48 bits;

“Exponential Backoff”:

- ❑ **Objetivo:** adaptar tentativas de retransmissão para carga atual da rede
 - carga pesada: espera aleatória será mais longa
- ❑ primeira colisão: escolha K entre {0,1}; espera é K x 512 tempos de transmissão de bit
- ❑ após a segunda colisão: escolha K entre {0,1,2,3}...
- ❑ após 10 ou mais colisões, escolha K entre {0,1,2,3,4, ...,1023}

Tecnologias Ethernet: 10Base2

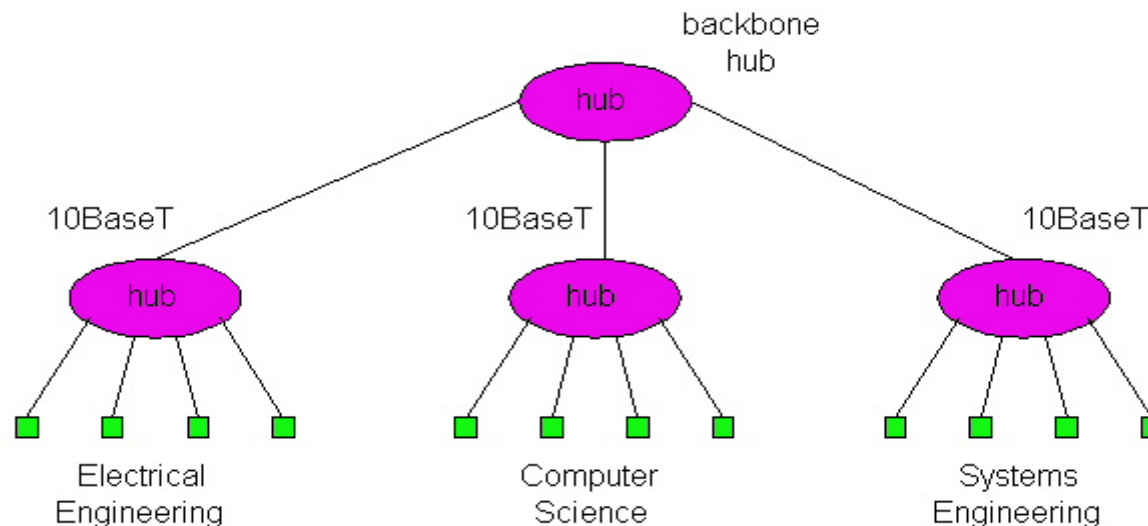
- ❑ 10: 10Mbps; 2: comprimento máximo do cabo de 200 metros (de fato, 186 metros)
- ❑ cabo coaxial fino numa topologia em barramento



- ❑ repetidores são usados para conectar múltiplos segmentos
- ❑ repetidor repete os bits que ele recebe numa interface para as suas outras interfaces: atua somente na camada física!

10BaseT e 100BaseT

- ❑ taxa de 10/100 Mbps; chamado mais tarde de “fast ethernet”
- ❑ T significa “Twisted Pair” (par trançado)
- ❑ Os nós se conectam a um hub por um meio físico em “par trançado”, portanto trata-se de uma “topologia em estrela”
- ❑ CSMA/CD implementado no hub

