

# Redes de Computadores 1

**Prof. Miguel Elias Mitre Campista**

`http://www.gta.ufrj.br/~miguel`

# Parte II e III

Princípios Básicos de Comunicação em  
Redes e Camada Física

# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?



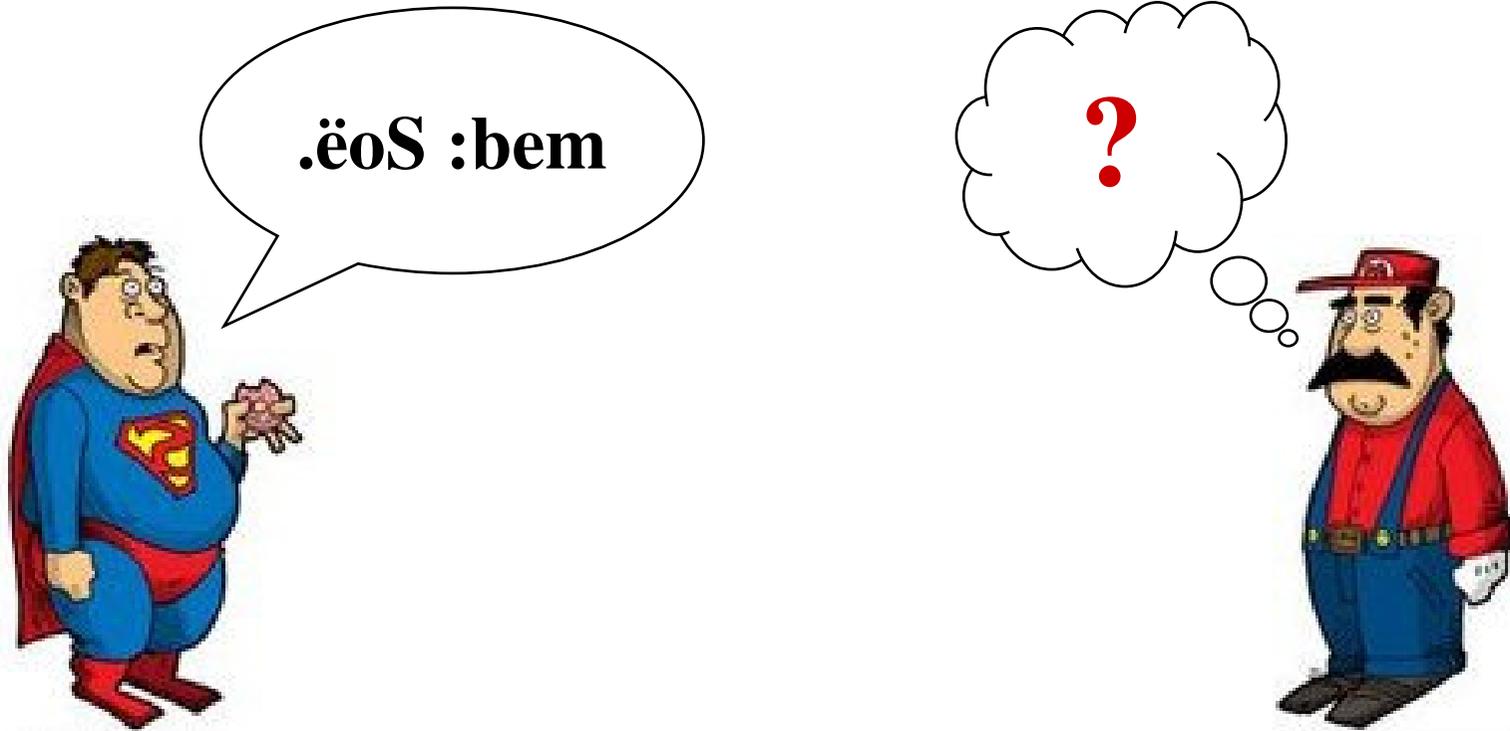
# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?
  - Um canal de comunicação entre elas



# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?
  - Um canal de comunicação entre elas



# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?



# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?
  - Uma linguagem comum entre as duas partes



# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?
  - Uma linguagem comum entre as duas partes



# Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem e se entenderem?
  - Uma linguagem comum entre as duas partes



# Protocolos de Comunicação

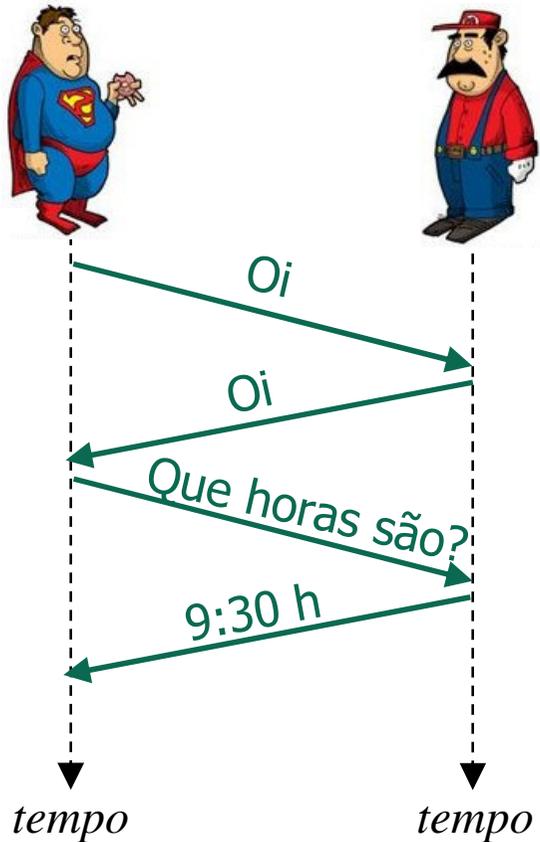
- Conjunto de regras e procedimentos que definem a comunicação entre duas ou mais entidades
- Definem
  - As ações tomadas durante a recepção e/ou transmissão de mensagens
  - As ações tomadas caso outros eventos ocorram
    - Ex.: Desaparecimento de um vizinho
  - O formato e a ordem das mensagens trocadas entre duas ou mais entidades

# Protocolos de Comunicação

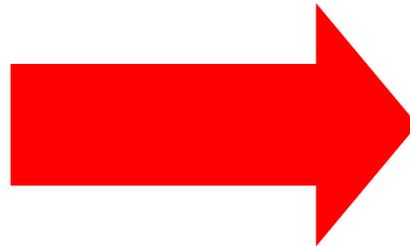
- Na Internet...
  - Todas as atividades que envolvem duas ou mais entidades comunicantes são governadas por um protocolo

# Protocolos de Comunicação

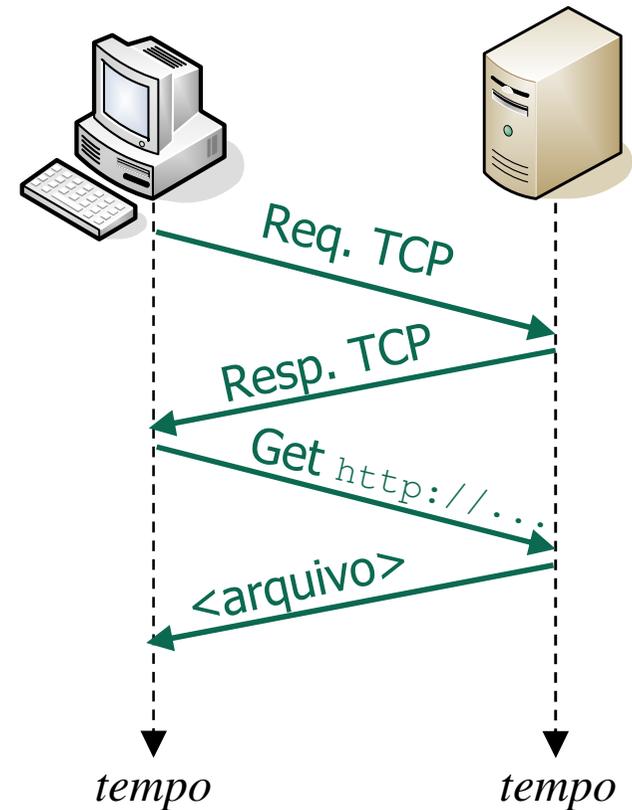
Protocolo humano



Analogia  
utilizando  
hardware e  
software...



Protocolo de rede



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.

# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura,



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.



# Protocolos de Comunicação

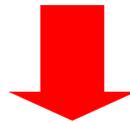
- Mas se as entidades não quiserem "apenas" se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.



# Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicarem
  - Comunicação confiável e sem falhas, com qualidade, segura, em grupo, etc.

**Ao aumentar os requisitos...**



**Maior é a complexidade do protocolo de comunicação usado nas redes de computadores**

# O que são as Rede de Computadores?

- Definições
  - Conjunto de computadores autônomos interconectados por uma única tecnologia
    - **A Internet é uma "rede de redes"!**
  - Sistema de comunicação que visa a interconexão entre computadores, terminais e periféricos
- Usos de redes de computadores
  - Aplicações comerciais
    - **Compartilhamento de recursos físicos e informações**
    - **Comunicação entre usuários**
    - **Comércio eletrônico**

# O que são as Redes de Computadores?

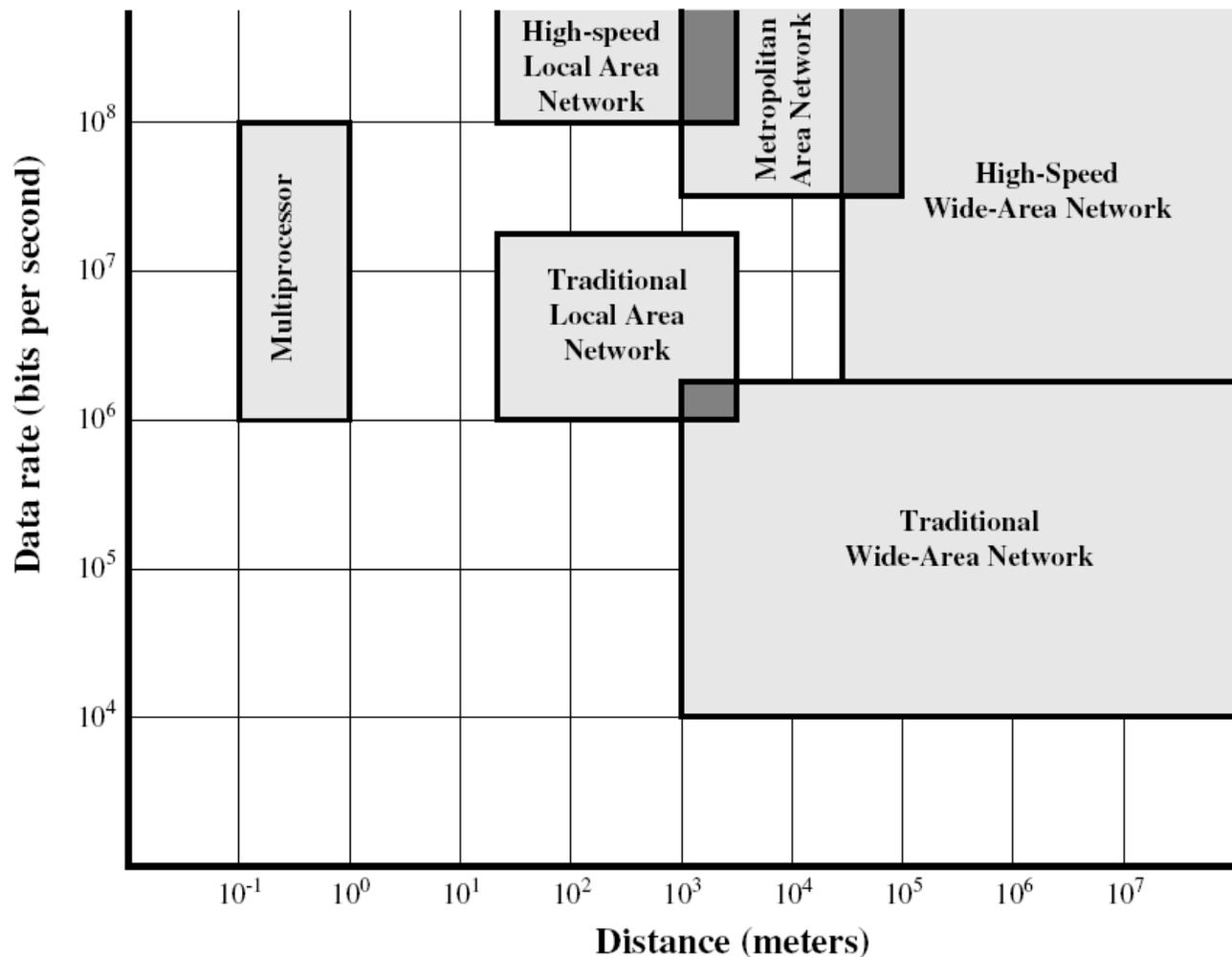
- Usos de redes de computadores (cont.)
  - Aplicações domésticas
    - Compartilhamento de recursos físicos e informações
    - Comunicação entre usuários
    - Comércio eletrônico
    - Entretenimento
  - Usuários móveis
    - Escritório portátil
    - Aplicações militares

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Segundo a extensão geográfica...
  - Redes pessoais (*Personal Area Networks* - PANs)
  - Redes locais (*Local Area Networks* - LANs)
  - Redes metropolitanas (*Metropolitan Area Networks* - MANs)
  - Redes de longa distância (*Wide Area Networks* - WANs)

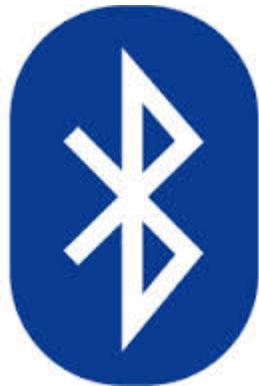
# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

Comparação de LANs, MANs e WANs (fonte: Stallings)



# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Redes Pessoais (PAN)
  - Cobrem distâncias muito pequenas
    - Destinadas a uma única pessoa
  - Ex.: Bluetooth, ZigBee, NFC, etc.



# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

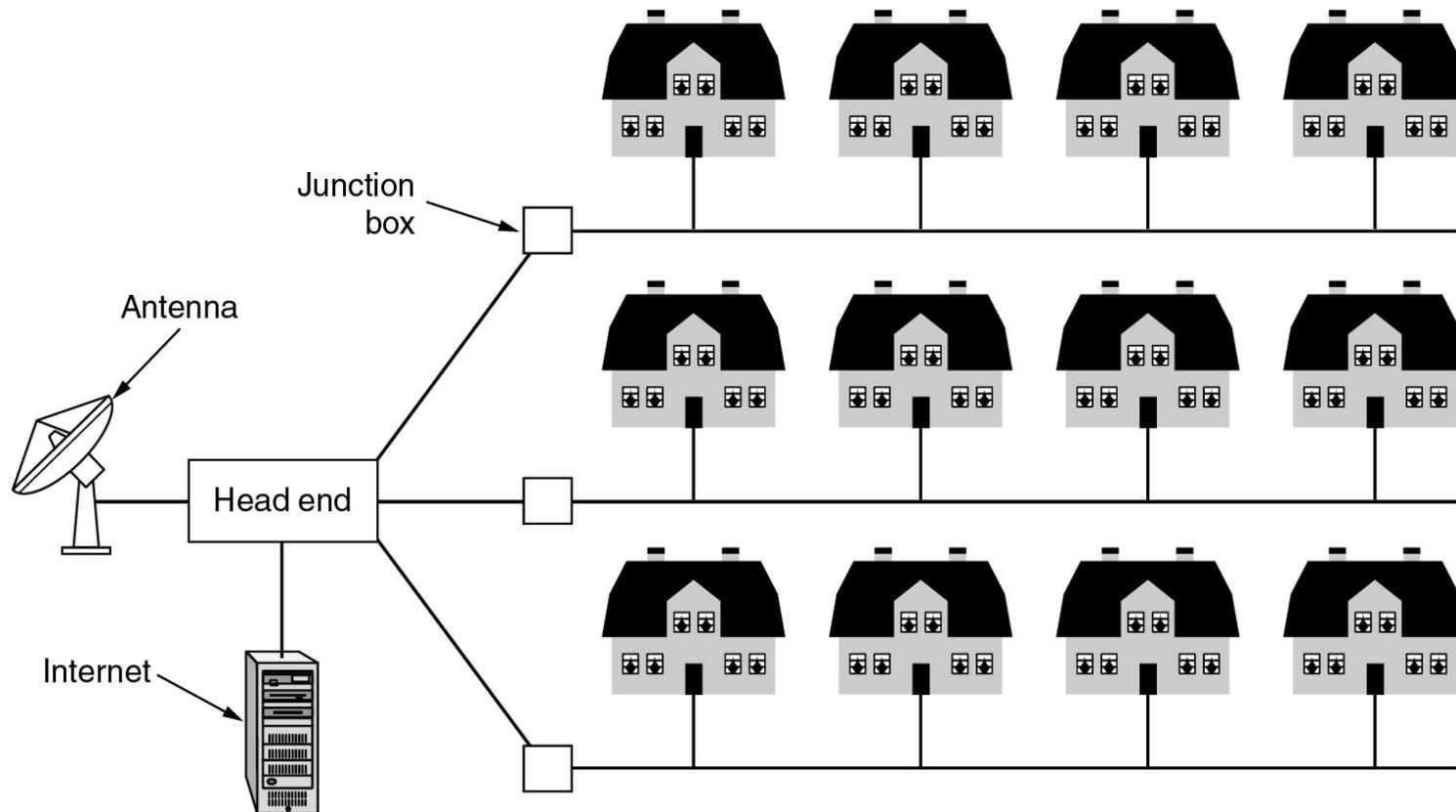
- Redes Locais (LAN)
  - Cobrem pequenas distâncias
    - Um prédio ou um conjunto de prédios
  - Geralmente pertencentes a uma mesma organização
  - Taxa de transmissão da ordem de Mb/s
  - Pequenos atrasos de propagação
  
  - Ex.: Ethernet, WiFi, etc.

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Redes Metropolitanas (MAN)
  - Cobrem grandes distâncias
    - Uma cidade
  - Ex.: rede baseada na TV a cabo

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

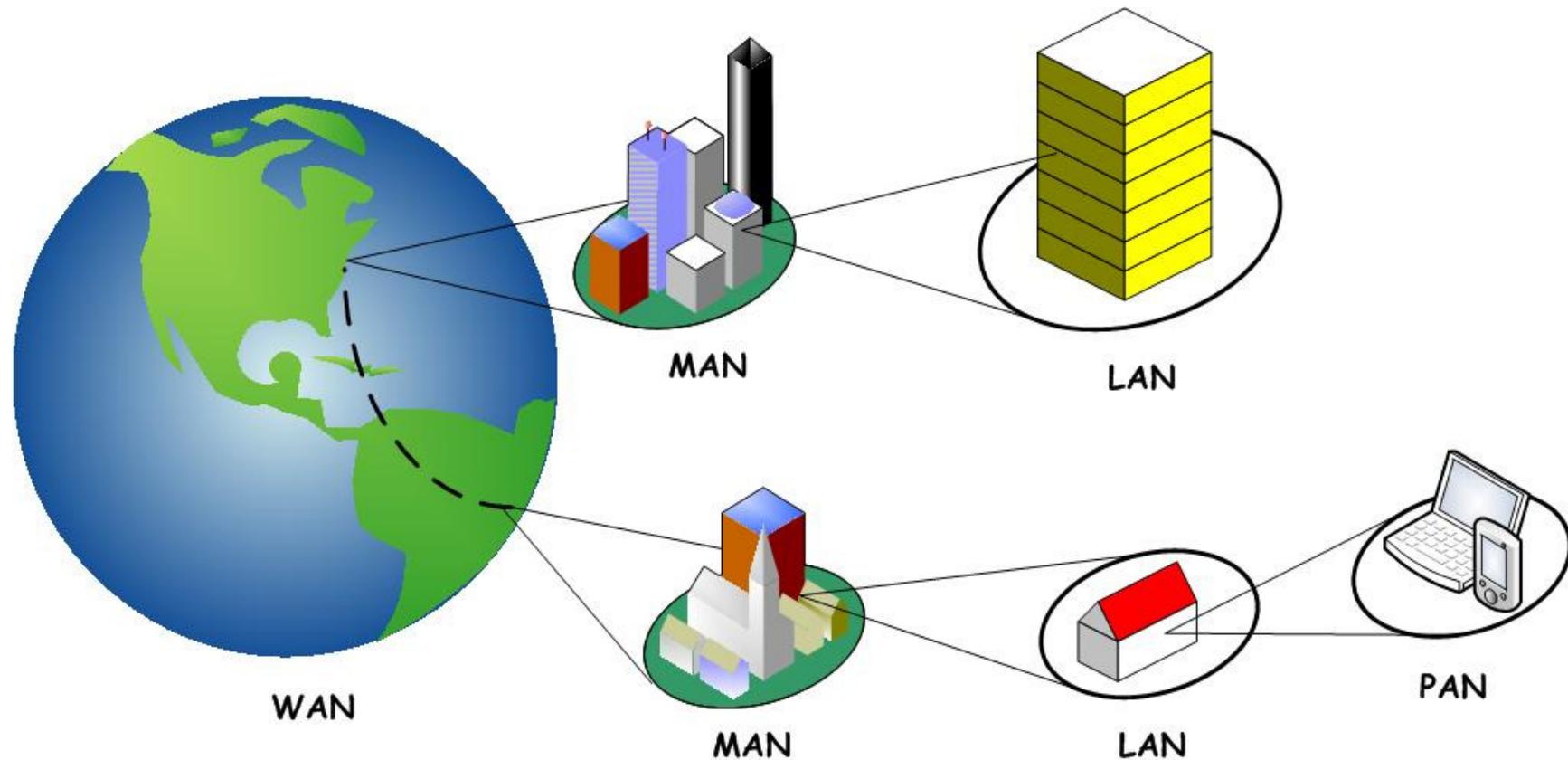
MAN baseada na TV a cabo (fonte: Tanenbaum)



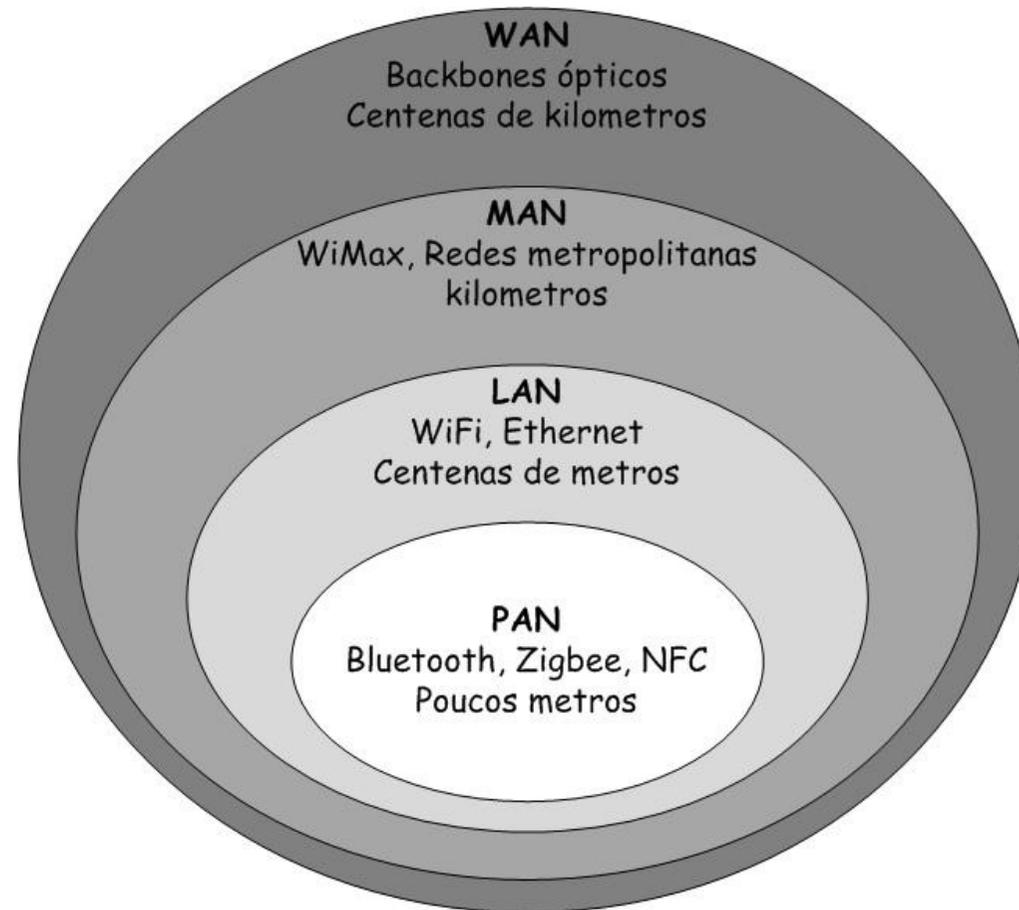
# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Redes de Longa Distância (WAN)
  - Cobrem distâncias muito grandes
    - Um país, um continente
  - Transmissão através de comutadores de pacotes interligados por enlaces dedicados
  - De um modo geral possuem taxas de transmissão menores que as das LANs
  - Atraso de propagação maiores do que das LANs
  - Ex.: ATM

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?



# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?



# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

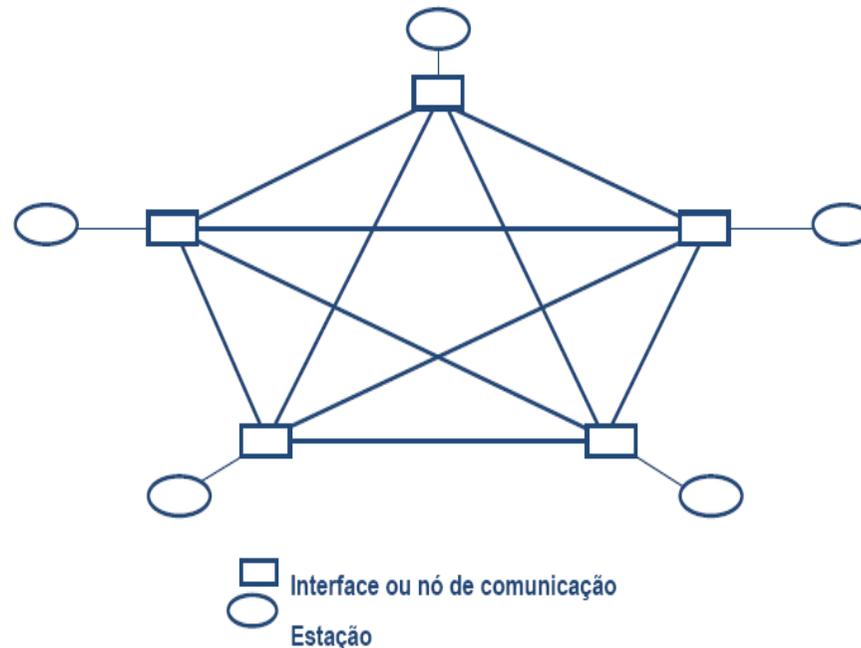
- Segundo a topologia...
  - Estruturas físicas de interligação dos equipamentos da rede
  - Cada uma apresenta características próprias, com diferentes implicações quanto a...
    - Custo, Confiabilidade, Alcance
  - Tipos mais comuns
    - Malha, Estrela, Anel, Barramento, Híbridas

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Malha
  - Usada principalmente em redes de longa distância
  - Em geral as redes locais não usam a topologia em malha
    - Custo associado aos meios físicos é pequeno em redes locais
    - Complexidade da decisão de por onde enviar a mensagem aumenta o custo
    - Armazenamento e processamento de cada mensagem a cada nó intermediário aumenta o atraso e diminui a vazão
  - Pode ser completa ou irregular

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Malha Completa
  - Cada estação é conectada a todas as outras estações da rede



Exemplo de malha completa

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Malha Completa
  - Vantagens
    - Não há compartilhamento do meio físico
    - Não há necessidade de decisões de por onde encaminhar a mensagem (roteamento)
  - Desvantagem
    - Grande quantidade de ligações
      - Custo

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

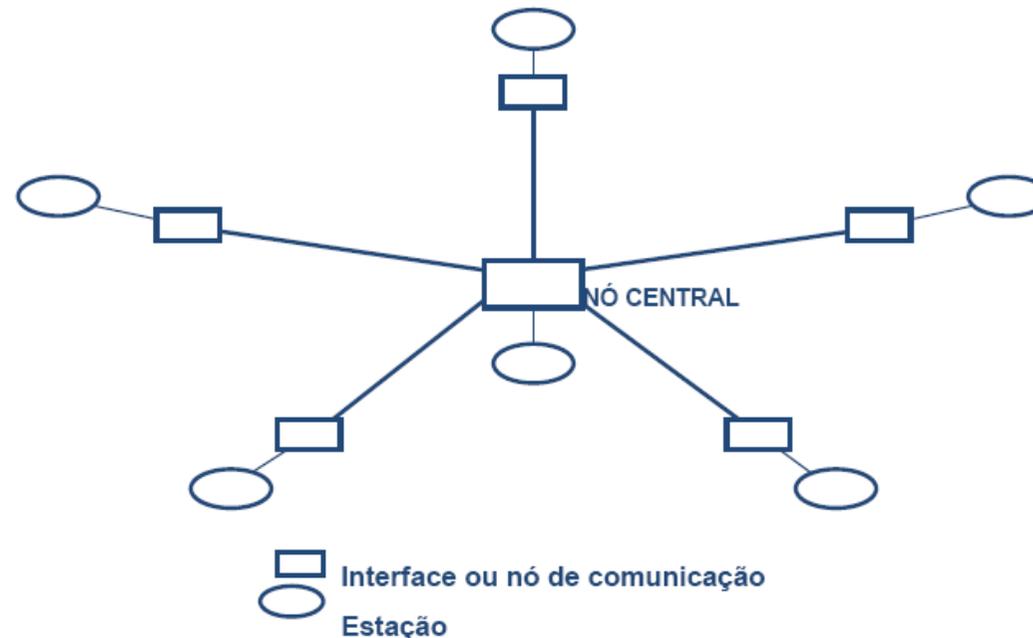
- Malha Irregular
  - Topologia mais geral possível
  - Cada estação pode ser conectada diretamente a um número variável de estações

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Malha Irregular
  - Vantagem
    - Arranjo de interconexões pode ser feito de acordo com o tráfego
    - Pode escolher por onde enviar a mensagem
      - Para evitar congestionamento
  - Desvantagem
    - Necessita de decisão de encaminhamento

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Estrela
  - Decisões de encaminhamento centralizadas em um nó
  - Cada estação é conectada a esse nó central

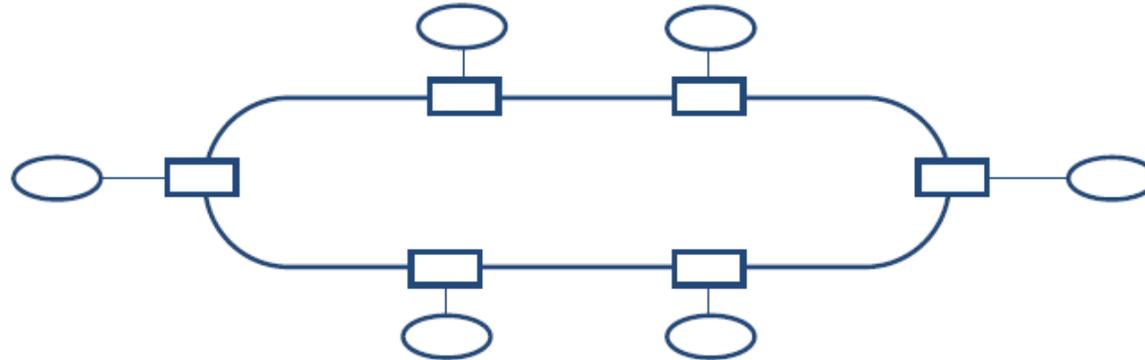


# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Estrela
  - Vantagem
    - Boa para situações onde o fluxo de informações é centralizado
  - Desvantagem
    - Dependência de um nó centralizado pode ser uma desvantagem quando o fluxo não é centralizado
    - Problema de confiabilidade no nó central
  - Usada principalmente em redes locais

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Anel
  - Mensagens circulam nó-a-nó até o destino
    - Tem de reconhecer o próprio nome (endereço) nas mensagens e copiar as que lhe são destinadas

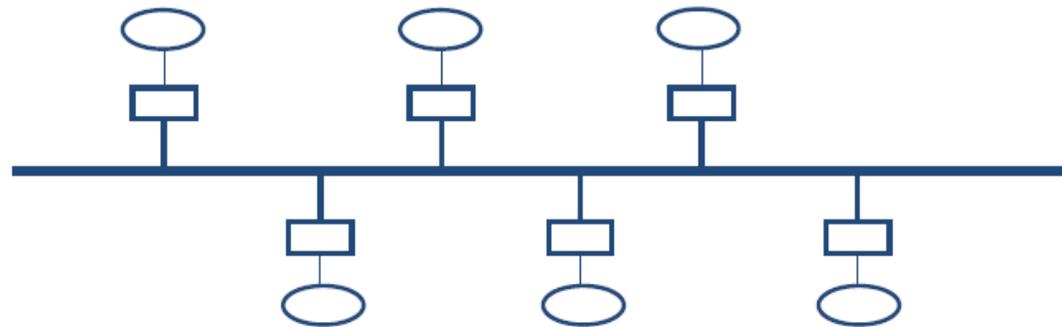


# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Anel
  - Vantagens
    - Boa para situações onde o fluxo de informações não é centralizado
    - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
    - Como não há armazenamento intermediário, pode-se obter um melhor desempenho de atraso e vazão
  - Desvantagens
    - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
    - Confiabilidade da rede depende da confiabilidade individual dos nós intermediários
  - Usada principalmente em redes locais

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Barramento
  - Mensagens transferidas sem a participação dos nós intermediários
  - Todas as estações "escutam" as mensagens
    - Necessidade de reconhecer o próprio nome (endereço)



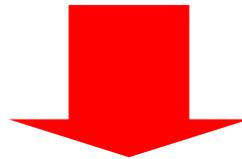
 Interface ou nó de comunicação  
 Estação

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Barramento
  - Vantagens
    - Não há necessidade de decisões de encaminhamento
    - Como não há armazenamento intermediário, pode-se obter um melhor desempenho em termos de atraso e vazão
  - Desvantagem
    - Necessita de mecanismos de acesso ao meio compartilhado
  - Usada principalmente em redes locais

# Como as Redes de Computadores podem ser classificadas?

- Topologias híbridas
  - Existem ainda as configurações híbridas
    - Anel-estrela
    - Barramento-estrela
    - Estrela-anel
    - Árvore de barramentos

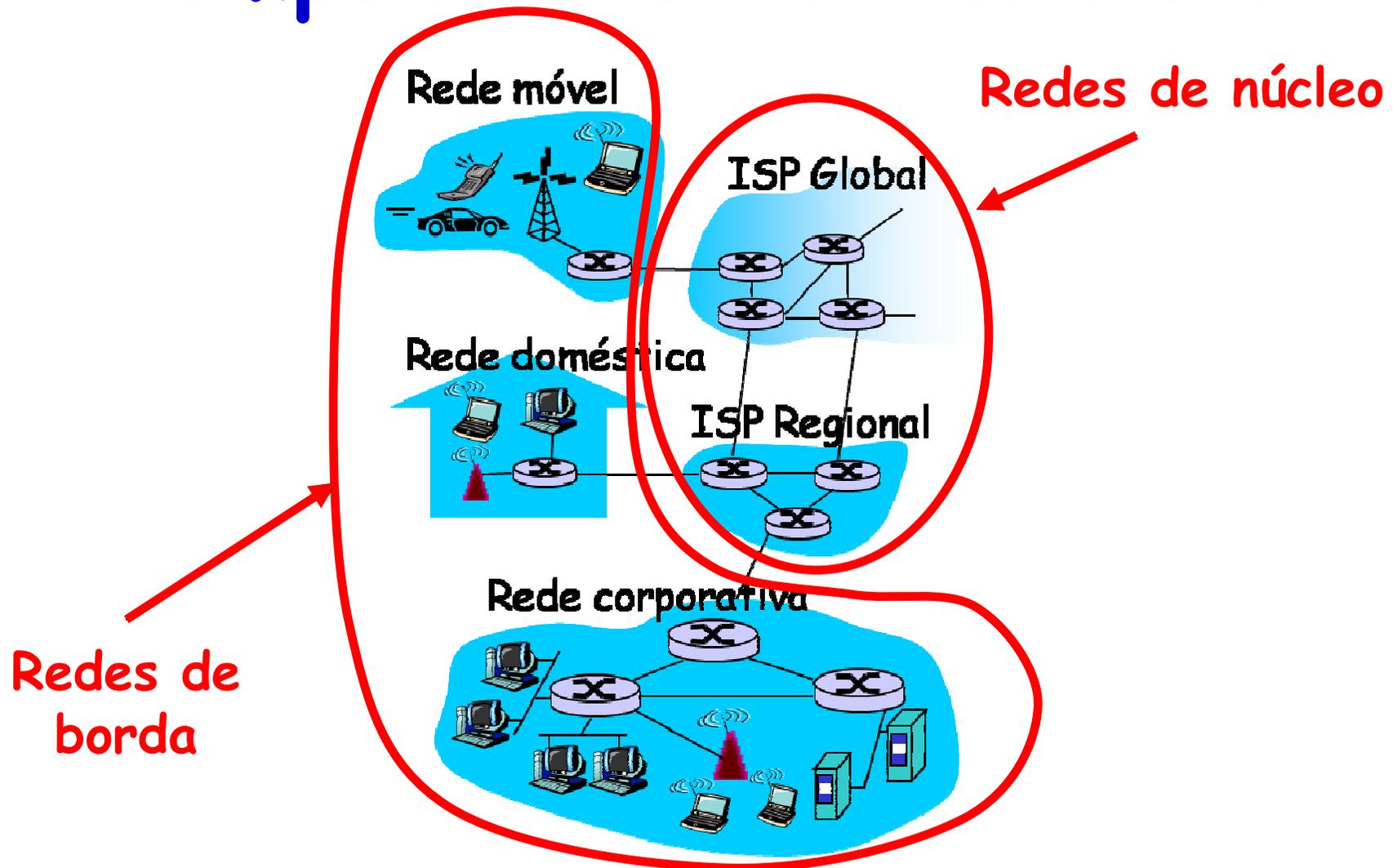


**E a Internet, como poderia ser classificada?**

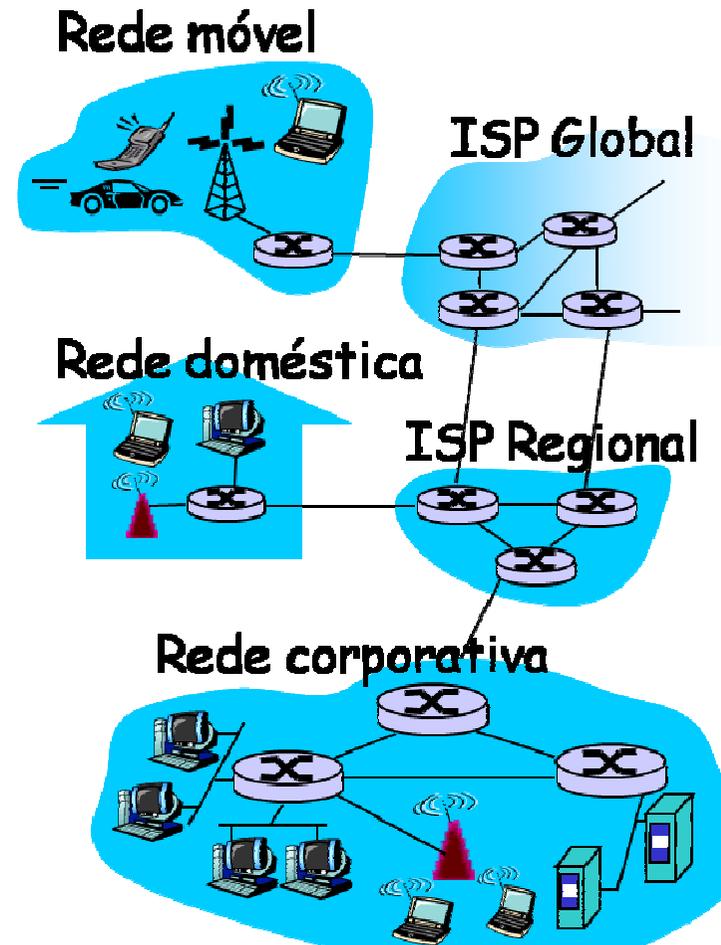
# Como a Internet pode ser classificada?

