

Redes de Computadores

Camada de Enlace:
Protocolos ponto-a-ponto

Prof. Rodrigo de Souza Couto

Camada de Enlace

- Relembrando...
 - Tipos diferentes de canais de comunicação:
 - **Canal ponto-a-ponto**
 - Uma estação em cada extremidade
 - Requer controle simples de acesso
 - » Exs.: Redes de acesso domiciliares e redes entre roteadores
 - **Canal de difusão (broadcast)**
 - Várias estações conectadas ao mesmo canal
 - Requer controle de acesso ao meio para coordenar as transmissões
 - » Ex. rede sem-fio

Camada de Enlace

- Por que a lembrança dos tipos de canal é importante?
- O tipo de canal teria alguma influência sobre o protocolo de comunicação?

Camada de Enlace

- Por que a lembrança dos tipos de canal é importante?
- O tipo de canal teria alguma influência sobre o protocolo de comunicação?

A resposta é SIM!

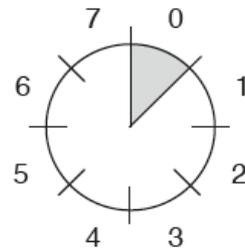
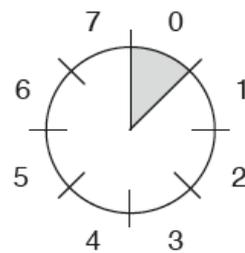
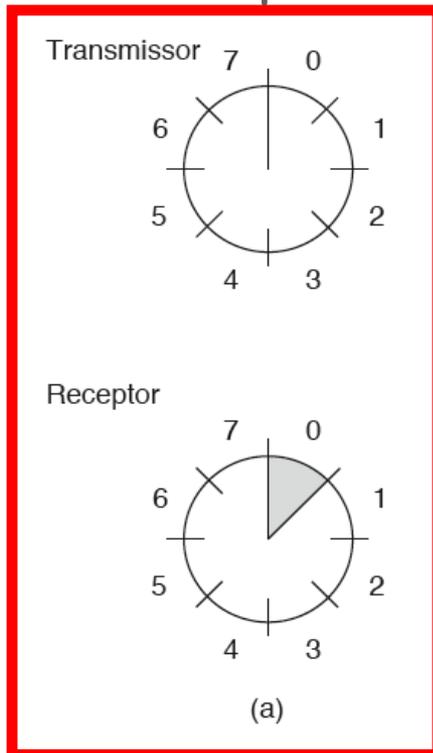
Principalmente em um canal de difusão, o acesso ao meio precisa ser controlado.

Protocolos de Janela Deslizante

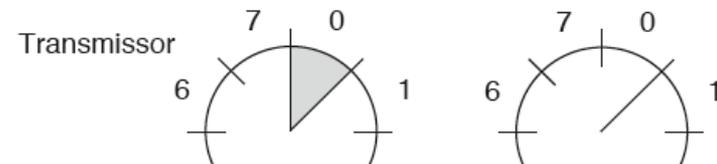
- Enviam quadros identificados por números de sequência
 - Pode variar de 0 até um valor máximo
 - Valor máximo = $2^n - 1$, onde n é o número de bits
- Transmissores mantêm um conjunto de números de sequência relacionados a quadros que ele pode enviar
 - Quadros pertencem à janela de transmissão
- Receptores também mantêm um conjunto de números de sequência relacionados a quadros que pode aceitar
 - Quadros pertencem à janela de recepção

Protocolos de Janela Deslizante

- Conjunto de números de sequência é alterado à medida que:
 - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
 - Receptores recebem quadros



(b)



(c)

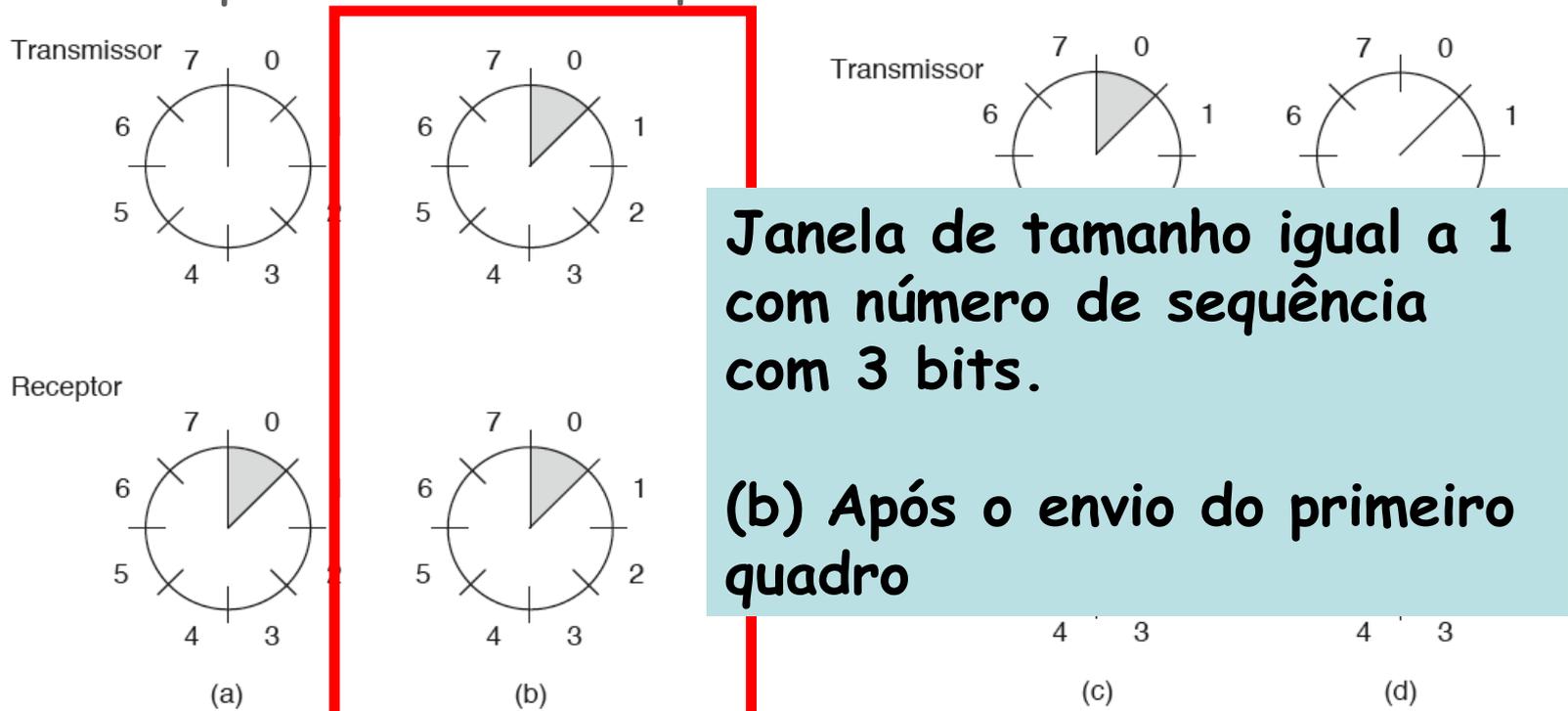
(d)

Janela de tamanho igual a 1 com número de sequência com 3 bits.

(a) Situação inicial

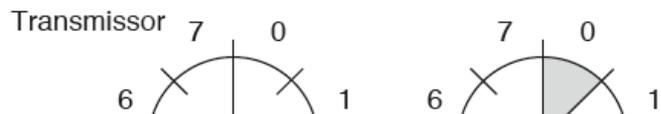
Protocolos de Janela Deslizante

- Conjunto de números de sequência é alterado à medida que:
 - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
 - Receptores recebem quadros



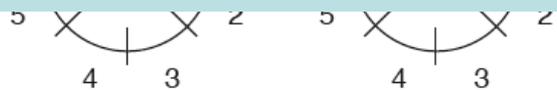
Protocolos de Janela Deslizante

- Conjunto de números de sequência é alterado à medida que:
 - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
 - Receptores recebem quadros



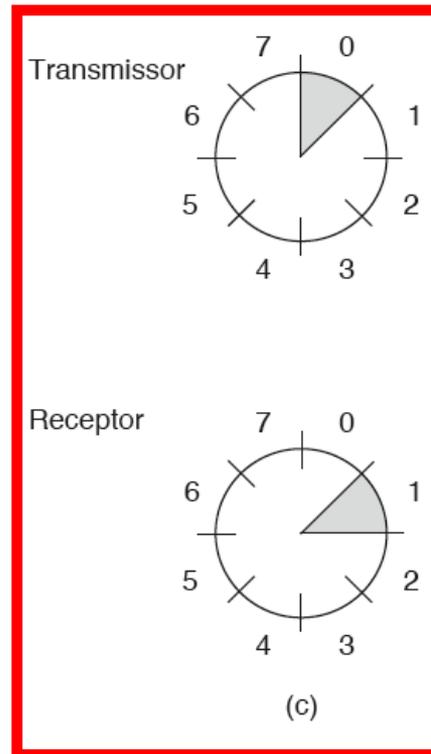
Janela de tamanho igual a 1 com número de sequência com 3 bits.