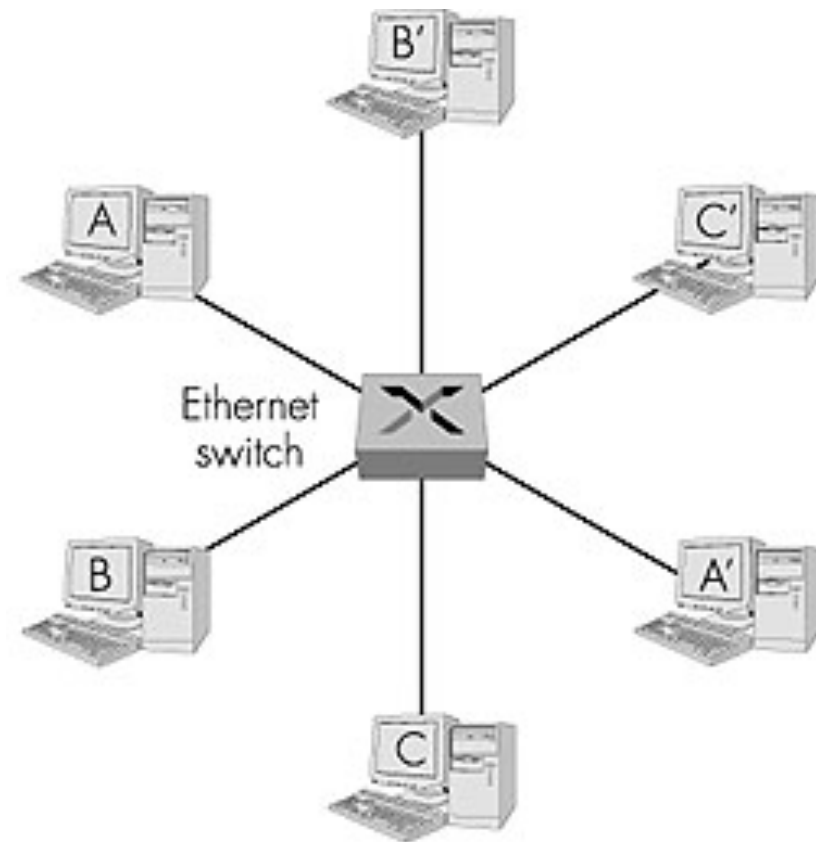


10BaseT e 100BaseT (mais)

- ❑ Máxima distância do nó ao hub é de 100 metros
- ❑ Hub pode desconectar um adaptador que não para de transmitir (“jabbering adapter”)
- ❑ Hub pode coletar e monitorar informações e estatísticas para apresentação ao administradores da LAN

Ethernet Switches

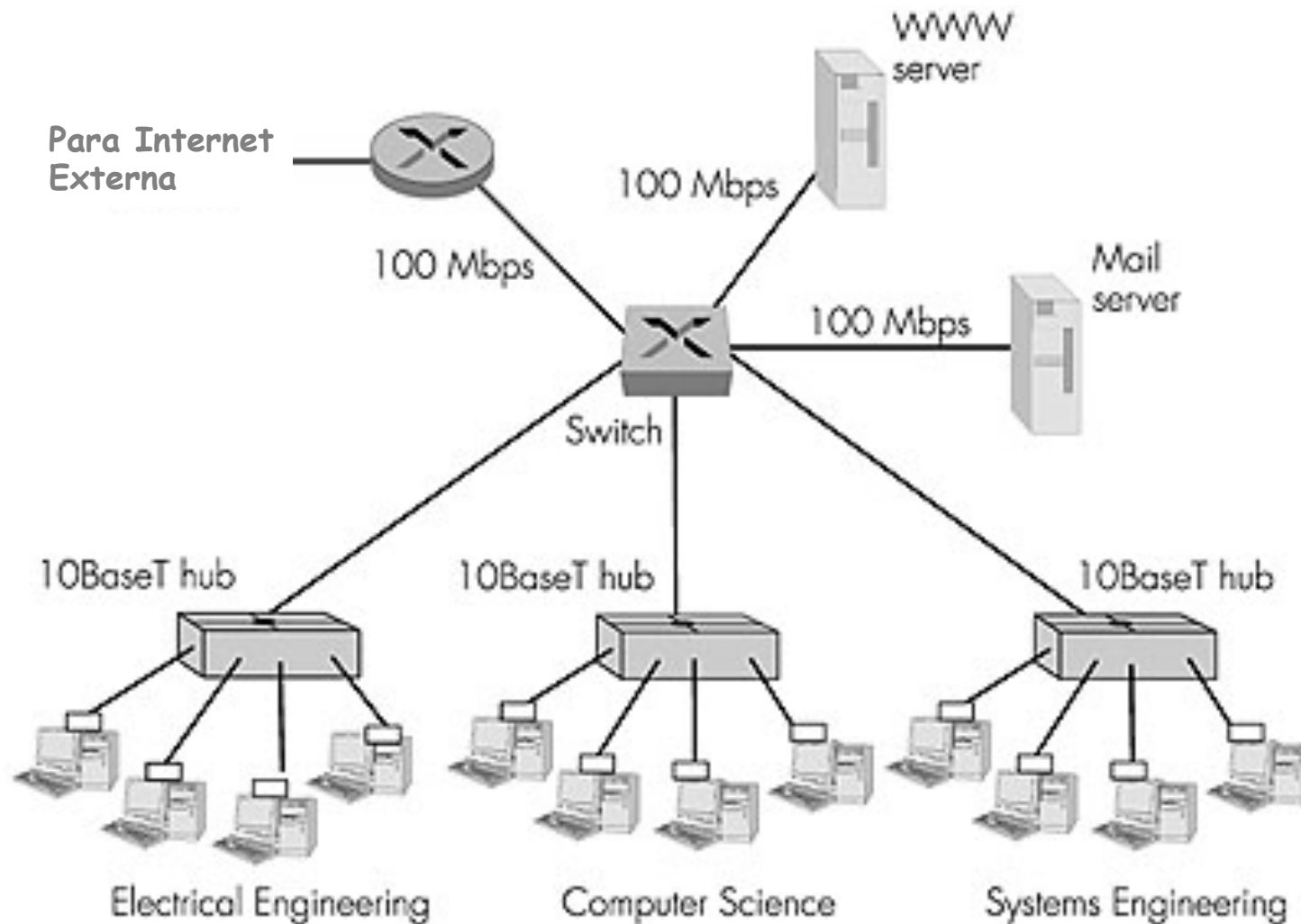
- ❑ Transmissão em camada 2 (quadros) com filtragem usando endereços de LAN
- ❑ **Switching:** A-para-B e A'-para-B' simultaneamente, sem colisões
- ❑ grande número de interfaces
- ❑ muitas vezes: hosts individuais são conectados em estrela no switch (1 host para cada porta)
 - Ethernet, mas sem colisões!