- Rede complexa que combina outras redes:
  - Com diferentes extensões geográficas
  - Com diferentes topologias
- Muitas vezes, as redes são classificadas conforme o seu papel funcional
  - Redes de borda (ou redes periféricas)
    - **Sistemas finais e redes de acesso**
  - Redes de núcleo (ou redes de provedores de serviço)
    - **Roteadores e redes dorsais (*backbones*)**

# Componentes da Internet



# Componentes da Internet



**A Internet é uma "rede de redes" com extensões geográficas, topologias e papéis diferentes**

# Serviços da Internet

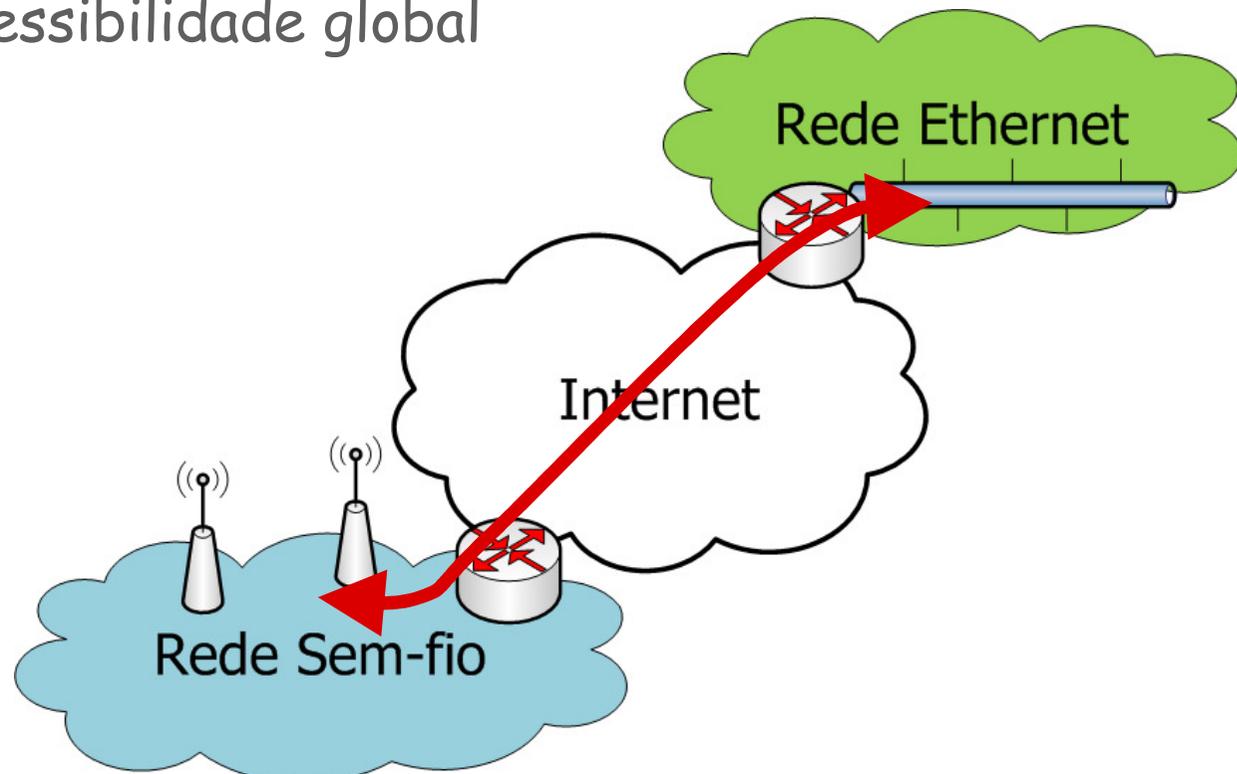
- A Internet é uma infraestrutura de comunicação que provê serviços para aplicações
  - Basta que a aplicação siga um conjunto de regras
- Aplicações distribuídas
  - Web, e-mail, jogos, mensagens instantâneas, voz sobre IP (VoIP), compartilhamento de arquivos, etc.
- Serviços de comunicação de dados disponibilizados
  - Transferência confiável da origem até o destino
  - Transferência "melhor esforço" (não confiável)

# Internet

- Os objetivos originais são
  - Interconectar redes
  - Prover conectividade fim-a-fim
  - Garantir acessibilidade global

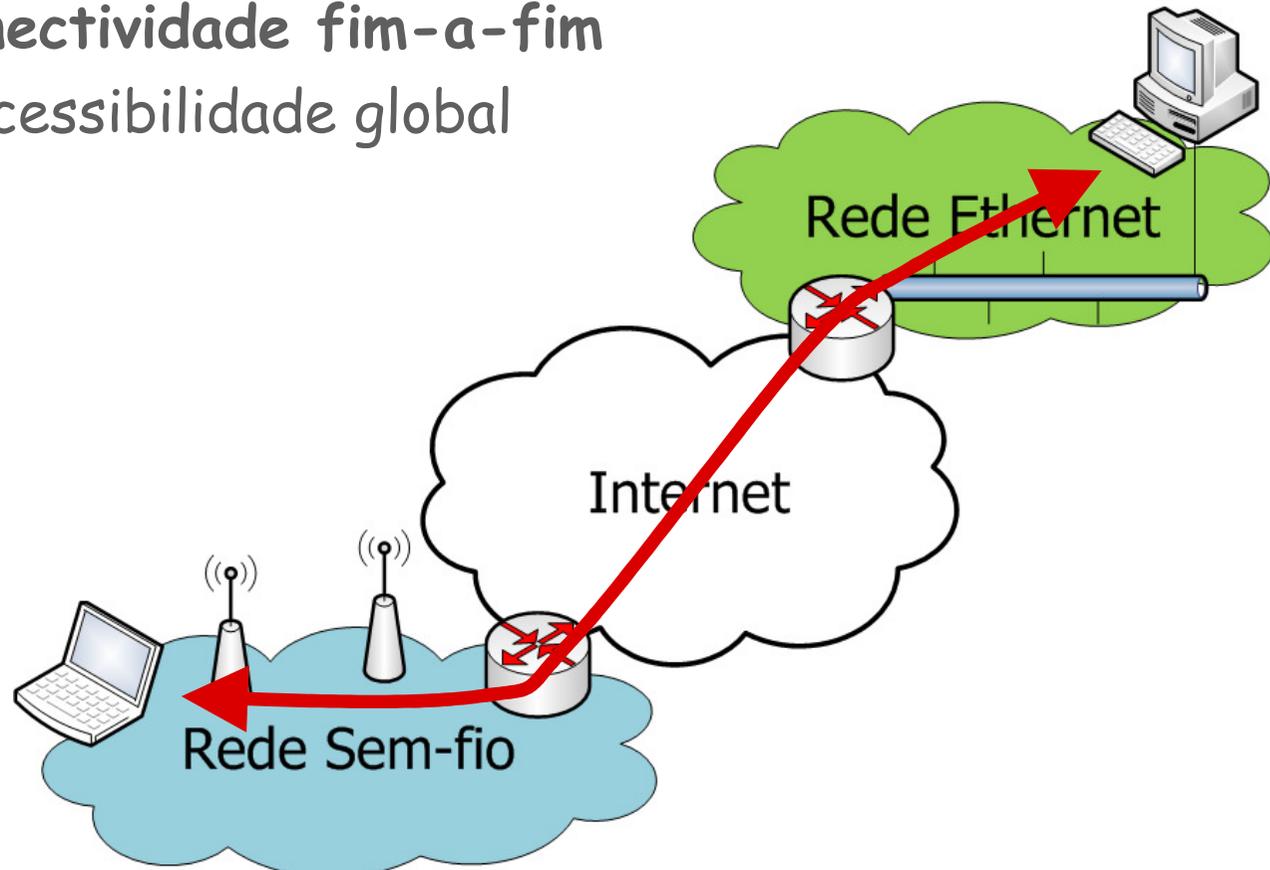
# Internet

- Os objetivos originais são
  - Interconectar redes
  - Prover conectividade fim-a-fim
  - Garantir acessibilidade global



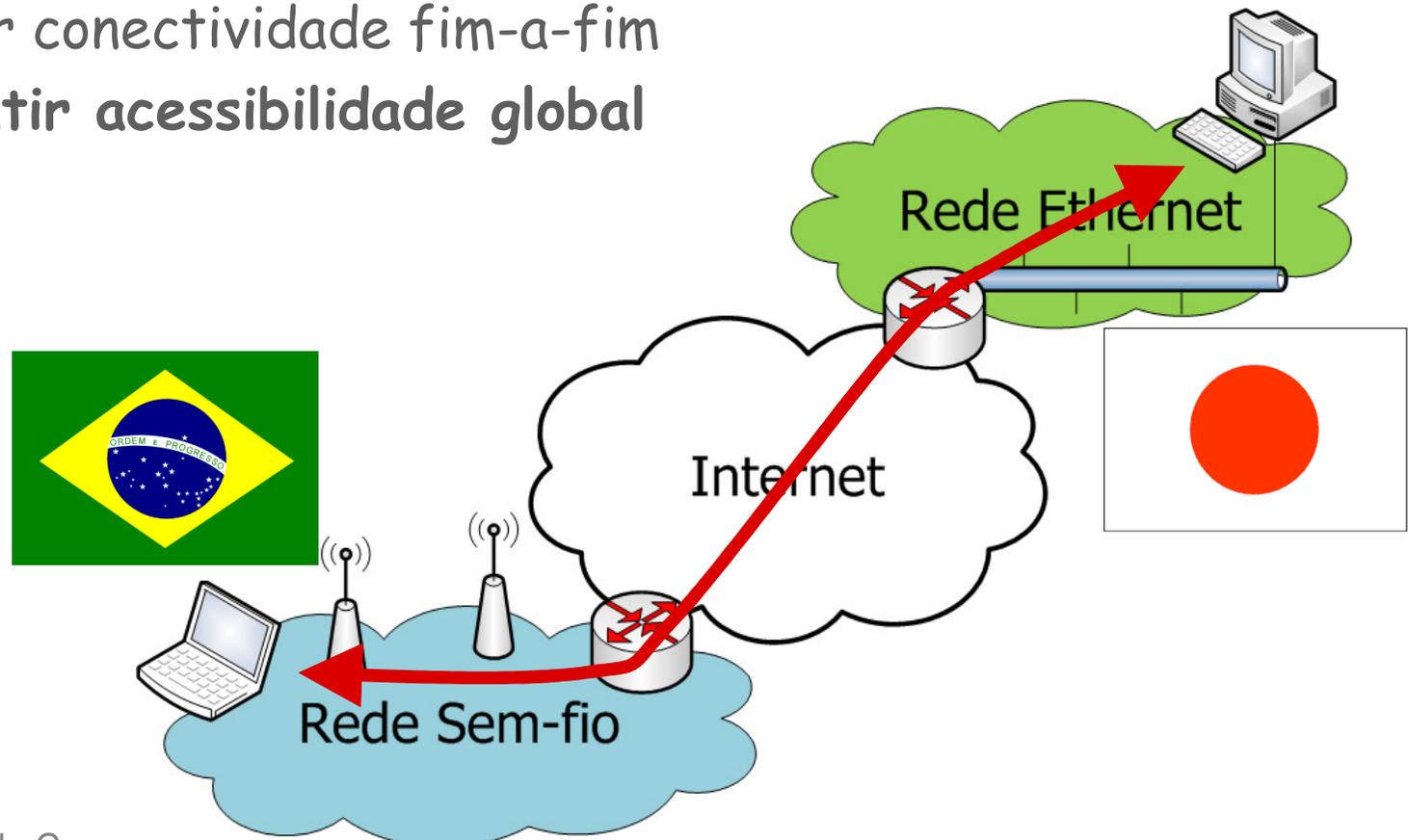
# Internet

- Os objetivos originais são
  - Interconectar redes
  - **Prover conectividade fim-a-fim**
  - Garantir acessibilidade global