(c) Após receber o primeiro quadro

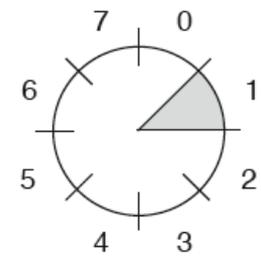
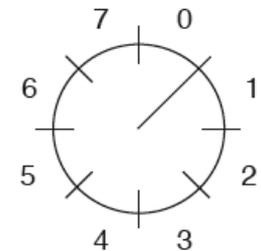


(a)

(b)



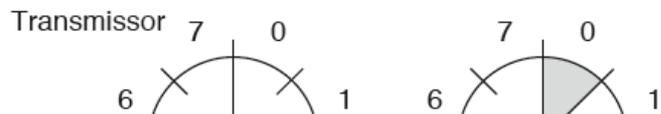
(c)



(d)

Protocolos de Janela Deslizante

- Conjunto de números de sequência é alterado à medida que:
 - Transmissores recebem os reconhecimentos positivos
 - Receptores recebem quadros



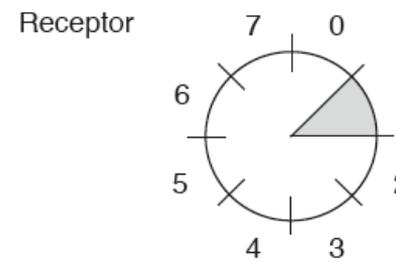
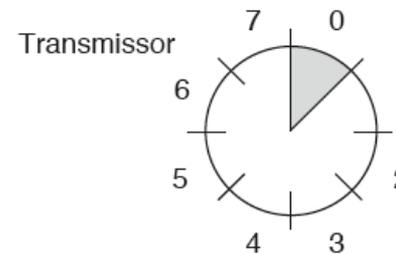
Janela de tamanho igual a 1 com número de sequência com 3 bits.

(d) Após receber o primeiro reconhecimento

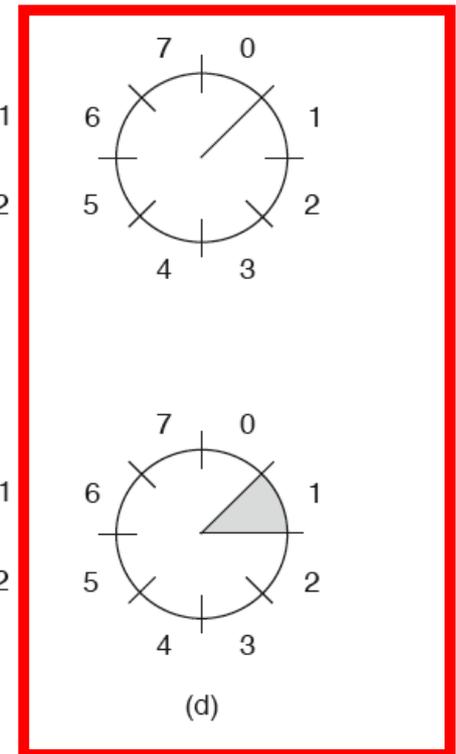


(a)

(b)



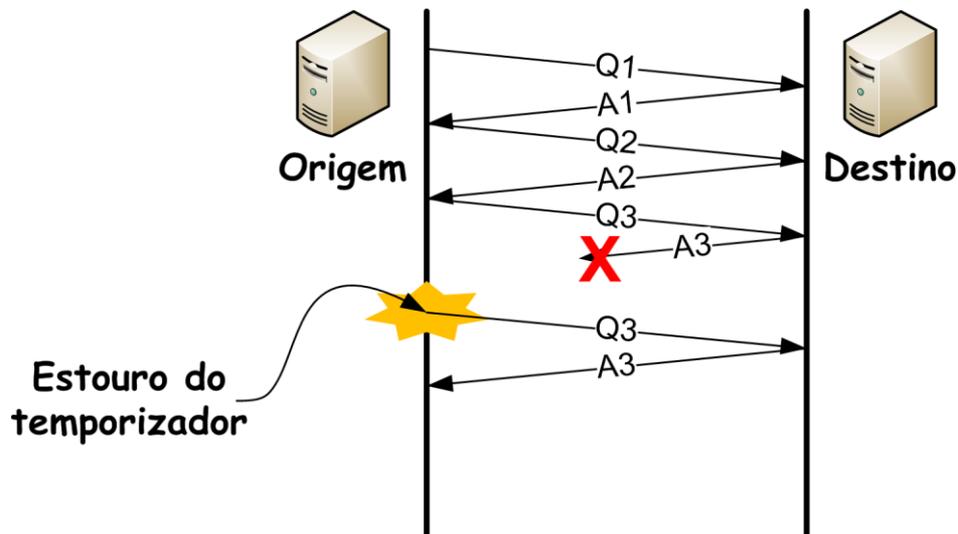
(c)



(d)

Tipos de Protocolos

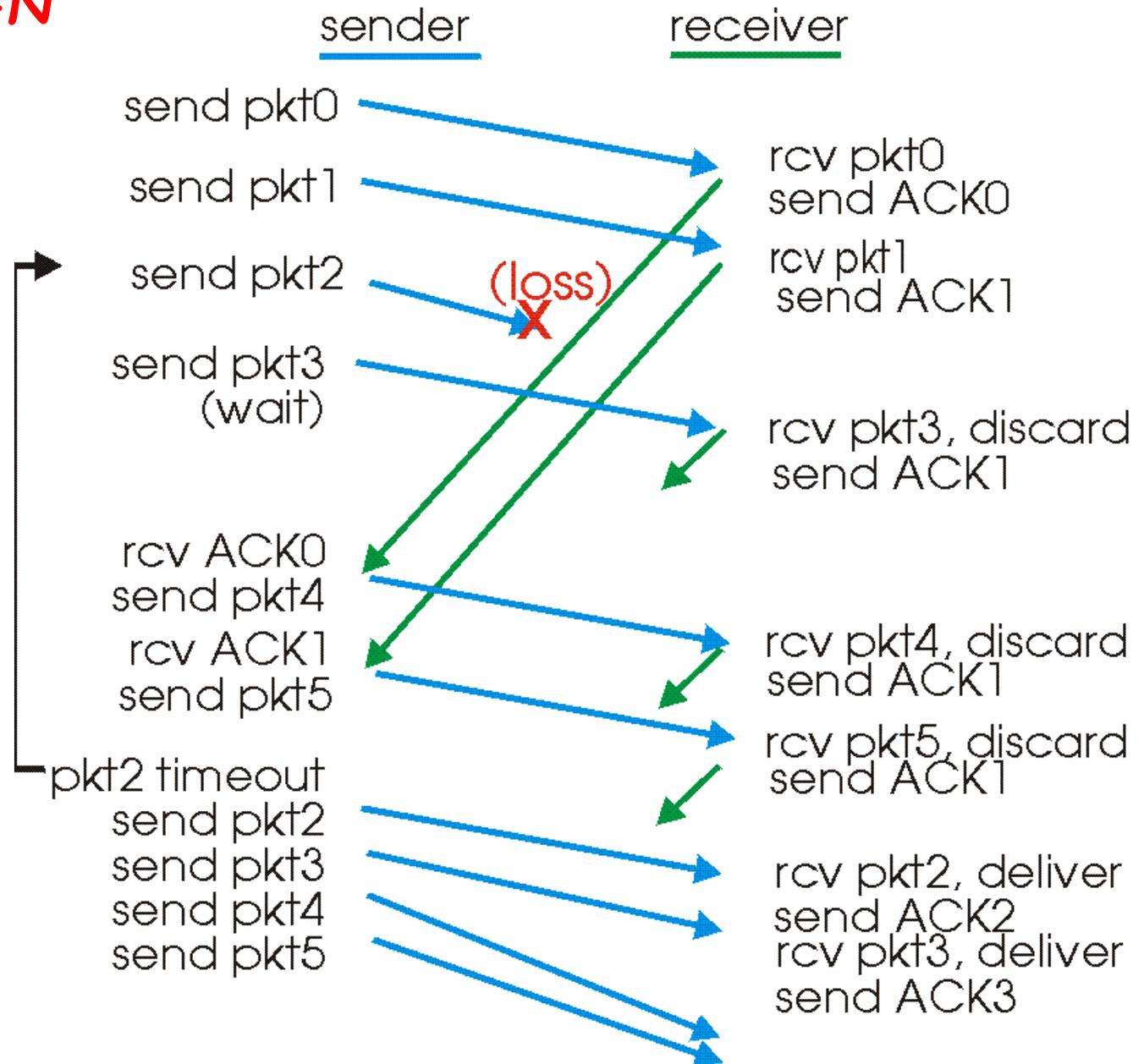
- Pare e Espere (*Stop-and-Wait*)
 - Transmissor só pode enviar um quadro por vez
 - Janela de transmissão e de recepção são iguais a 1
 - Próximo quadro só pode ser transmitido após a recepção do reconhecimento positivo (ACK) do atual