Ethernet Switches

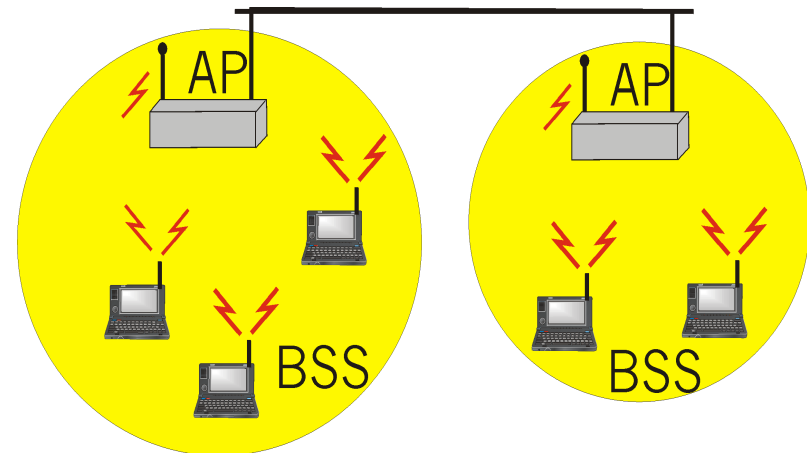
- ❑ **cut-through switching:** o quadro é enviado da entrada para a saída sem esperar pela montagem do quadro inteiro
 - pequena redução da latência
- ❑ combinações de interfaces de 10/100/1000 Mbps, dedicadas e compartilhadas

Ethernet Switches (mais)



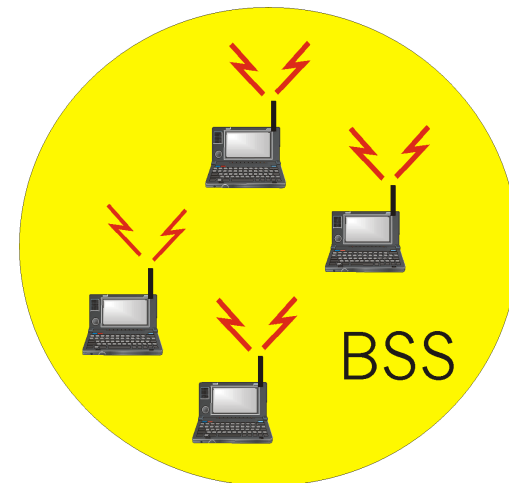
IEEE 802.11 Wireless LAN

- ❑ wireless LANs: rede sem fio (frequentemente móvel)
- ❑ padrão IEEE 802.11 :
 - protocolo MAC
 - espectro de frequência livre: 900Mhz, 2.4Ghz
- ❑ **Basic Service Set (BSS)** (igual a uma “célula”) contém:
 - **wireless hosts**
 - **access point (AP):** estação base
- ❑ **BSS's** se combinam para formar um sistema distribuído (**DS**)