# Internet

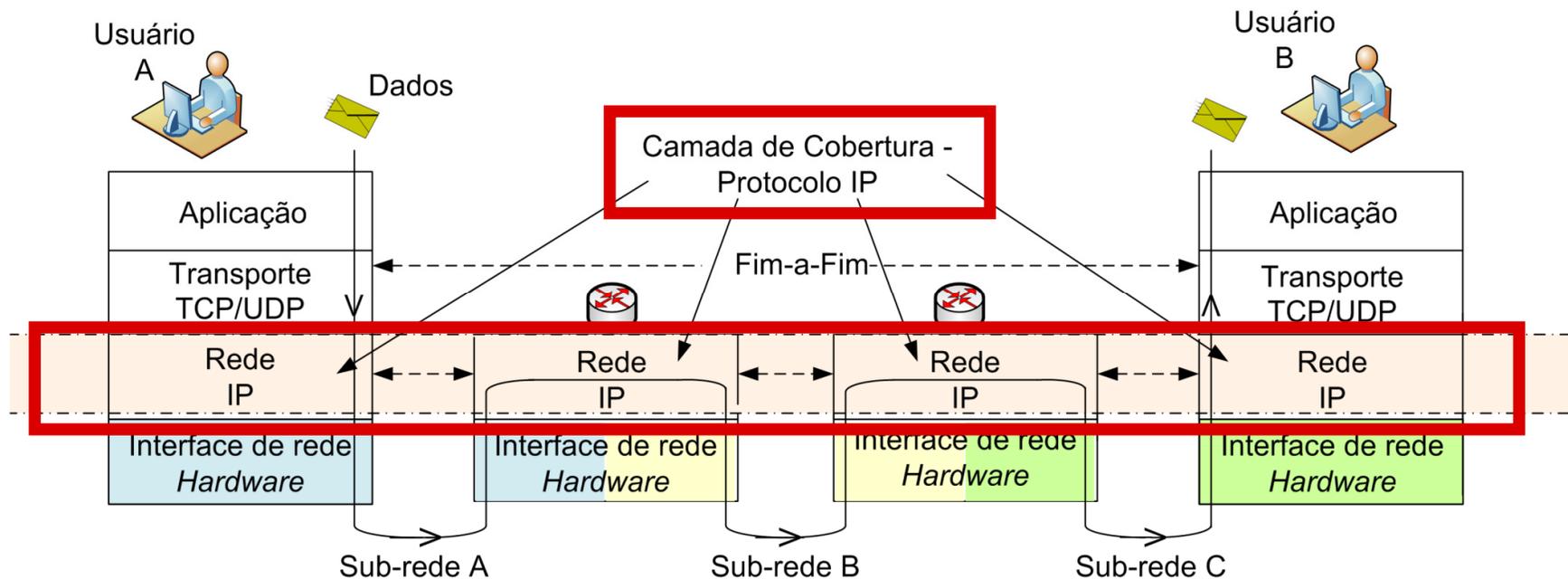
- Os objetivos originais são
  - Interconectar redes
  - Prover conectividade fim-a-fim
  - **Garantir acessibilidade global**



# Internet

- Os objetivos originais são
  - Interconectar redes
  - Prover conectividade fim-a-fim
  - Garantir acessibilidade global

O que garante esses objetivos?



# Internet

- Os objetivos originais são
  - Interconectar redes
  - Prover conectividade fim-a-fim
  - Garantir acessibilidade global



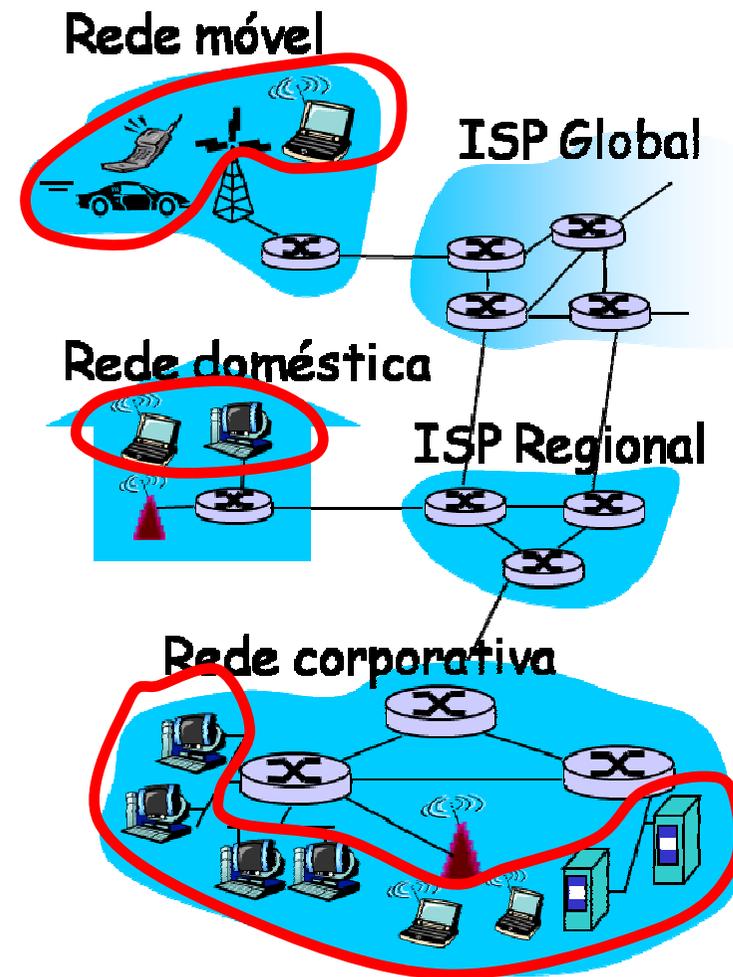
**Tais requisitos deviam ser atendidos independente da aplicação e da tecnologia de acesso ao meio utilizada**

# Redes de Borda

Estações finais e redes de acesso

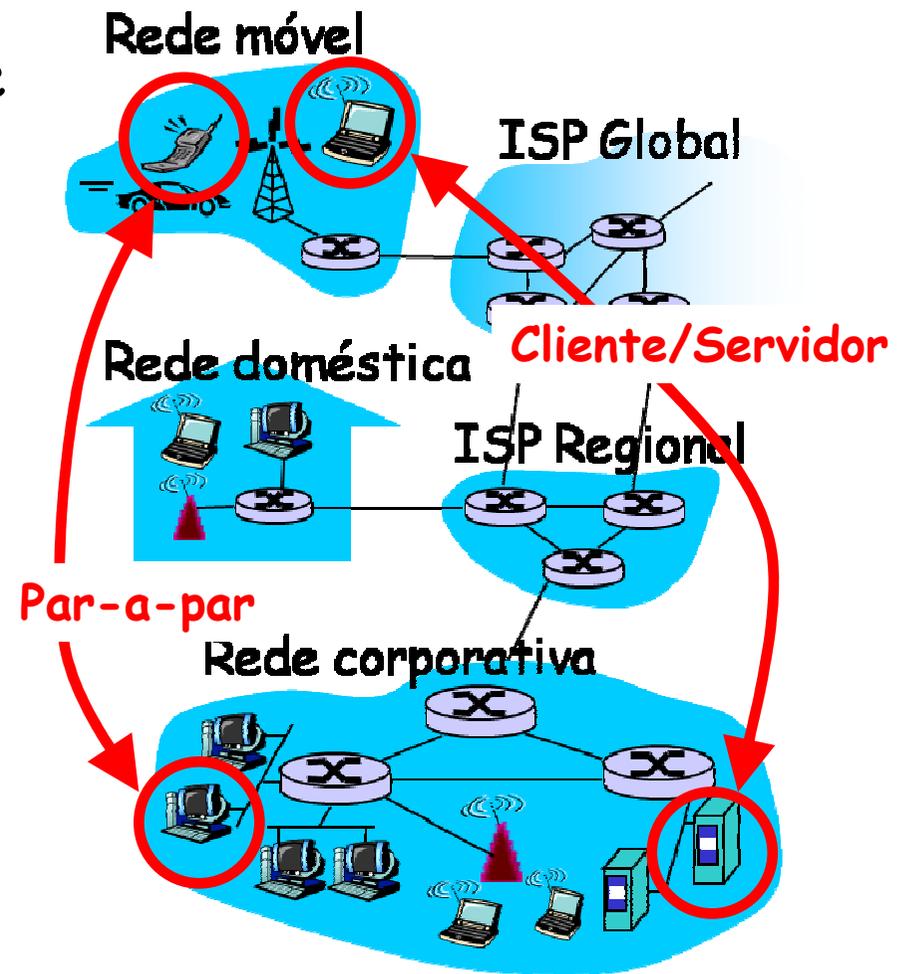
# Redes de Borda

- Estações hospedeiras (hosts) ou sistemas finais
  - Sistemas finais: Encontram-se na borda da rede
    - Podem ser tanto clientes quanto servidores
  - Hospedeiros: Executam os programas de aplicação
    - ex., WWW, email



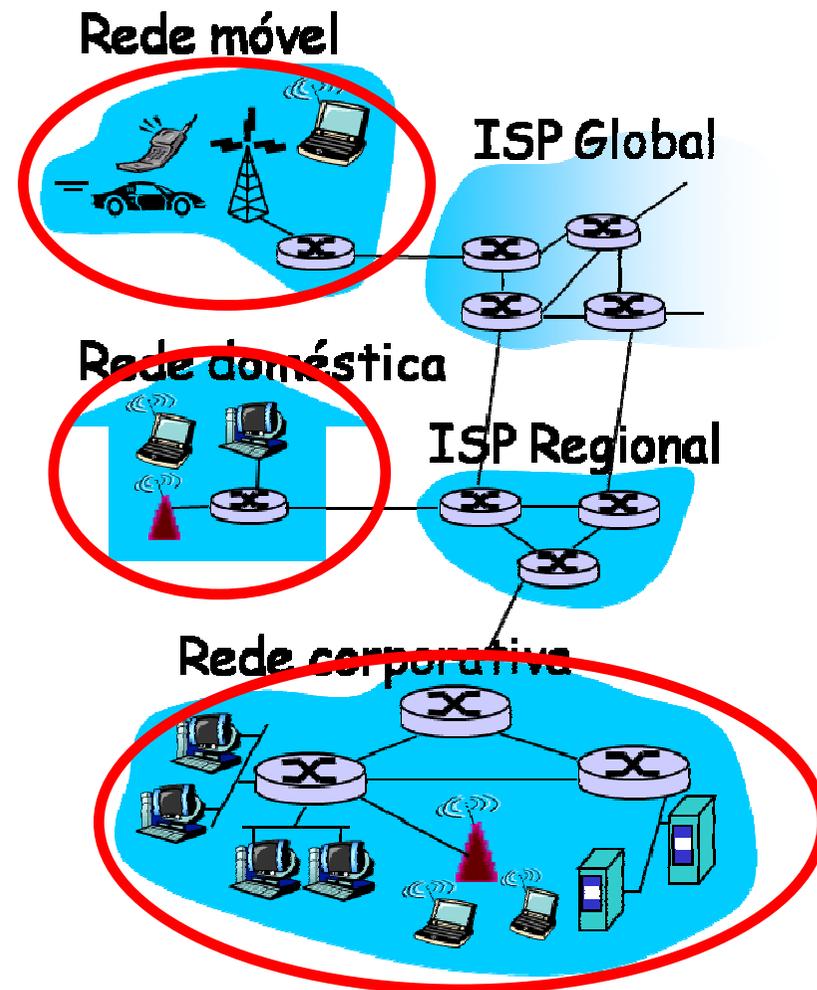
# Redes de Borda

- Modelo de comunicação entre estações finais:
  - Modelo cliente/servidor
    - Cliente faz pedidos que são atendidos pelos servidores
      - Ex.: cliente Web (browser)/servidor e cliente/servidor de e-mail
  - Modelo par-a-par (P2P)
    - Uso mínimo (ou nenhum) de servidores dedicados
      - Ex.: Skype, BitTorrent



# Redes de Borda

- Redes de acesso
  - Conectam um sistema final ao primeiro roteador (roteador de borda)
    - Redes domiciliares
    - Redes de acesso corporativo
    - Redes de ensino e pesquisa
    - Redes de universidades
    - Etc.