Tipos de Protocolos

- *Go Back N*
 - Transmissor pode enviar até N pacotes não reconhecidos (“em trânsito”)
 - Janelas de transmissão e de recepção são iguais a N
 - Receptor envia apenas ACKs cumulativos
 - Não reconhece pacote se houver falha de sequência
 - Transmissor possui um temporizador para o pacote mais antigo ainda não reconhecido
 - Se o temporizador estourar, retransmite todos os pacotes ainda não reconhecidos

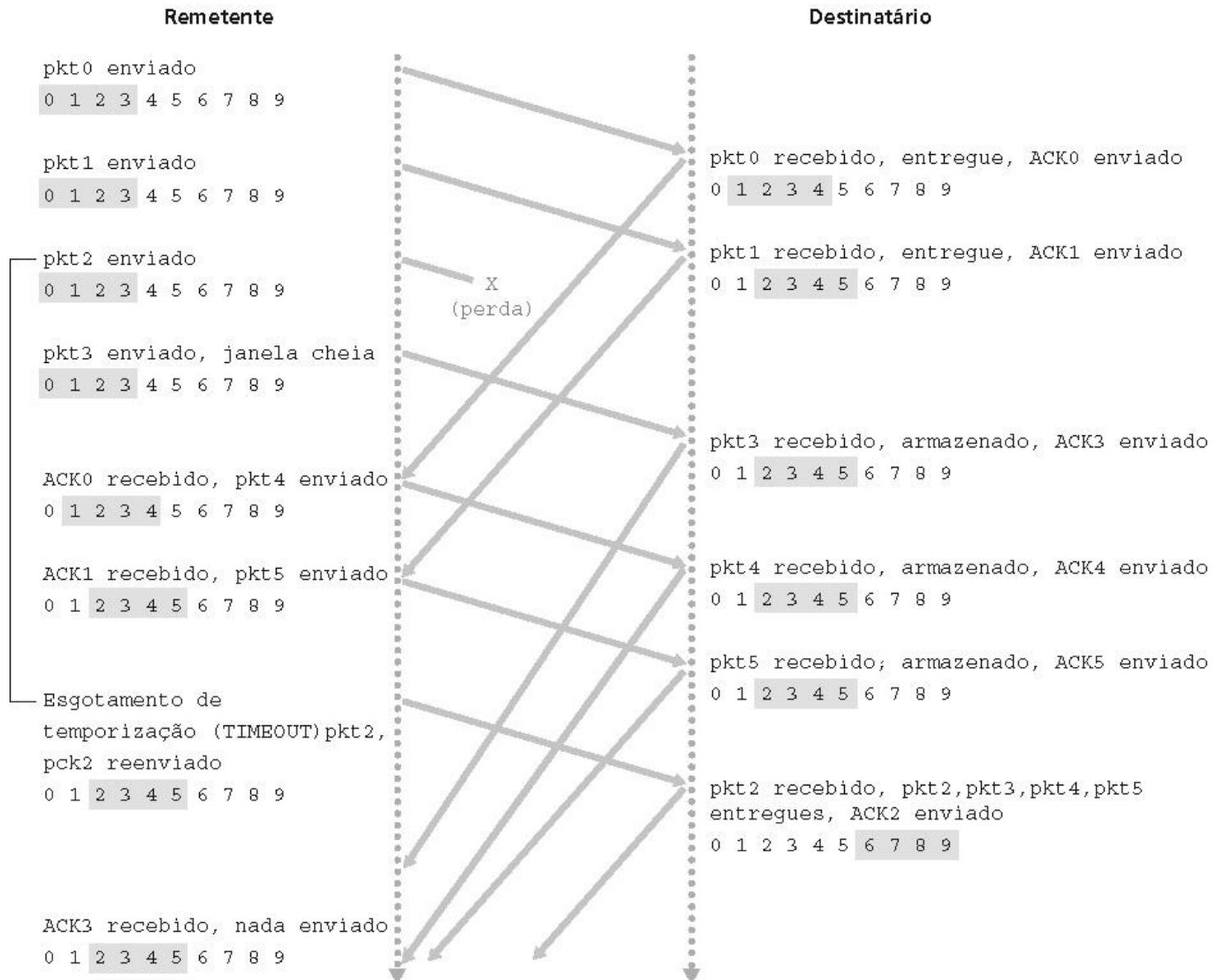
Go-Back-N



Tipos de Protocolos

- Retransmissão Seletiva
 - Receptor reconhece individualmente todos os pacotes recebidos corretamente
 - Armazena pacotes no buffer, conforme necessário, para posterior entrega ordenada à camada superior
 - Transmissor apenas reenvia pacotes para os quais um ACK não foi recebido
 - Temporizador no remetente para cada pacote sem ACK
 - Janela de transmissão
 - N números de sequência consecutivos
 - Outra vez limita números de sequência de pacotes enviados, mas ainda não reconhecidos

Retransmissão Seletiva



Protocolos de Camada de Enlace: Canal Ponto-a-Ponto

Controle de Enlace de Dados Ponto-a-Ponto

- Canal ponto-a-ponto
 - Um transmissor, um receptor, um canal
 - Mais fácil que um canal de difusão
 - Sem controle de acesso ao meio (MAC)
 - Sem necessidade de endereçamento MAC explícito
 - Entretanto, precisa de enquadramento, controle de fluxo, detecção e correção de erro etc.
 - Ex.: canal discado, canal ADSL, enlaces WAN
- Protocolos: HDLC e PPP

HDLC

- Controle de enlace de dados de alto nível (*High-level Data Link Control*)
 - Enquadramento e detecção de erros
- Orientado a conexão
- Orientado a bits
 - Não se preocupam com o número de bytes do quadro

HDLC

- Usa a técnica de inserção de bits
 - Evita que sequências de delimitação de quadros apareçam no campo de informação
- Usa um protocolo de janela deslizante do tipo *Go-Back-N* ou *Retransmissão Seletiva*
 - Semelhante aos mecanismos do TCP

HDLC: Formato do Quadro

- *Flags* inicial e final: Sequência 01111110
- Endereço
- Controle
 - Números de sequência, confirmações, outros
- Dados
 - Sem limite de tamanho
- Verificação
 - Variação do CRC



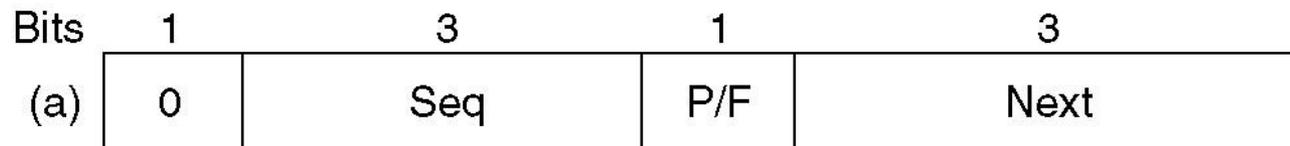
Fonte: Tanenbaum

HDLC: Tipos de Quadros

- Três tipos
 - Informação
 - Dados
 - Supervisor
 - Controle de fluxo ou de erro
 - Não-numerado
 - Vários propósitos, inclusive para envio de dados ou controle
- Tipos de quadros se diferenciam no campo controle

HDLC: Tipos de Quadros

Campos de controle dos diferentes tipos de quadros (fonte: Tanenbaum)



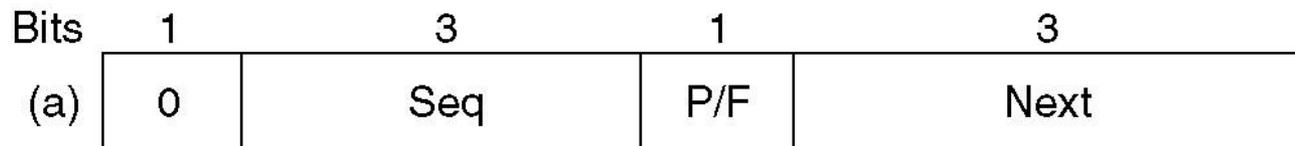
(a) Informação

(b) Supervisor

(c) Não-numerado

HDLC: Tipos de Quadros

Campos de controle dos diferentes tipos de quadros (fonte: Tanenbaum)