Redes Ad Hoc

- ❑ **Rede Ad hoc:** estações IEEE 802.11 podem dinamicamente formar uma rede **sem** AP
- ❑ Aplicações:
 - “laptop” encontrando-se numa sala de conferência, interconexão de equipamentos “pessoais”, rodovia inteligente
 - campo de batalha
- ❑ IETF MANET
(Mobile Ad hoc Networks)
working group



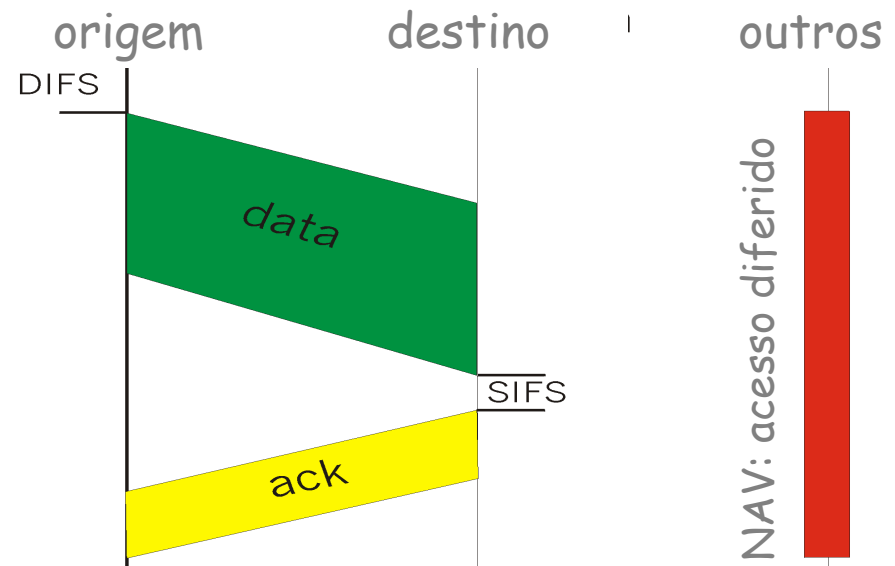
IEEE 802.11 Protocolo MAC: CSMA/CA

802.11 CSMA: transmissor

- se o canal é sentido vazio por **DIFS** segundos
então envia o quadro inteiro (não há detecção de colisão)
- se o canal é sentido ocupado
Então binary backoff

802.11 CSMA receptor:

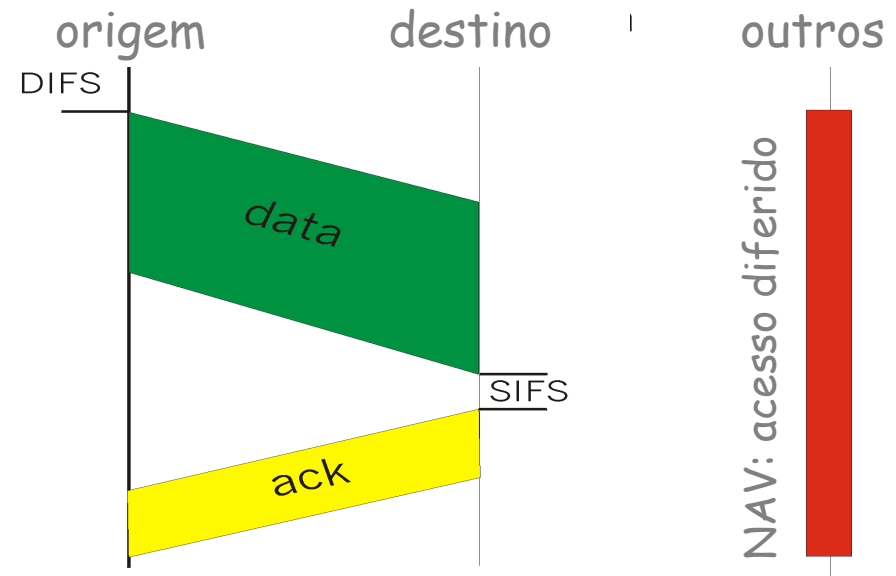
- se o quadro é recebido OK
retorna ACK depois de **SIFS** segundos