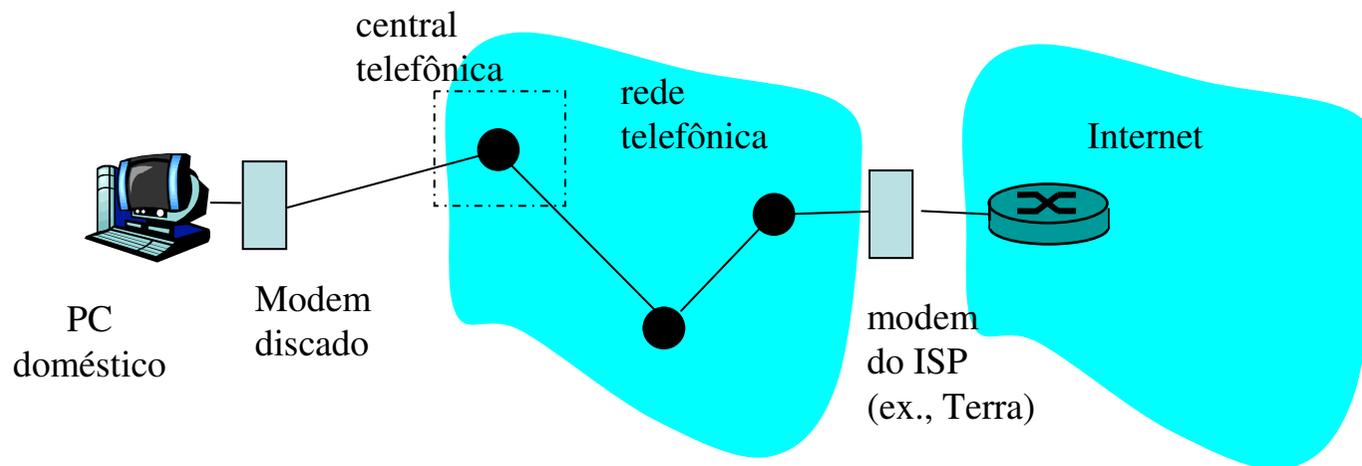


# Acesso Ponto-a-Ponto

- **Acesso discado via modem (*dialup*)**
  - Acesso ao roteador do provedor de serviço em até 56 kb/s
  - Não é possível acessar a Internet e telefonar ao mesmo tempo
- **DSL (*Digital Subscriber Line*)**
  - Banda de até algumas dezenas de MHz
  - Algumas tecnologias possibilitam o uso da linha telefônica em paralelo
  - Taxas de até dezenas de Mb/s

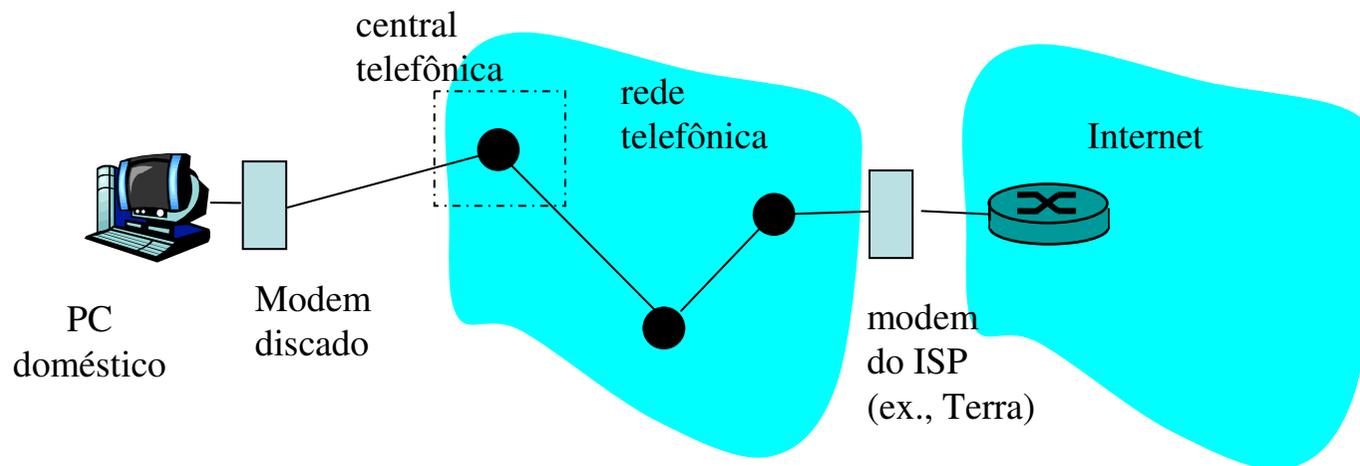
# Acesso Discado

- Modem discado
  - Converte o sinal digital em um formato analógico apropriado para usar a linha telefônica



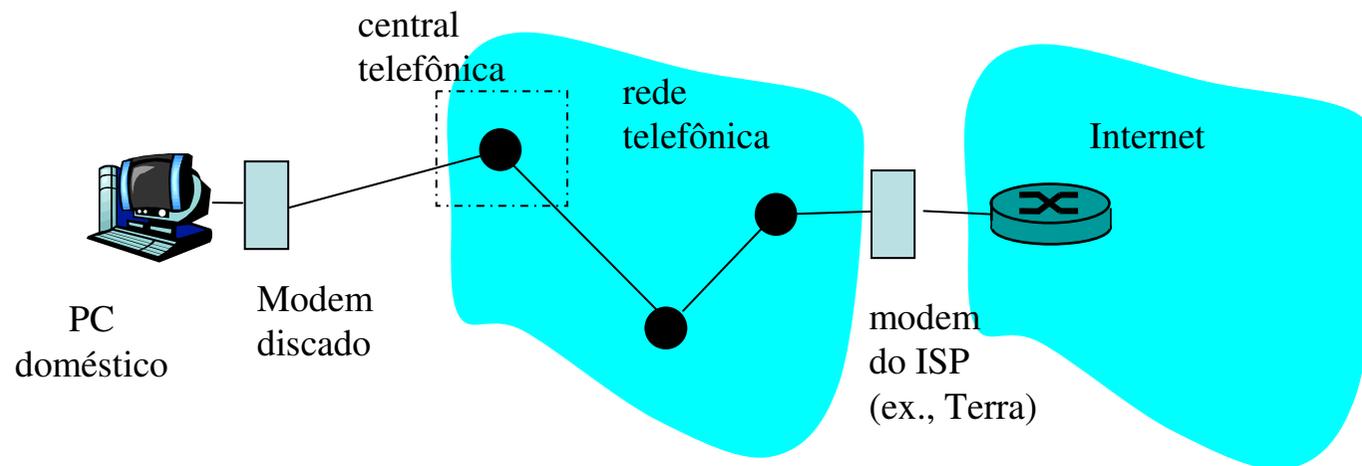
# Acesso Discado

- Conexão
  - Usuário usa um número do provedor de serviço para realizar uma ligação tradicional até o provedor
  - Usa a infraestrutura existente de telefonia
    - Residência está conectada à central telefônica
  - Taxas de até 56 kb/s



# Acesso Discado

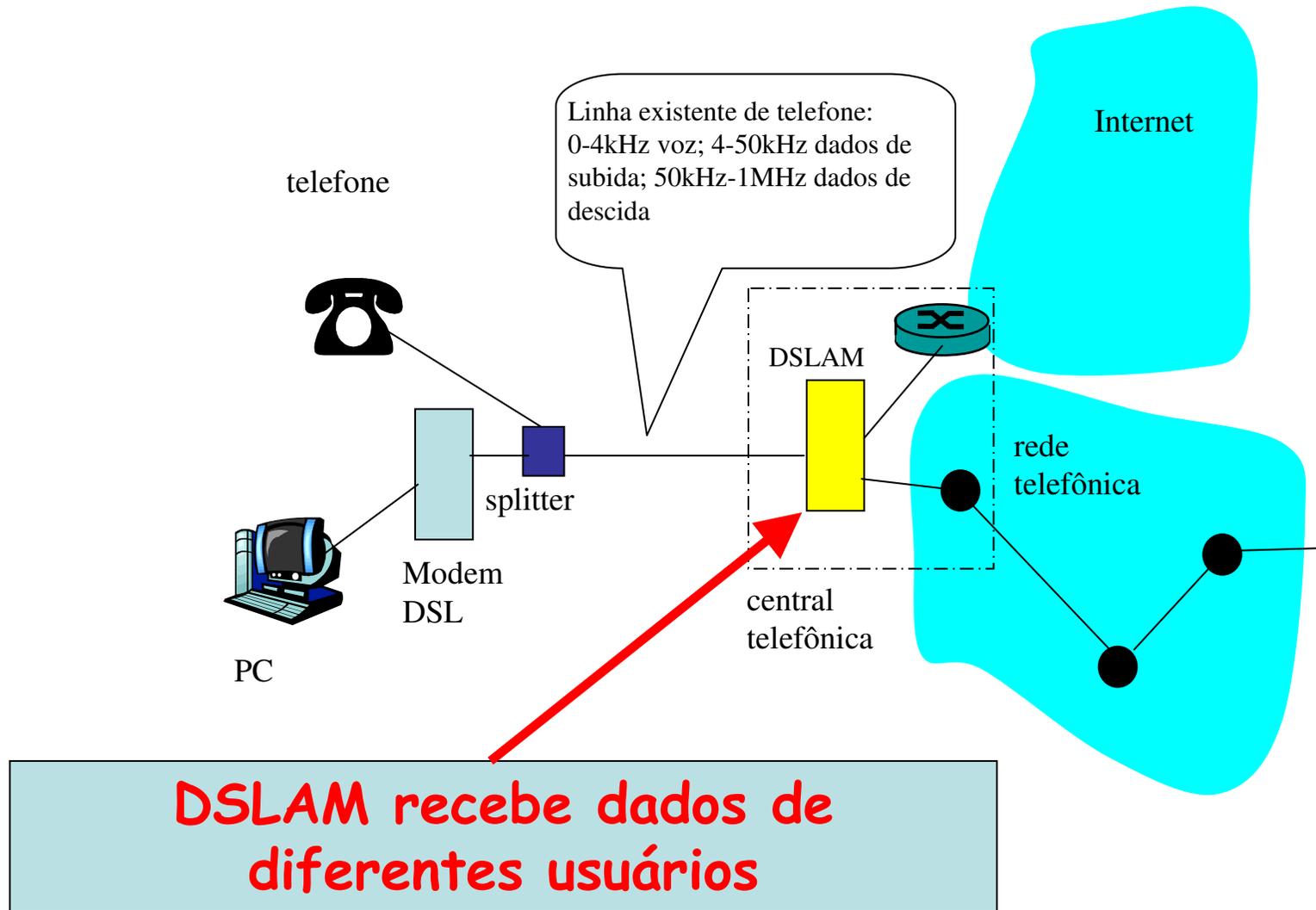
- Modem do provedor
  - Converte o sinal analógico em digital para inserir os dados no roteador conectado à Internet



# DSL (*Digital Subscriber Line*)

- Também usa a infraestrutura telefônica
  - Usa o serviço da mesma empresa do serviço de telefonia local
  - Linha física dedicada até a central telefônica
- Modem DSL
  - Utiliza a linha telefônica existente
- Multiplexadores
  - Dados e voz são enviados na mesma infraestrutura
    - Usa modulação em frequência distintas
      - Downstream em canal de 50kHz a 1MHz
      - Upstream em canal de 4kHz a 50kHz
      - Voz em canal de 0 a 4kHz

# DSL (*Digital Subscriber Line*)



# DSL (*Digital Subscriber Line*)

- Vantagens em comparação ao acesso discado
  - Usuários enviam e recebem dados em taxas muito mais elevadas
    - Taxa de downstream de 1 a 2 Mb/s
    - Taxa de upstream de 128 kb/s a 1 Mb/s
  - Usuários podem falar no telefone e usar a Internet ao mesmo tempo
    - Usuários não precisam discar o número do provedor para acessar a Internet
      - Conexão com o DSLAM é permanente

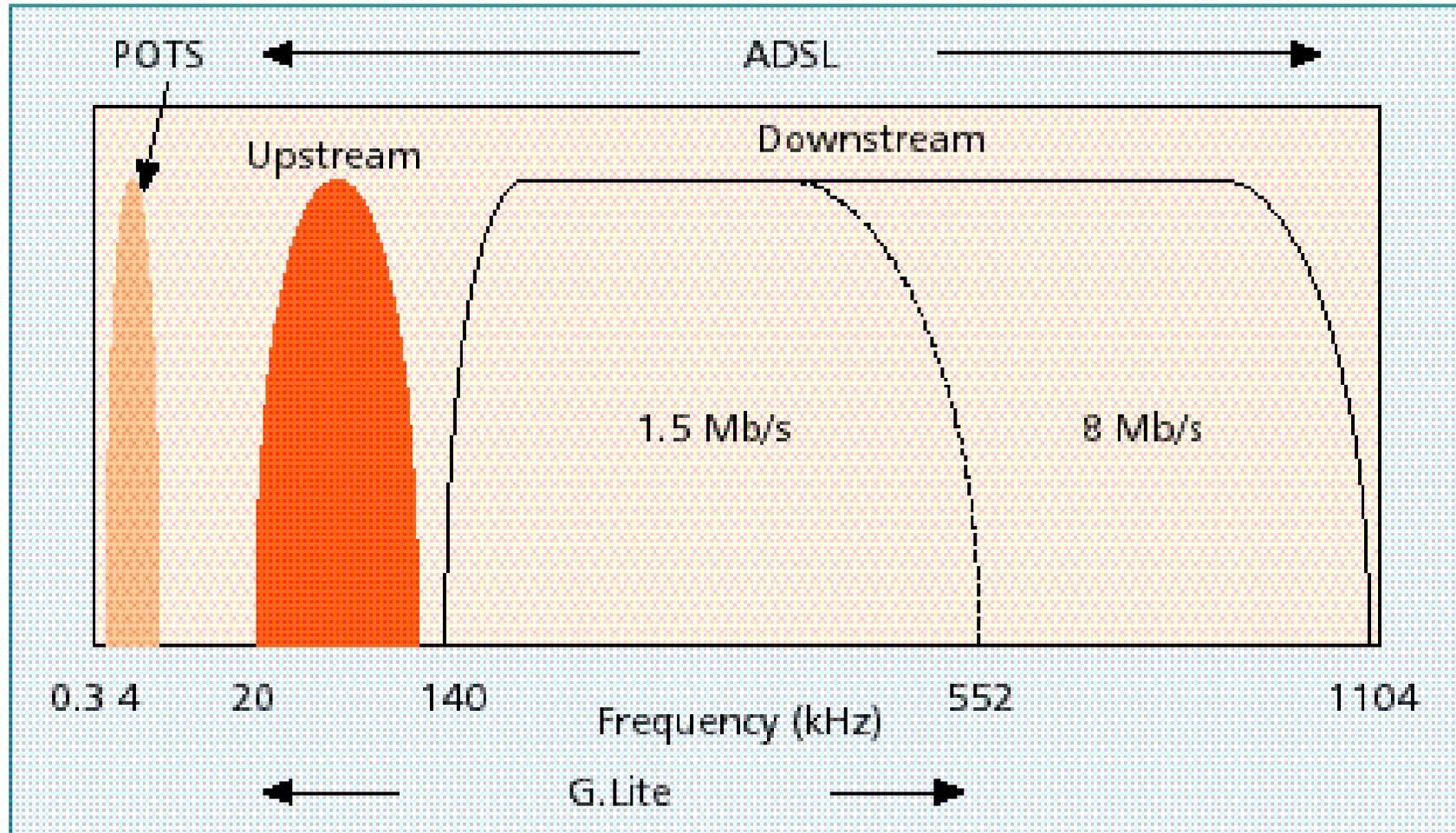
# DSL (*Digital Subscriber Line*)