(a) Informação

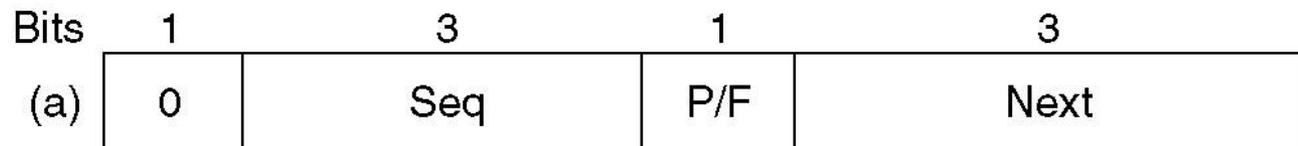
(b) Supervisor

(c) Não-numerado

Poll/Final: Poll é usado quando uma estação quer receber uma resposta de outra e o Final é usado para indicar uma resposta ou um final de transmissão

HDLC: Tipos de Quadros

Campos de controle dos diferentes tipos de quadros (fonte: Tanenbaum)



(a) Informação

(b) Supervisor

(c) Não-numerado

Seq: é o número de sequência do quadro
Next: é o quadro seguinte ao último reconhecido

PPP

- Protocolo Ponto-a-Ponto (*Point-to-Point Protocol*)
- Protocolo de enlace usado em linhas ponto-a-ponto na Internet
 - Mais simples que o HDLC
 - Orientado a caracteres e não a bits como o HDLC
 - Usado frequentemente em:
 - Conexões de linhas privadas entre roteadores
 - Conexões de acesso entre estações de usuários domiciliares e roteadores
- Definido nas RFCs 1661 a 1663 e em outros

PPP

- Usa a técnica de inserção de bytes de *flags* em linhas de discagem por modem
 - PPP pode usar linhas SONET, linhas HDLC orientadas a bits, circuitos RDSI e outros
- Possui dois modos de transmissão
 - Não confiável
 - Sem números de sequência e confirmações
 - Confiável
 - Raramente usado

PPP

- Possui três funções principais
 1. Enquadramento e detecção de erros
 2. Ativação, teste, negociação e desativação de linhas
 - *Através do protocolo de controle de enlace (Link Control Protocol - LCP)*
 - *Ex.: negociação da taxa de transmissão*
 3. Negociação de opções da camada rede independente do protocolo de rede utilizado
 - *Através do protocolo de controle de rede (Network Control Protocol - NCP)*
 - *Ex.: definição de endereços IP*

PPP: Requisitos do Projeto

- Detecção de erro
- Vida da conexão
 - Detecta, indica falhas do enlace para a camada de rede
- Negociação do endereço da camada de rede
 - Pontos terminais podem aprender/configurar o endereço de rede do outro

PPP: Requisitos do Projeto

- Enquadramento do pacote
 - Encapsula datagramas da camada de rede em quadro da camada de enlace
 - Transporta dados da camada de rede de qualquer protocolo de camada de rede (não apenas do IP), simultaneamente
- Transparência
 - Transporta qualquer padrão de bits no campo de dados
- Múltiplos protocolos de rede e tipos de enlace

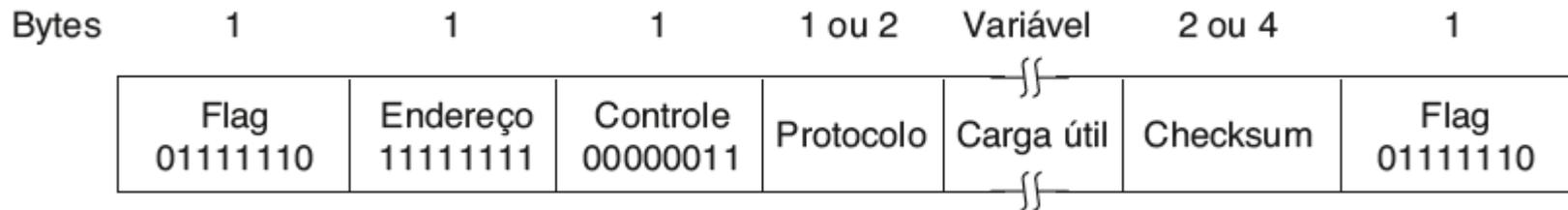
PPP: Requisitos do Projeto

- Ser o mais simples possível
 - Não faz correção/recuperação de erros
 - Sem controle de fluxo
 - Sem controle de sequenciamento
 - Sem necessidade de dar suporte a canais de difusão

Recuperação de erros, controle de fluxo e reordenamento dos dados foram deixados para camadas superiores...

PPP: Formato do Quadro

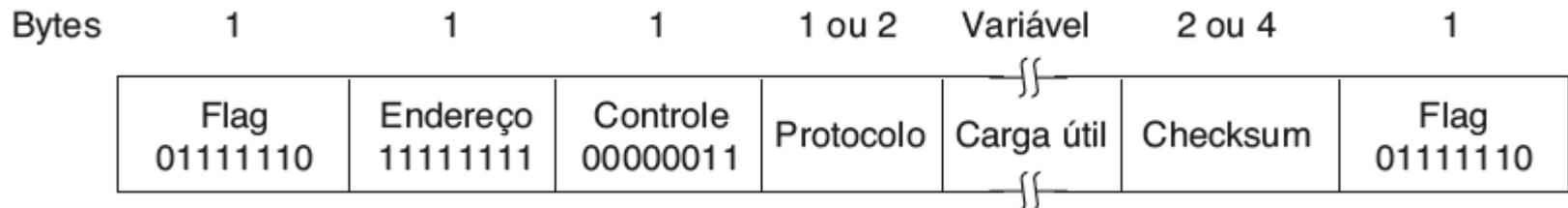
- *Flags* inicial e final: Sequência 01111110
 - Endereço
 - O único valor é o 11111111
 - Todas as estações aceitam esse endereço
 - Controle
 - Para quadros não numerados é 00000011
- Foram incluídos para futuros valores diferentes



Fonte: Tanenbaum

PPP: Formato do Quadro

- Protocolo
 - Tipo de pacote da carga útil (ex., o protocolo IP)
- Carga útil
 - Possui um tamanho máximo negociado
 - Padrão é 1500 octetos
 - Byte de escape é 01111101
- Verificação
 - CRC



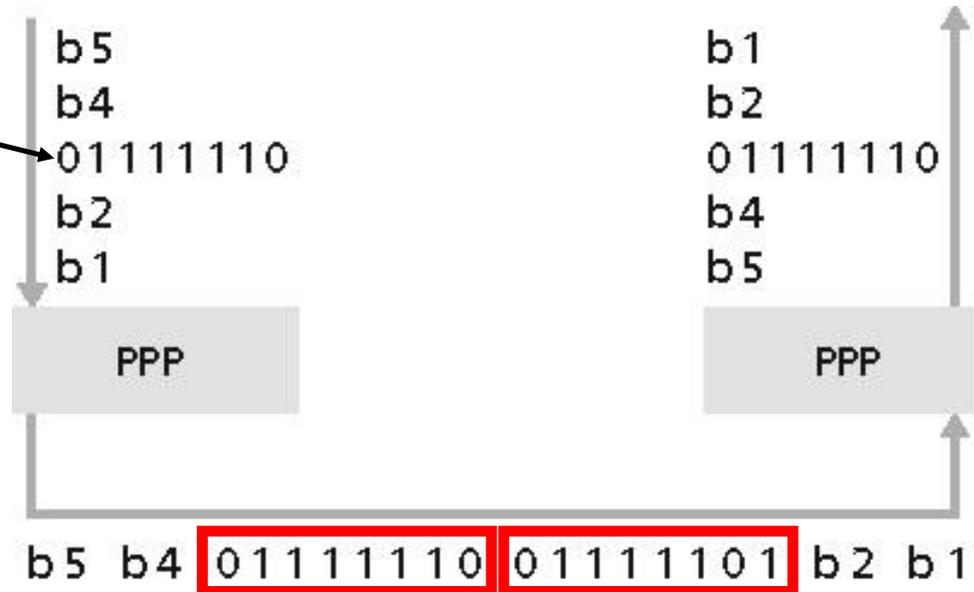
Fonte: Tanenbaum

PPP: Enchimento (*Byte Stuffing*)

- Requisito de "transparência dos dados"
 - Carga útil pode conter o padrão do *flag* 01111110
 - Se um 01111110 for recebido, ele é dados ou *flag*?
- Transmissor
 - Adiciona ("enche") um byte de controle de escape 01111101 antes de cada byte 01111110 de dados
- Receptor
 - Se encontrar um 01111110 precedido de um 01111101
 - Descarta o primeiro byte e continua a recepção dos dados
 - Se houver apenas um único 01111110 → byte de *flag*

PPP: Enchimento (*Byte Stuffing*)