IEEE 802.11 MAC Protocol

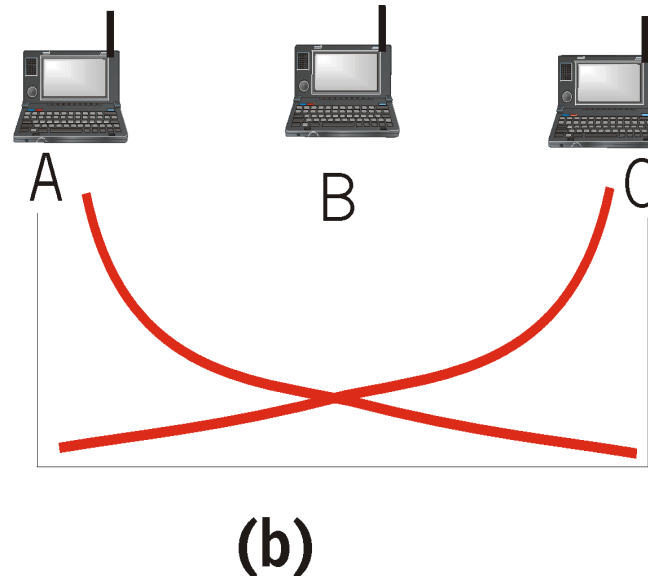
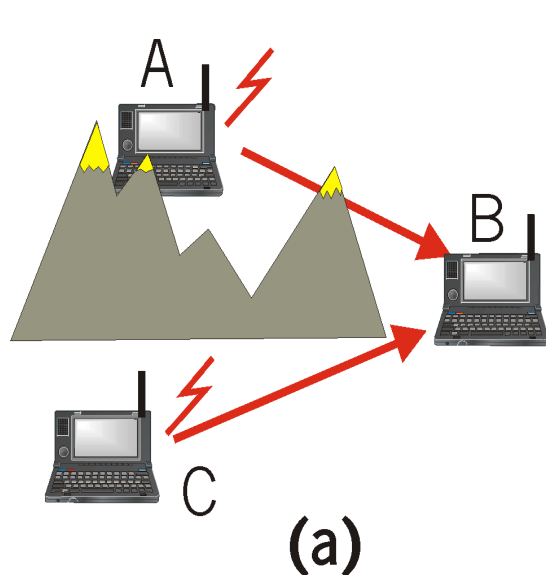
Protocolo 802.11 CSMA: outras estações

- ❑ **NAV:** Network Allocation Vector
- ❑ quadro 802.11 tem campo com tempo de transmissão
- ❑ outros (ouvindo a rede) deferem o acesso por NAV unidades de tempo