- Sistemas mais modernos consideram a assimetria do canal
  - Diafonia mais pronunciada no sentido assinante-central (*upstream*)
    - Pares agrupados perto das centrais telefônicas provocam interferência entre si
- *Asymmetric DSL (ADSL)*
  - Maior taxa no *downstream*
    - Reflete o comportamento da maioria dos usuários e aplicações
      - HTTP

# Tecnologias DSL Assimétricas

- ADSL original
  - Objetivo de possibilitar a distribuição de vídeo
    - Exige em geral uma taxa constante
  - Taxa de até 8 Mb/s
  - Utilização de filtros (*splitters*)
    - Sinais ADSL podem interferir na comunicação telefônica

# ADSL: Espectro de Frequências



**POTS:** *Plain old telephone service*

# Sistemas DSL (2004)

Acrônimo	Padrões	Taxa de Transmissão	Banda Passante
HDSL	ITU G.991.1 ETSI TS 101 135 ANSI T1.TR.28	1,544 Mbps simétrico	0-370 kHz
ADSL	ANSI T1.413 ITU G.991.2	até ~1 Mbps <i>up</i> , até ~8 Mbps <i>down</i>	25-138 kHz <i>up</i> , 25-1104 kHz <i>down</i>
RADSL	ANSI T1.TR.59	até ~1 Mbps <i>up</i> , até ~8 Mbps <i>down</i>	25-138 kHz <i>up</i> , 25-1104 kHz <i>down</i>
G.lite	ANSI T1.419 ITU G.992.2	até ~1 Mbps <i>up</i> , até ~1,5 Mbps <i>down</i>	25-138 kHz <i>up</i> , 25-552 kHz <i>down</i>
VDSL	ANSI <i>trial-use</i> <i>standard</i> T1.424 ITU G.vdsl ETSI TS 101 270	até ~13 Mbps <i>up</i> , até ~22 Mbps <i>down</i>	25 kHz - 12 MHz

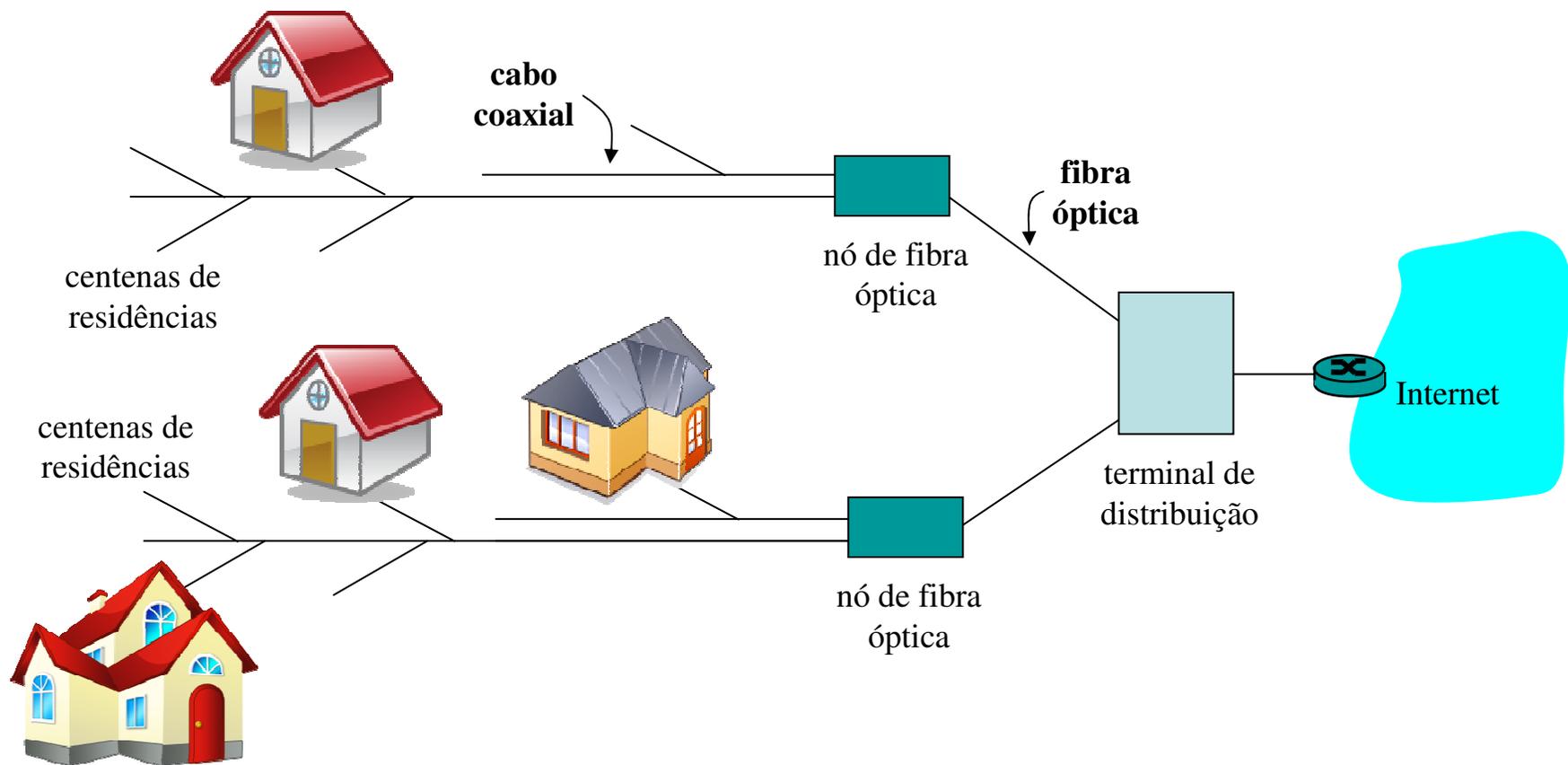
# Problemas Encontrados

- Utilização de frequências mais altas agrava problemas encontrados na rede telefônica
  - Diafonia
    - Acoplamento eletromagnético entre diferentes pares metálicos num mesmo cabo
    - Trançado visa reduzir a diafonia na banda de voz
      - Menor eficiência para frequências mais altas
  - Atenuação dos sinais
    - Aumenta com a frequência
    - Sinais devem atravessar todo o *loop* do assinante
      - Pode chegar a alguns km
      - Diferente das redes domiciliares

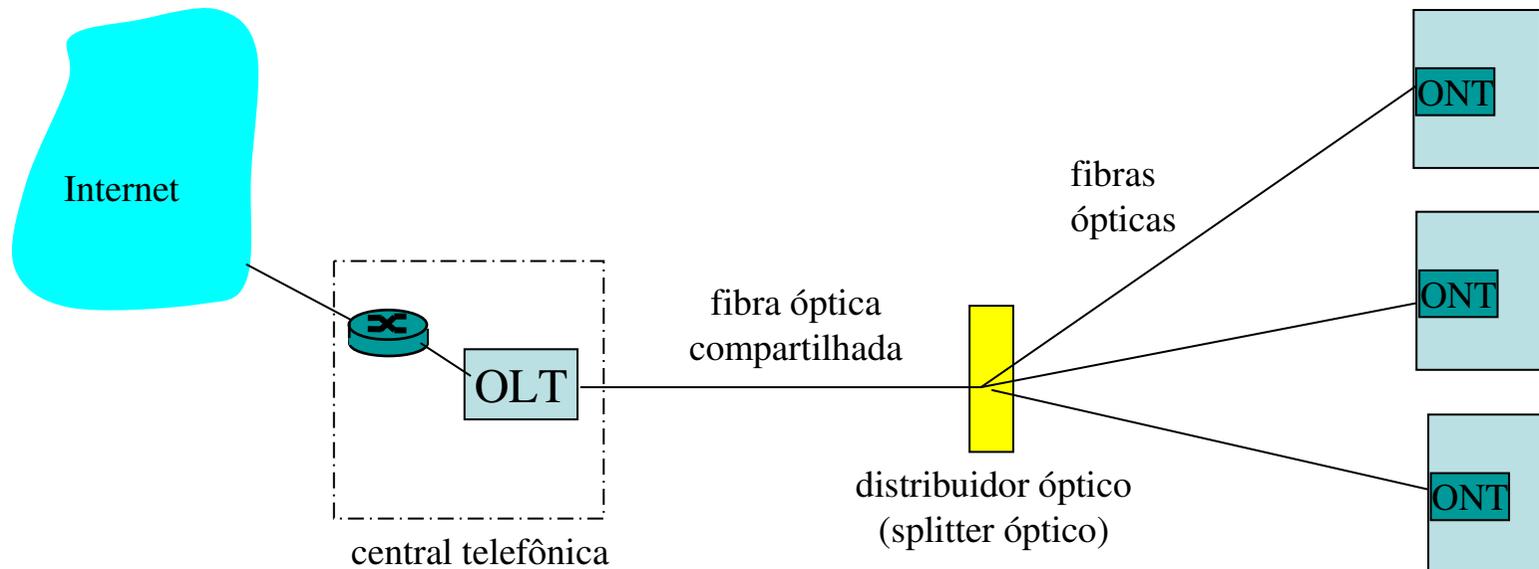
# Modems a Cabo

- Usa a infraestrutura da TV a cabo
  - Ao invés da infraestrutura da rede telefônica
- HFC: cabo híbrido coaxial/fibra
  - Assimétrico
    - Até 30 Mb/s descida (downstream), 2 Mb/s subida (upstream)
  - Rede de cabos e fibra conectam as residências ao roteador do ISP
    - Acesso compartilhado das residências ao roteador
      - Ao contrário do DSL que tem acesso ponto-a-ponto dedicado

# Modems a Cabo



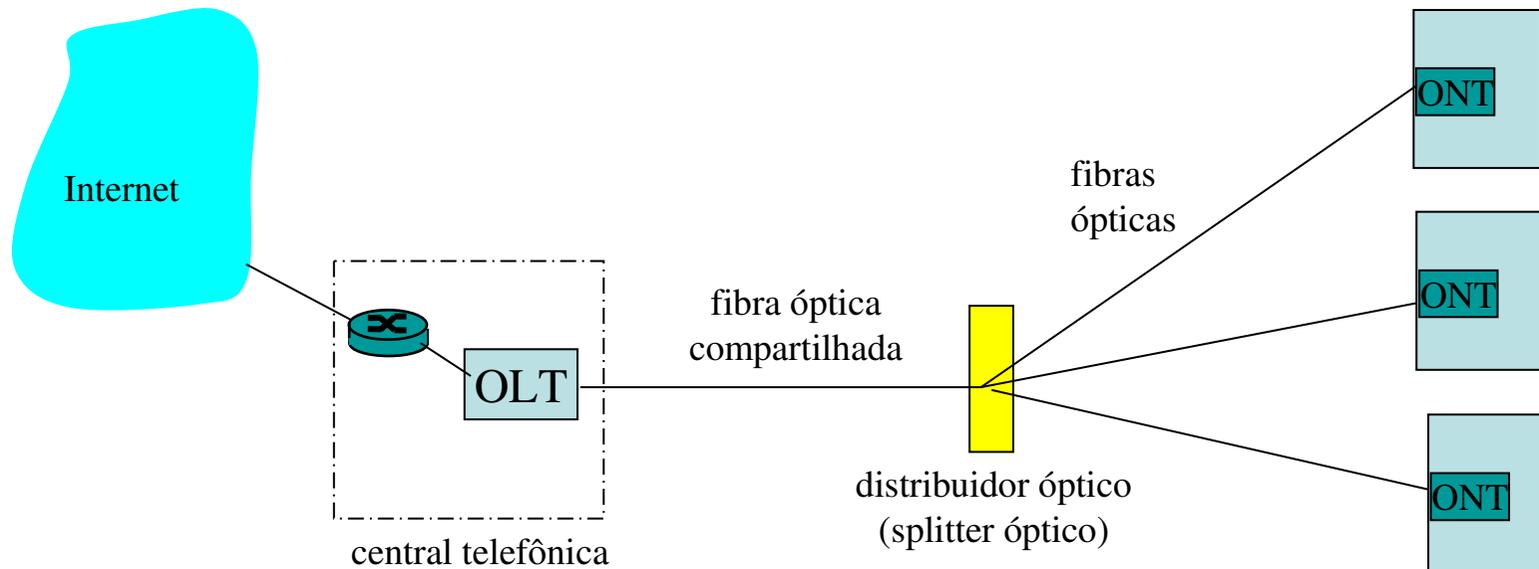
# FTTH (*Fiber to the Home*)