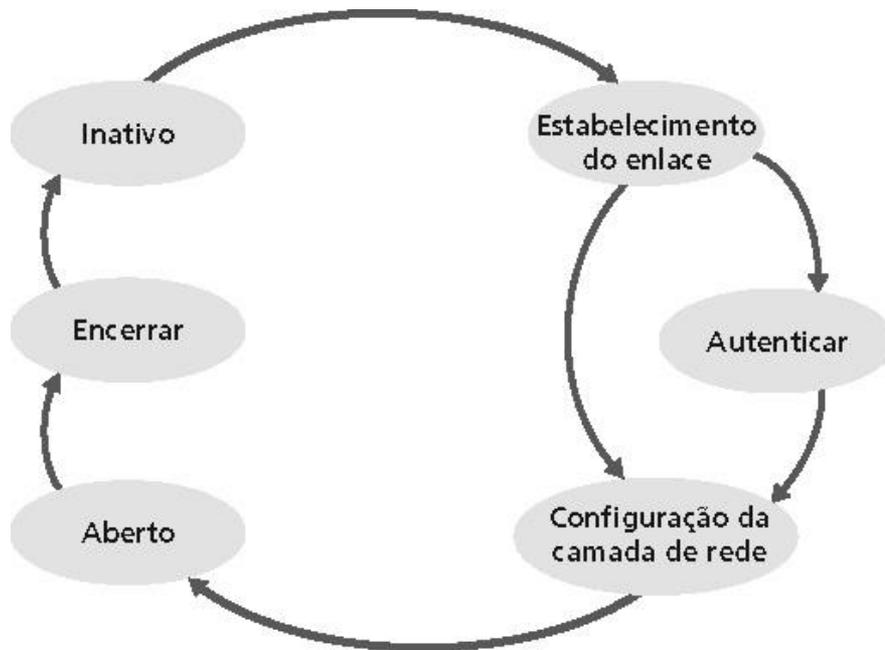
byte com o padrão do *flag* nos dados a enviar



byte com o padrão de escape acrescentado nos dados transmitidos seguido por um byte com padrão de *flag*

PPP: Funcionamento

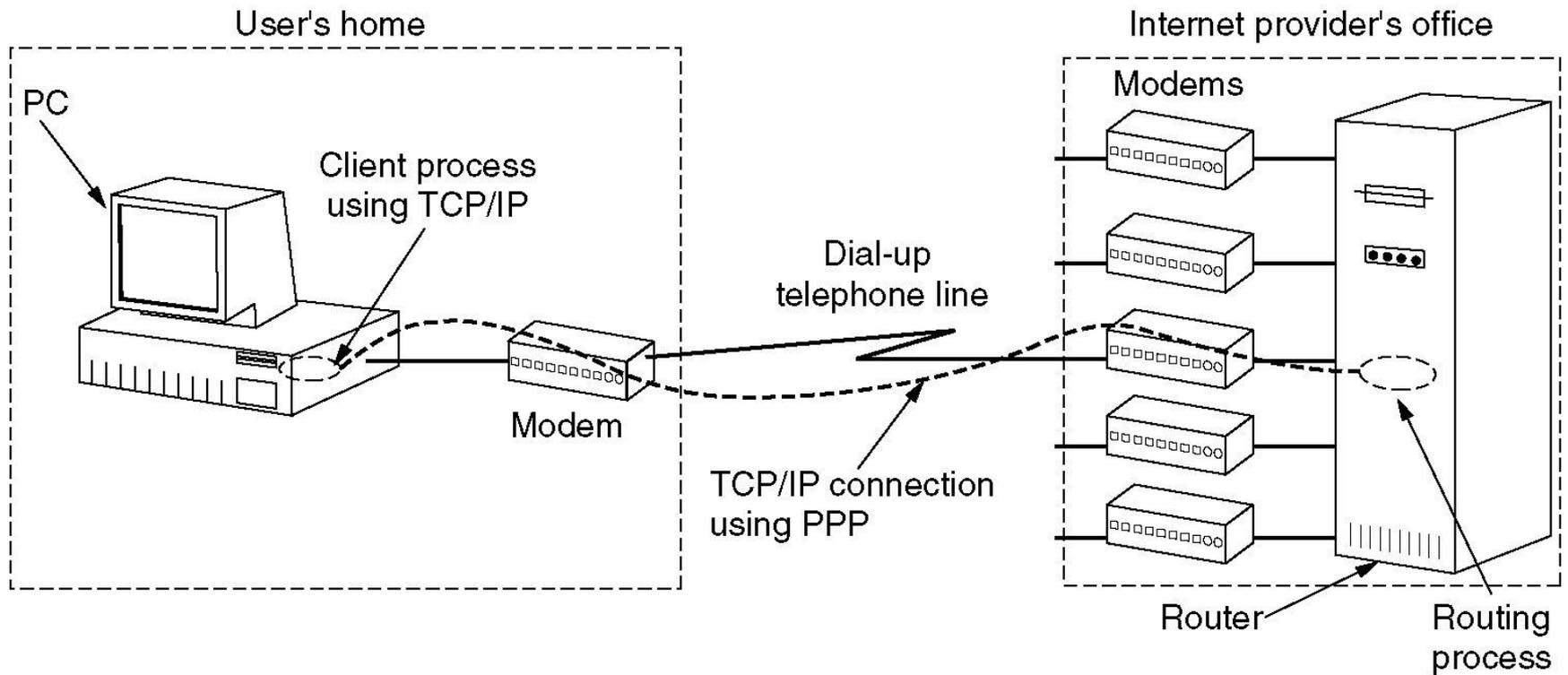
Antes de trocar dados da camada de rede, os parceiros do enlace de dados devem...



1. Configurar o enlace PPP
 - Compr. máx. quadro, etc.
 - Autenticação
2. Obter/configurar informações da camada de rede
 - Para IP: transporta mensagens do Protocolo de Controle IP (IPCP) para configurar/obter o endereço IP
3. Aberto
 - Transporta dados

PPP: Funcionamento Domiciliar

Conexão através de um usuário domiciliar (fonte: Tanenbaum)



PPP: Funcionamento Domiciliar

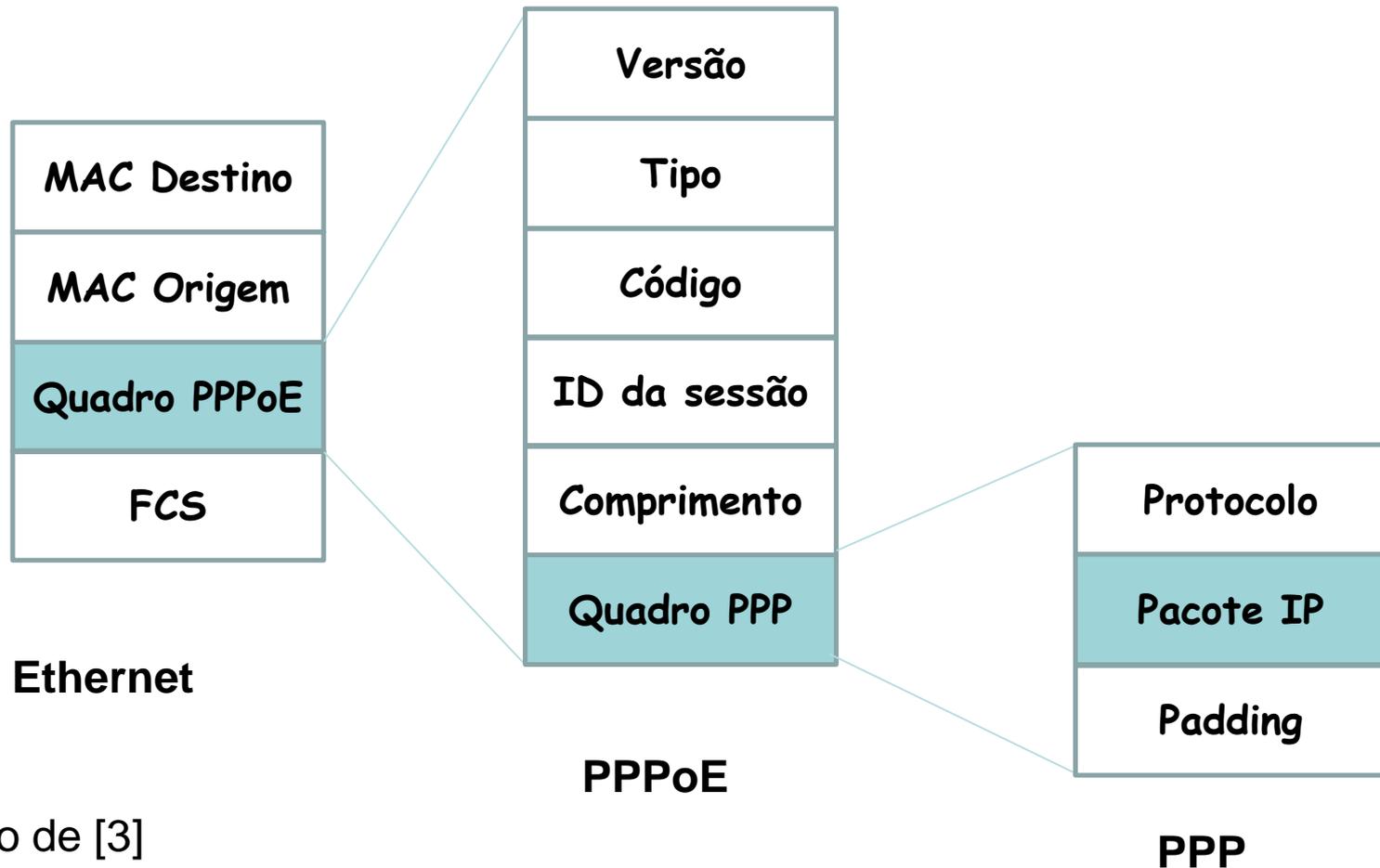
- Exemplo de uso domiciliar:
 - Estação "chama" o roteador do ISP através de um modem
 - Após o estabelecimento de uma conexão física, a estação envia quadros LCP em um ou mais quadros PPP
 - Selecionam os parâmetros PPP a serem usados
 - Envia pacotes NCP
 - Em geral obtém endereço IP
 - Desconexões ocorrem na "ordem inversa"
 - Rede (NCP), enlace (LCP) e física (modem desliga o telefone)