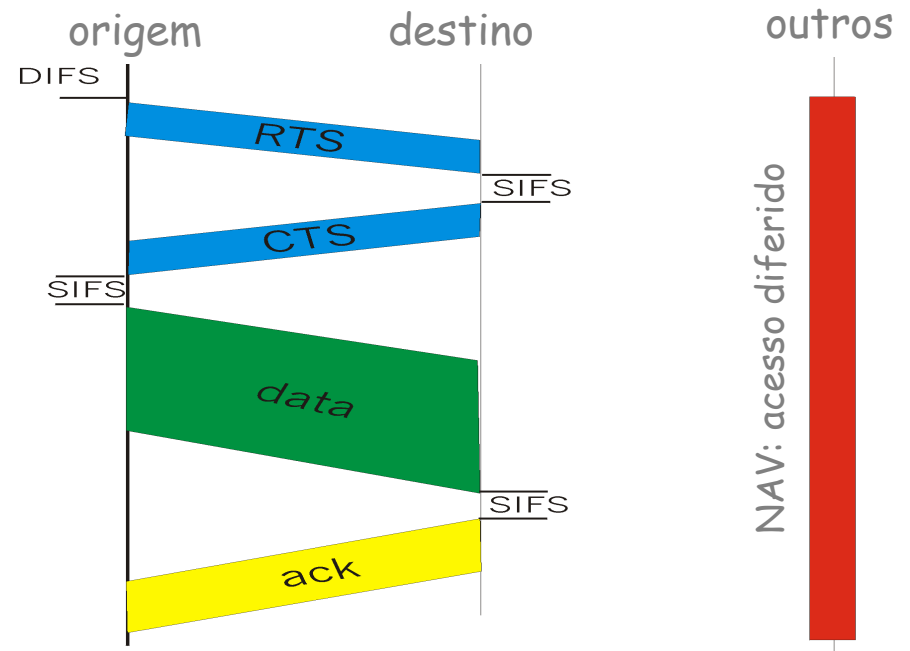
Efeito do Terminal Oculto

- ❑ **Terminais ocultos:** A, C não podem ouvir um ao outro
 - obstáculos (a) , atenuação do sinal (b)
 - colisões em B
- ❑ **objetivo:** evitar colisões em B
- ❑ **CSMA/CA:** CSMA with Collision Avoidance



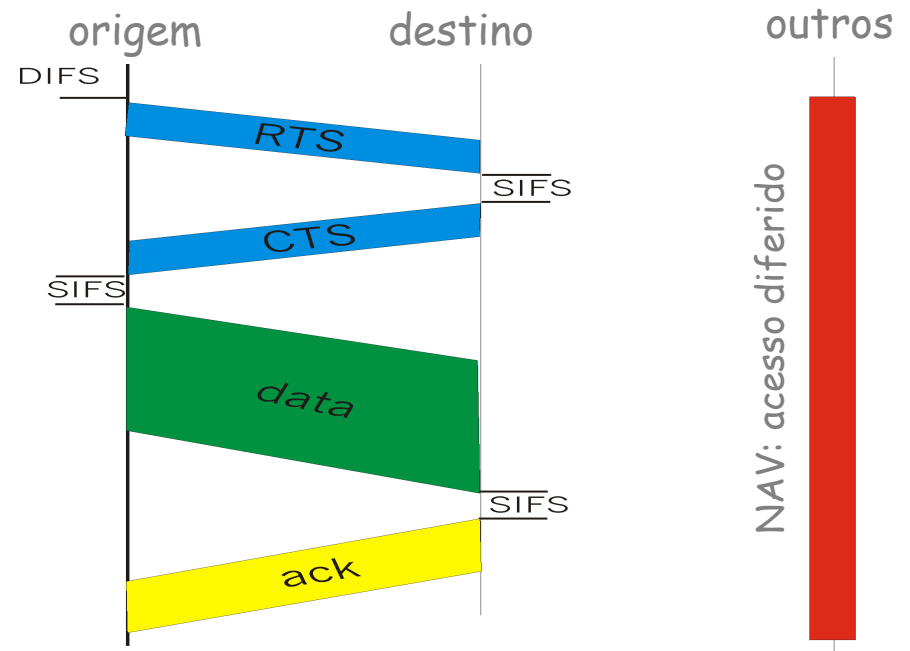
Collision Avoidance: Troca de RTS-CTS

- ❑ CSMA/CA: reserva explícita de canal
 - transmissor: envia RTS curto: request to send
 - receptor: responde com um CTS: clear to send
- ❑ CTS reserva o canal para o transmissor, notificando as outras estações (possivelmente ocultas)
- ❑ evita colisões com estações ocultas



Collision Avoidance: troca de RTS-CTS

- ❑ RTS e CTS curtos:
 - colisões são menos prováveis e de duração menor
 - resultado final é similar a detecção de colisão
- ❑ IEEE 802.11 permite:
 - CSMA
 - CSMA/CA: reservas
 - polling a partir do AP



Resumo

- ❑ princípios por trás dos serviços da camada de enlace:
 - detecção e correção de erros
 - compartilhando um canal broadcast: acesso múltiplo
 - endereçamento da camada de enlace, ARP
- ❑ várias tecnologias da camada de enlace
 - Ethernet
 - hubs, pontes, switches
 - IEEE 802.11 LANs
 - PPP
- ❑ viagem através da pilha de protocolos agora *Está apenas começando!!!!*
 - próxima parada: camada de rede!!!!