PPPoE: PPP over Ethernet

- Conexões PPP tradicionais:
 - Estabelecidas entre duas estações conectadas através de um enlace ponto-a-ponto
 - Não há dúvidas que um quadro enviado por uma estação vá alcançar a outra
- Conexões PPP em redes Ethernet:
 - Uma estação pode alcançar todas as estações na rede
 - Nesse caso, quem seria o provedor de acesso?

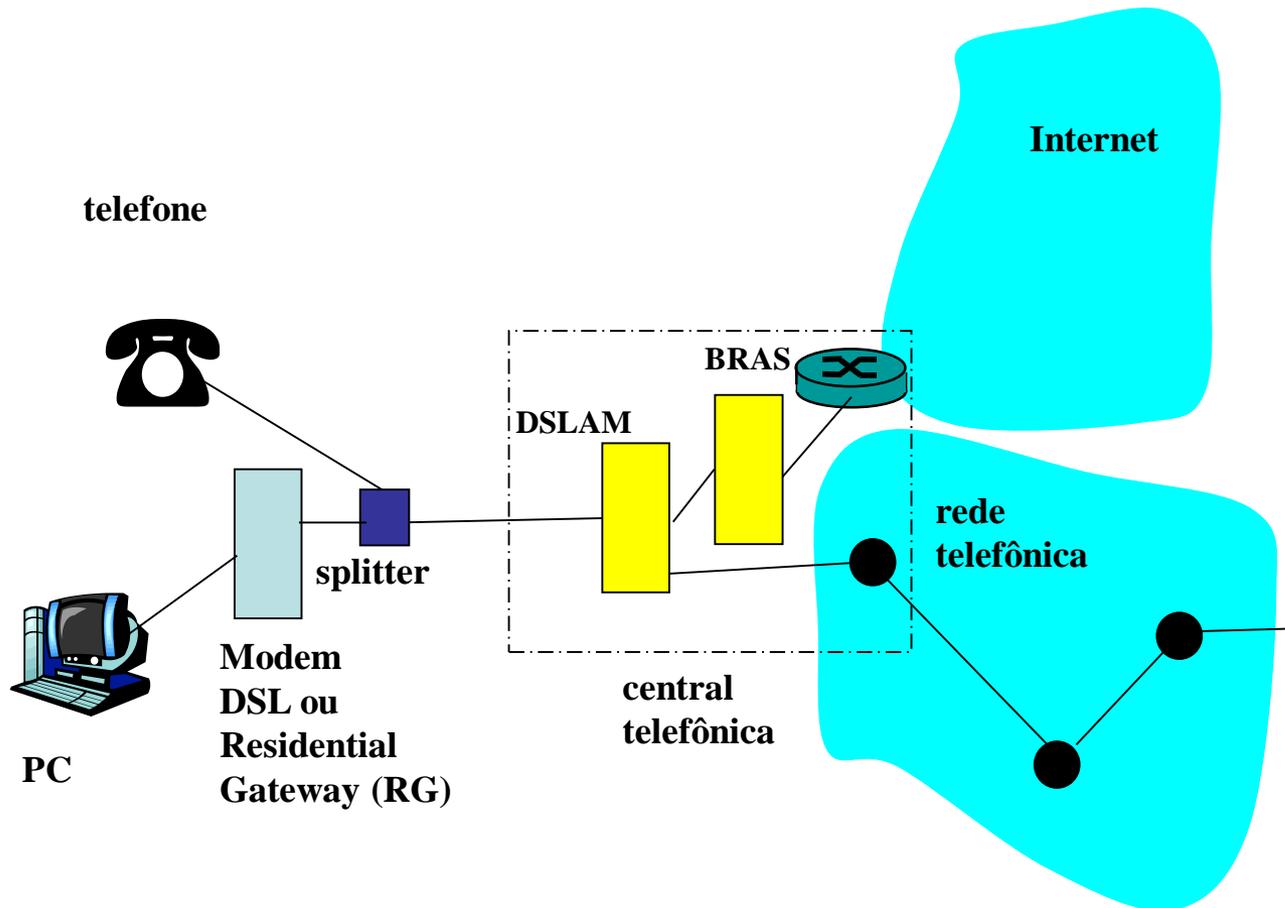
PPPoE adiciona um estágio de descobrimento da estação do provedor de acesso, antes da sessão PPP. Dessa forma, as duas estações passam a conhecer o endereço MAC uma da outra

Visão simplificada do encapsulamento PPPoE



Exemplo de uso do PPP

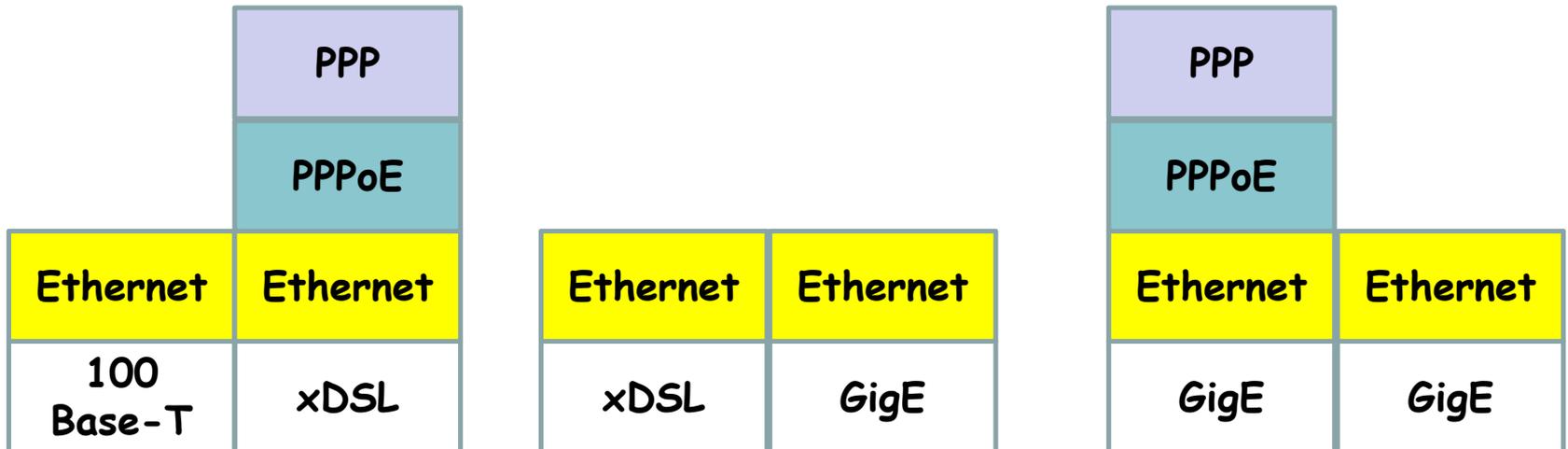
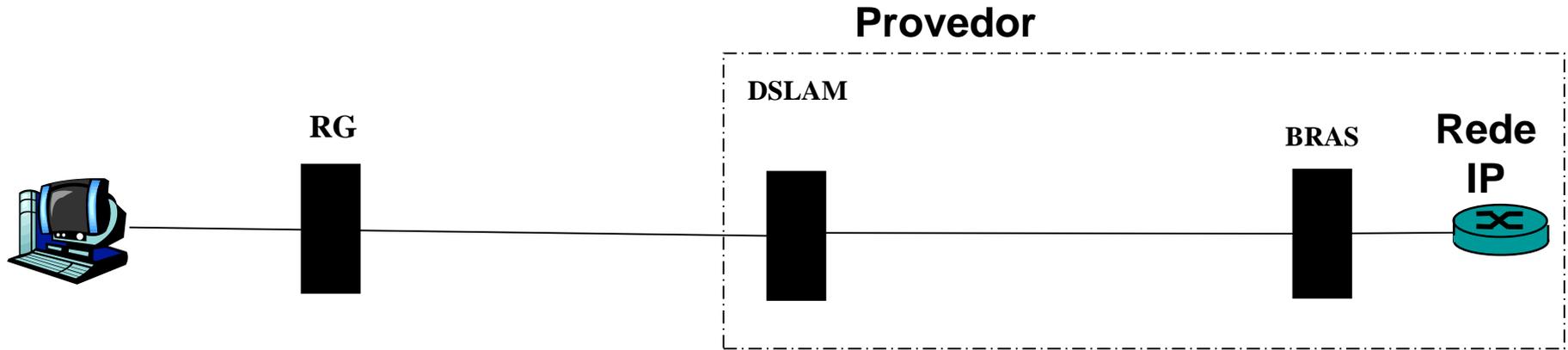
Tecnologia xDSL



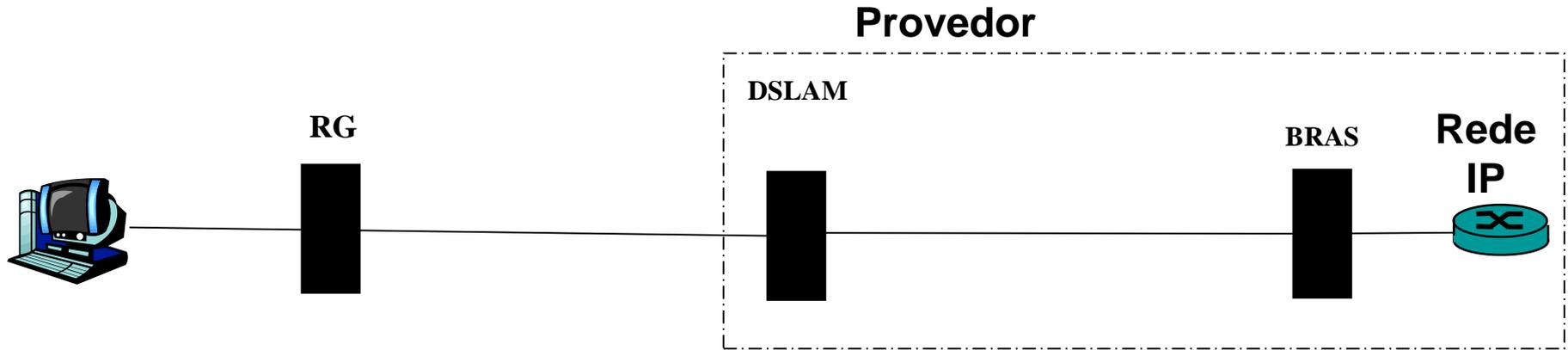
Componentes Básicos da Tecnologia xDSL

- RG (Residential Gateway)
 - Modem ADSL
- Digital Subscriber Line Access Multiplexer (DSLAM)
 - Ponta do provedor da linha rede de transporte do xDSL
- BRAS (*Broadband remote access server*)
 - Interface entre parte rede de transporte xDSL e a rede IP

Pilha de protocolos em uma rede xDSL



Não seria muito mais simples fazer tudo por Ethernet?

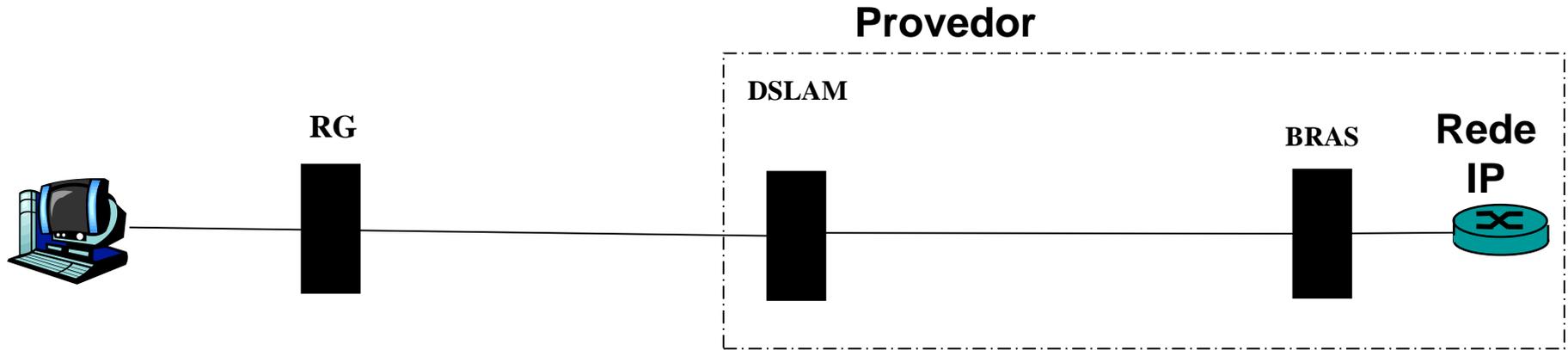


Ethernet	Ethernet
100 Base-T	xDSL

Ethernet	Ethernet
xDSL	GigE

Ethernet	Ethernet
GigE	GigE

Não seria muito mais simples fazer tudo por Ethernet?



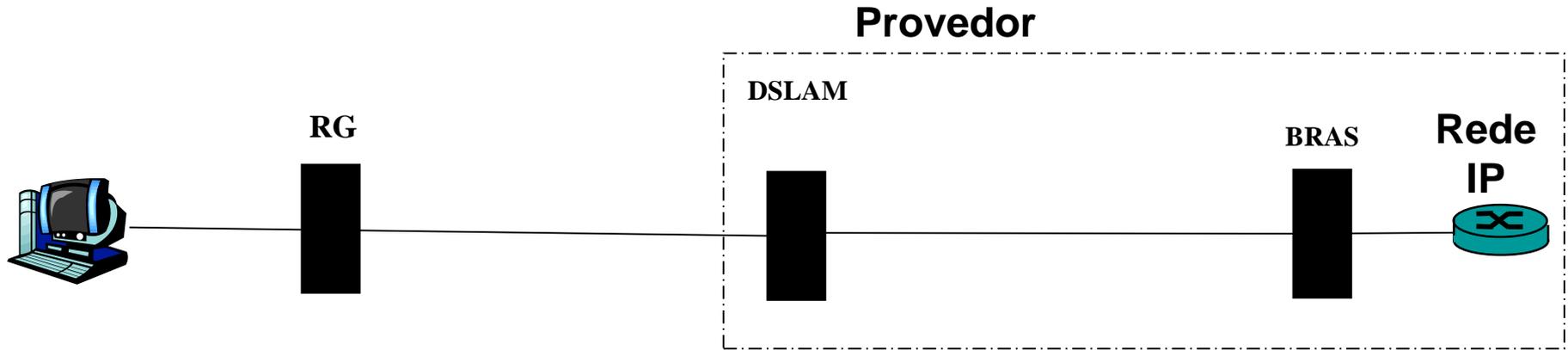
Algumas características das redes banda larga (vistas a seguir) tornam o protocolo PPP mais fácil de ser usado

Ethernet	Ethernet
100 Base-T	xDSL

Ethernet	Ethernet
xDSL	GigE

Ethernet	Ethernet
GigE	GigE

Não seria muito mais simples fazer tudo por Ethernet?



Caso só Ethernet seja usado, chama-se de IPoE (IP over Ethernet), e configuração é realizada por DHCP

Ethernet	Ethernet
100 Base-T	xDSL

Ethernet	Ethernet
xDSL	GigE

Ethernet	Ethernet
GigE	GigE

Conexão entre o RG e o BRAS

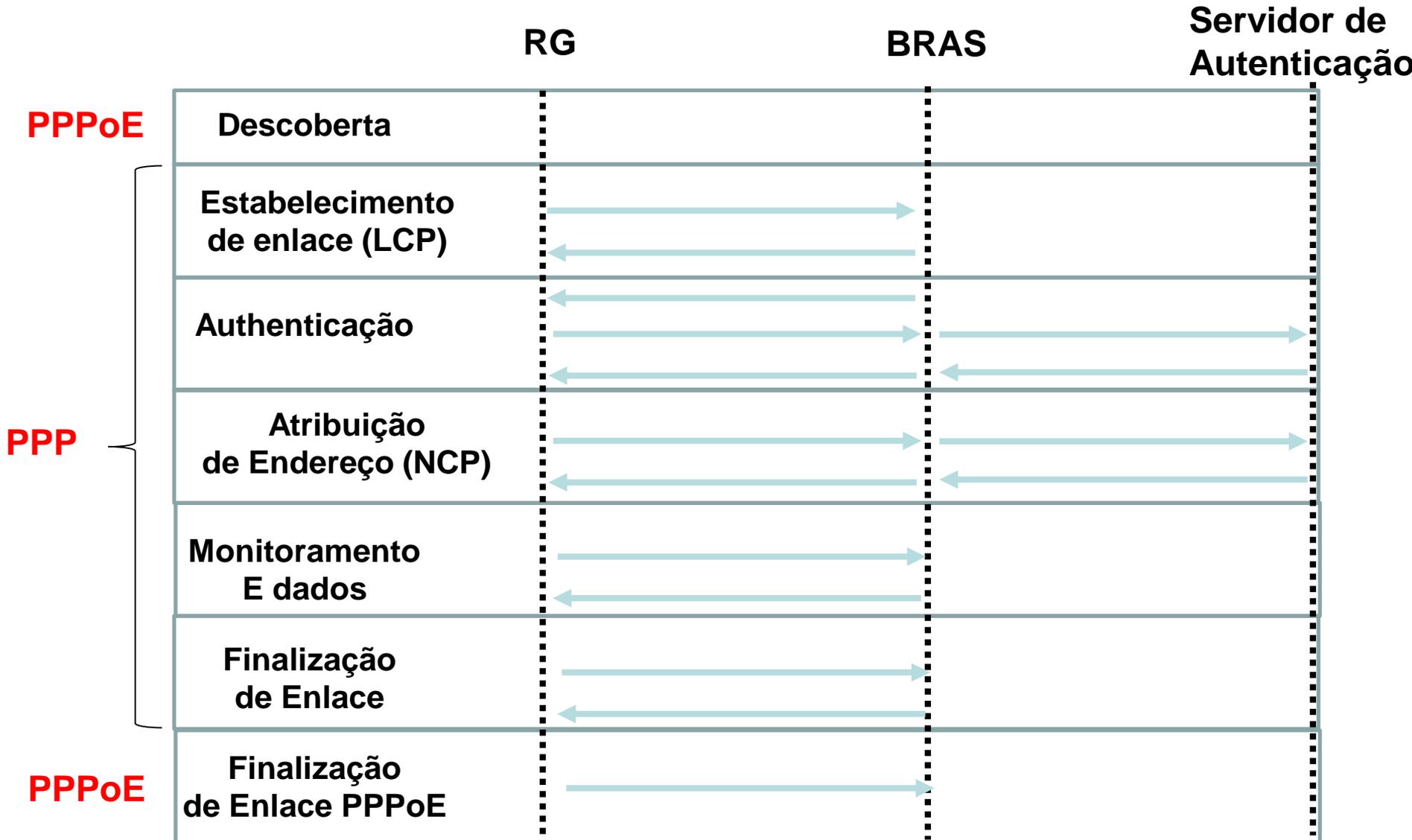
- Estabelecimento do enlace físico
 - P.ex. alocando banda do enlace
- Estabelecimento da sessão
 - Cada sessão do usuário pode ser rastreada e gerenciada
- Autenticação e autorização de usuário
 - P.ex., utilizando login e senha
- Identificação de usuário
 - Para saber a quais serviços o mesmo tem permissão
- Monitoramento da rede
 - A partir do monitoramento da conexão lógica

Conexão entre o RG e o BRAS

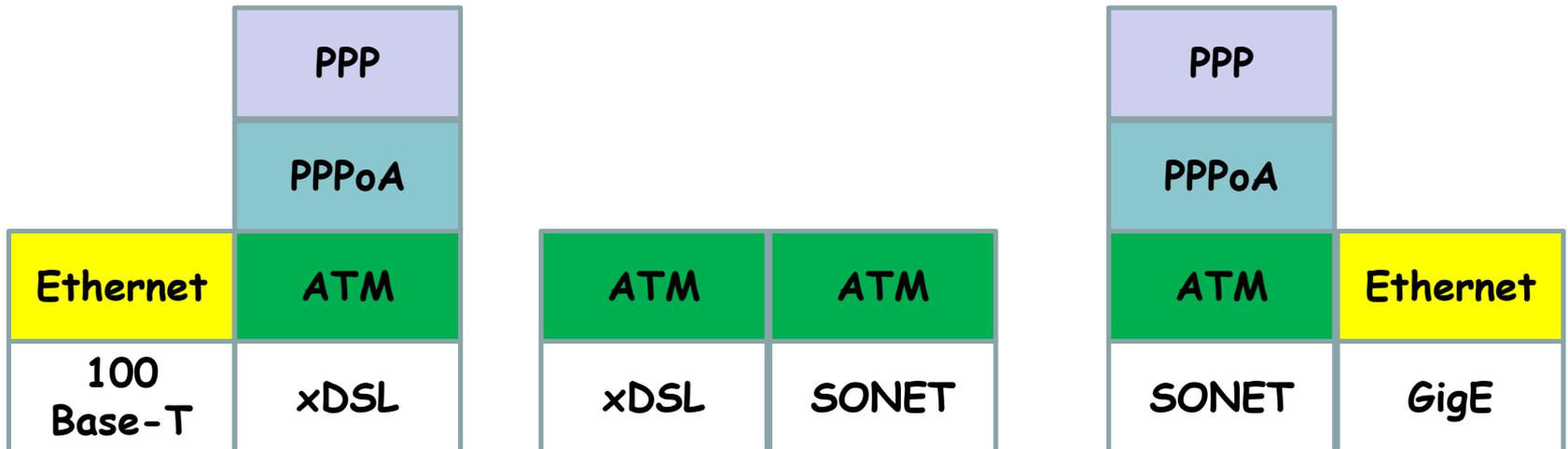
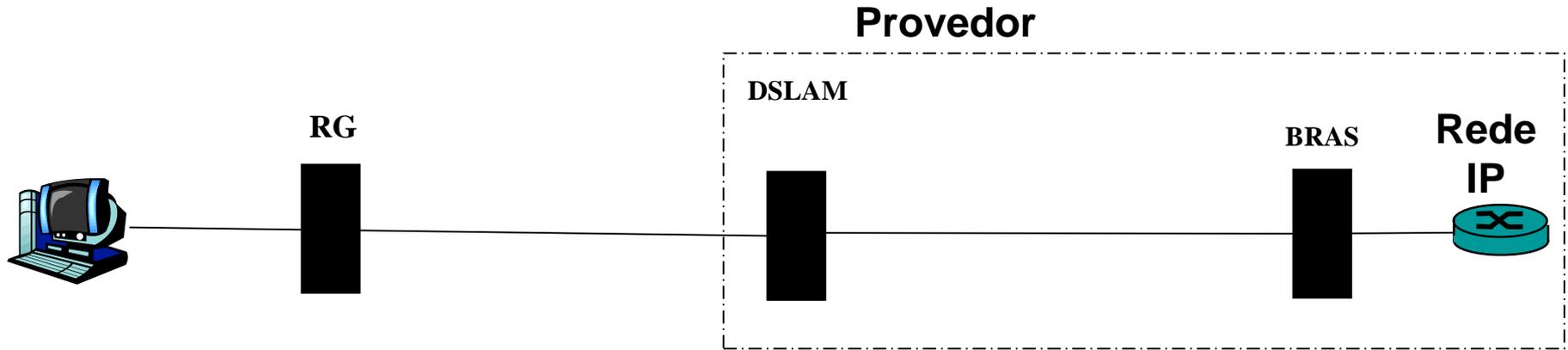
- Estabelecimento do enlace físico
 - P.ex. alocando banda do enlace
- Estabelecimento da sessão
 - Cada sessão é rastreada e gerenciada
- Autenticação de usuário
 - Utilizando login e senha
- Autorização de usuário
 - Para saber a quais serviços o mesmo tem permissão
- Monitoramento da rede
 - A partir do monitoramento da conexão lógica

Esses passos são mais facilmente alcançados utilizando um enlace PPP ao invés de um Ethernet

Estabelecimento de Sessão



Em algumas redes é possível uso de ATM com o PPPoA



Material Utilizado

[1] Notas de aula do Prof. Igor Monteiro Moraes, disponíveis em

<http://www2.ic.uff.br/~igor/cursos/redespg>

[2] Notas de aula do Prof. Miguel Campista

- <https://www.gta.ufrj.br/~miguel/redes.2016.3.html>

[3] Whitepaper da Juniper

- <http://monsterdark.com/wp-content/uploads/PPPoE-vs-DHCP-Juniper-White-Paper.pdf>

Leitura Recomendada

- Capítulo 4 do Livro "*Computer Networks*", Andrew S. Tanenbaum e David J. Wetherall, 5a. Edição, Editora Pearson, 2011
- Capítulo 5 do Livro "*Computer Networking: A Top Down Approach*", 5a. Ed., Jim Kurose and Keith Ross, Editora Pearson, 2010
- <http://monsterdark.com/wp-content/uploads/PPPoE-vs-DHCP-Juniper-White-Paper.pdf>