OLT = Optical Line Terminator  
ONT = Optical Network Terminator

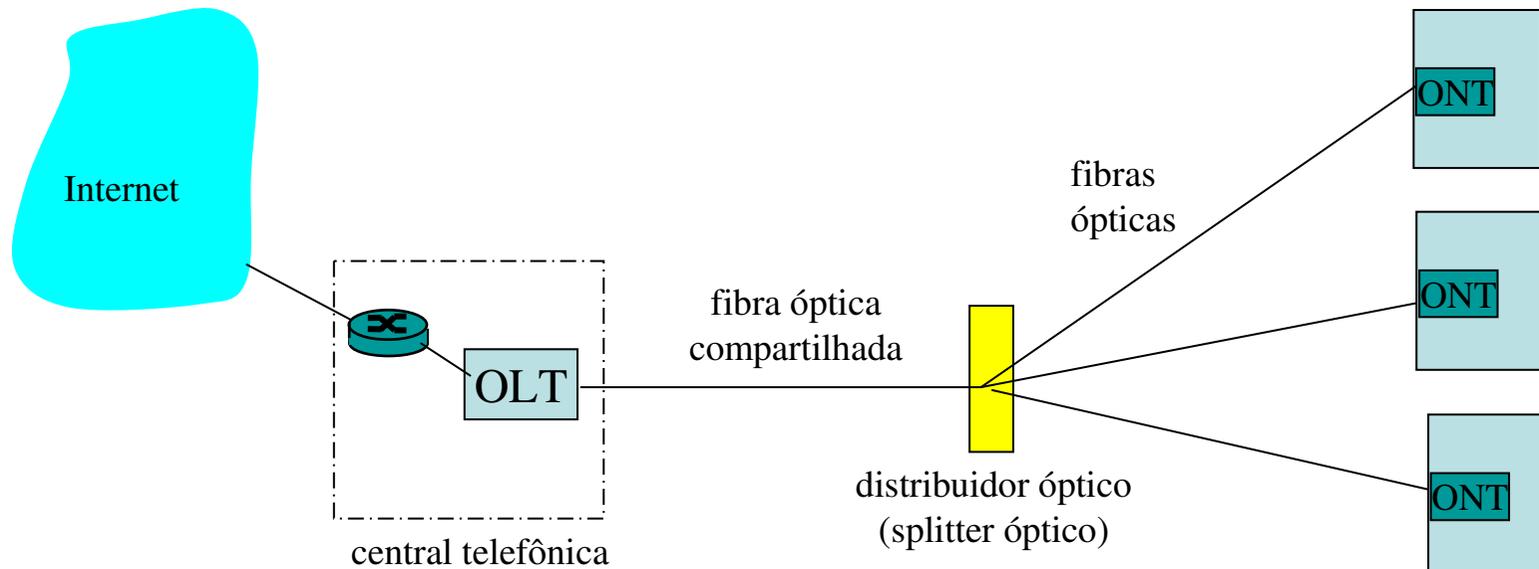
- Enlace ópticos da central telefônica até as residências
- Taxas de transmissão muito mais altas
  - Fibra transporta televisão e serviços telefônicos

# FTTH (*Fiber to the Home*)



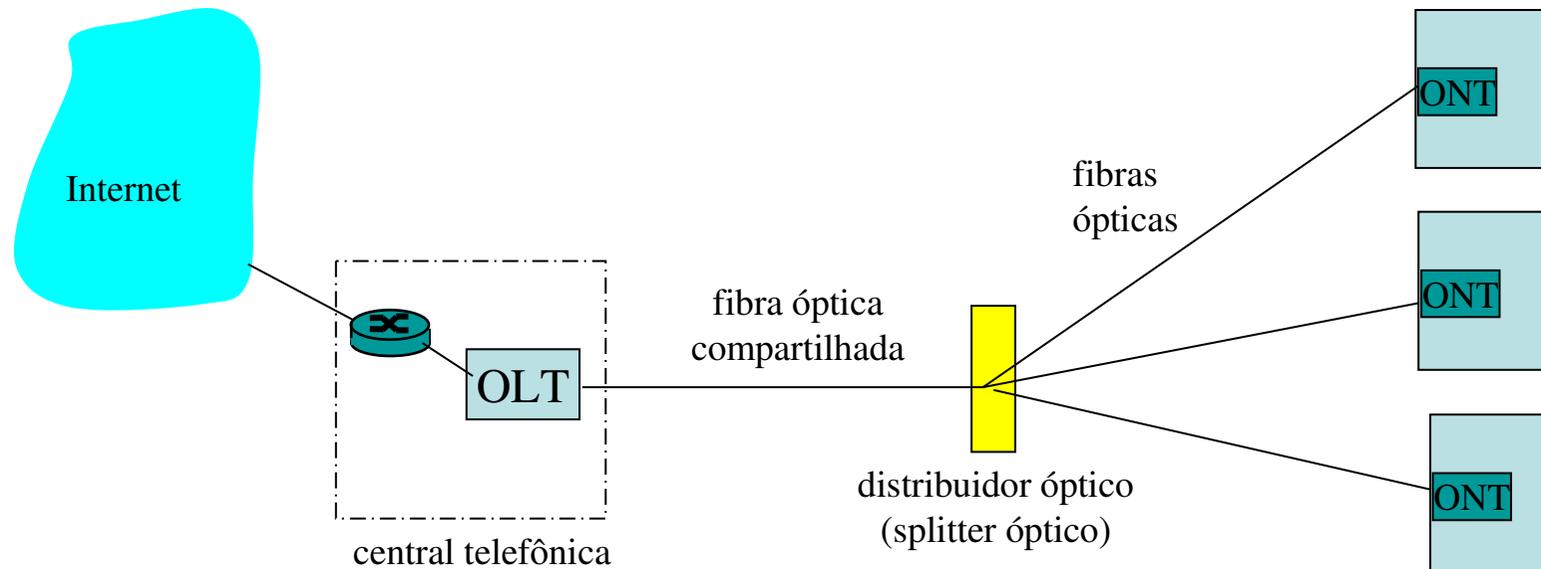
- Duas tecnologias ópticas
  - Rede óptica ativa (PAN)
  - Rede óptica passiva (PON)

# FTTH (*Fiber to the Home*)



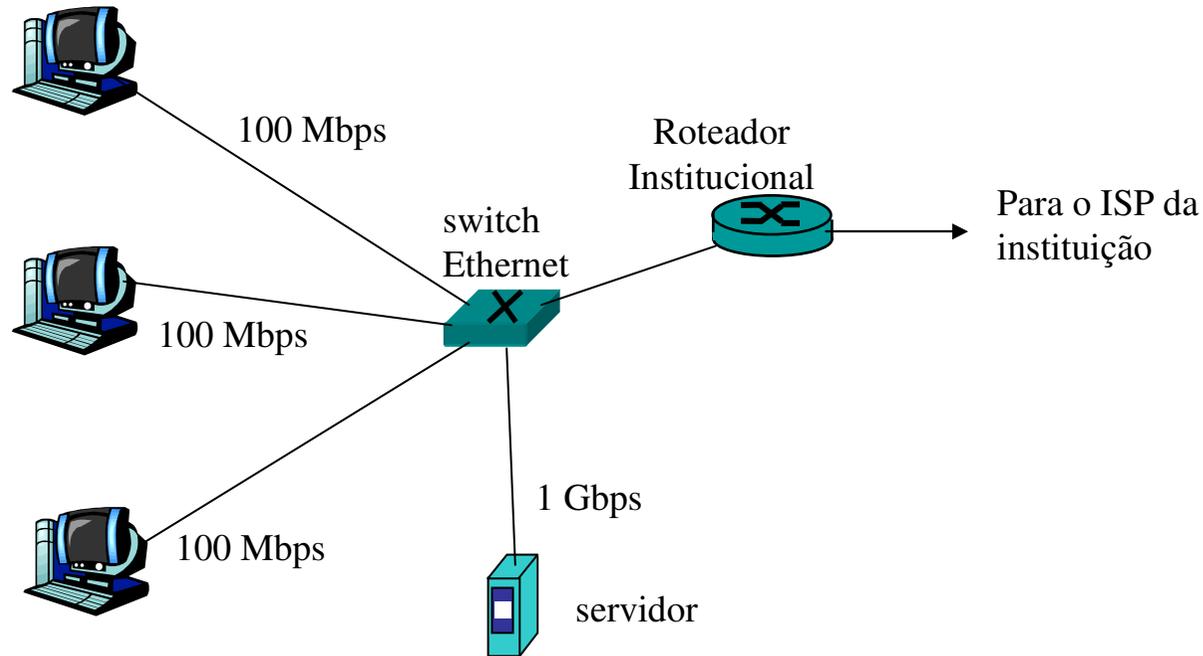
- Rede óptica ativa (PAN)
  - Usa elementos alimentados por energia elétrica
    - **Comutadores e roteadores**
      - **Tráfego comutado até os ONTs**

# FTTH (*Fiber to the Home*)



- Rede óptica passiva (PON)
  - Não há elementos alimentados por energia (usa splitters)
    - Na maioria dos casos...
      - Download é em broadcast depois do splitter
      - Upload é tipicamente em TDMA

# Ethernet



- Usado tipicamente em empresas, universidades, etc.
- Ethernet de 10 Mb/s, 100 Mb/s, 1Gb/s e 10Gb/s
- Hoje tipicamente os sistemas terminais se conectam a comutadores (*switches*) Ethernet

# Rede Ethernet Comutada

- Comutador
  - Processa, armazena e transmite os dados
  - Pares trançados não são compartilhados
    - Não há colisões
  - Transmissão em *full-duplex*
  - Escalável
  - Aumento de eficiência da rede
  - Limitação passa a ser dada pela banda do meio físico ou pela capacidade de comutação

# Redes Sem-Fio

- Tecnologia muito popular
  - Facilidade de instalação
  - Baixo custo
- Mobilidade
- Problema de segurança

# Redes Sem-Fio

- Propagação do sinal pelo ar
  - Atenuação significativa
  - Características do canal podem variar
    - Condições do tempo
    - Número de obstáculos entre o emissor e o receptor
  - Múltiplos caminhos
  - Ambiente hostil
    - Taxa de erro binária bem maior do que em uma rede Ethernet

# Redes Sem-Fio

- Ethernet
  - Colisões detectadas
- Redes sem-fio
  - Não usam detecção de colisão como no CSMA/CD
    - Grande diferença da potência entre o sinal transmitido e o sinal recebido
      - Difícil separação de sinal e ruído
      - Difícil separação do que é transmissão e o que é recepção no transmissor
    - Nem todas as estações escutam as outras
      - Atenuação grande e variável
      - Terminal escondido

# Redes Domiciliares

- Definição
  - "Sistema de comunicação que visa a interconexão de dispositivos encontrados em residências e que tem como objetivo a comunicação, o conforto, a economia de energia, a segurança, a assistência e o lazer"
- Duas correntes representadas por
  - Nova revolução através da automação residencial
    - Ex.: Casa inteligente (Jetsons)
      - Robôs, dispositivos ativados por comandos de voz etc.
  - Benefícios mais imediatos e práticos
    - Ex.: Compartilhamento de arquivos, recursos etc.

# Dispositivos Conectados

- Atualmente...
  - Computadores pessoais e seus periféricos
  - Televisores, vídeo-cassetes, aparelhos de DVD, telefones e outros eletrodomésticos
  - Sensores e câmeras
- No futuro
  - Inteligência embarcada para compartilhamento de dados a alta velocidade
  - **Cidades Inteligentes e Internet das Coisas**

# Aplicações de Redes Domiciliares

- Monitoramento, automação e controle
- Compartilhamento de equipamentos, recursos e **acesso à Internet**
- Comunicação
- Entretenimento

# Tecnologias de Redes Domiciliares

- Diversos produtos e tecnologias ofertados para oferecer recursos de rede e acesso à Internet
  - Diferentes requisitos de aplicações de redes domiciliares
  - Difícil prever qual solução melhor se adapta às redes domiciliares
- Três tipos de redes
  - Com fio
  - Sem fio
  - **Sem novos fios**

# Tecnologias de Redes Domiciliares

- Com fio
  - Ethernet é a solução convencional
  - Maioria das casas não possui o cabeamento necessário
  - Custo de instalação do cabeamento é alto
- Sem fio
  - Enorme sucesso comercial
  - Problemas de desempenho, cobertura, garantia de qualidade de serviço e segurança

# Tecnologias de Redes Domiciliares

- Sem novos fios
  - Uso de uma infraestrutura já existente
    - TV a cabo
      - *Home Cable Network Alliance* criada em 2001
      - Falta de previsão para a criação de um padrão para redes domiciliares
    - Telefônica
      - *Home Phoneline Alliance* criada em 1998
      - Padrão HomePNA
    - Elétrica
      - *HomePlug Powerline Alliance* criada em 2000
      - Padrão HomePlug

# Redes Domiciliares através da Fiação Telefônica

- Usam cabeamento telefônico já existente
  - Par metálico
- Ligação dedicada do assinante com a central
  - Privacidade
    - Impede ação de bisbilhoteiros
  - Meio individualizado
    - Isolamento das redes domiciliares de diferentes assinantes
    - Disponibilidade de toda a banda passante para o domicílio do assinante



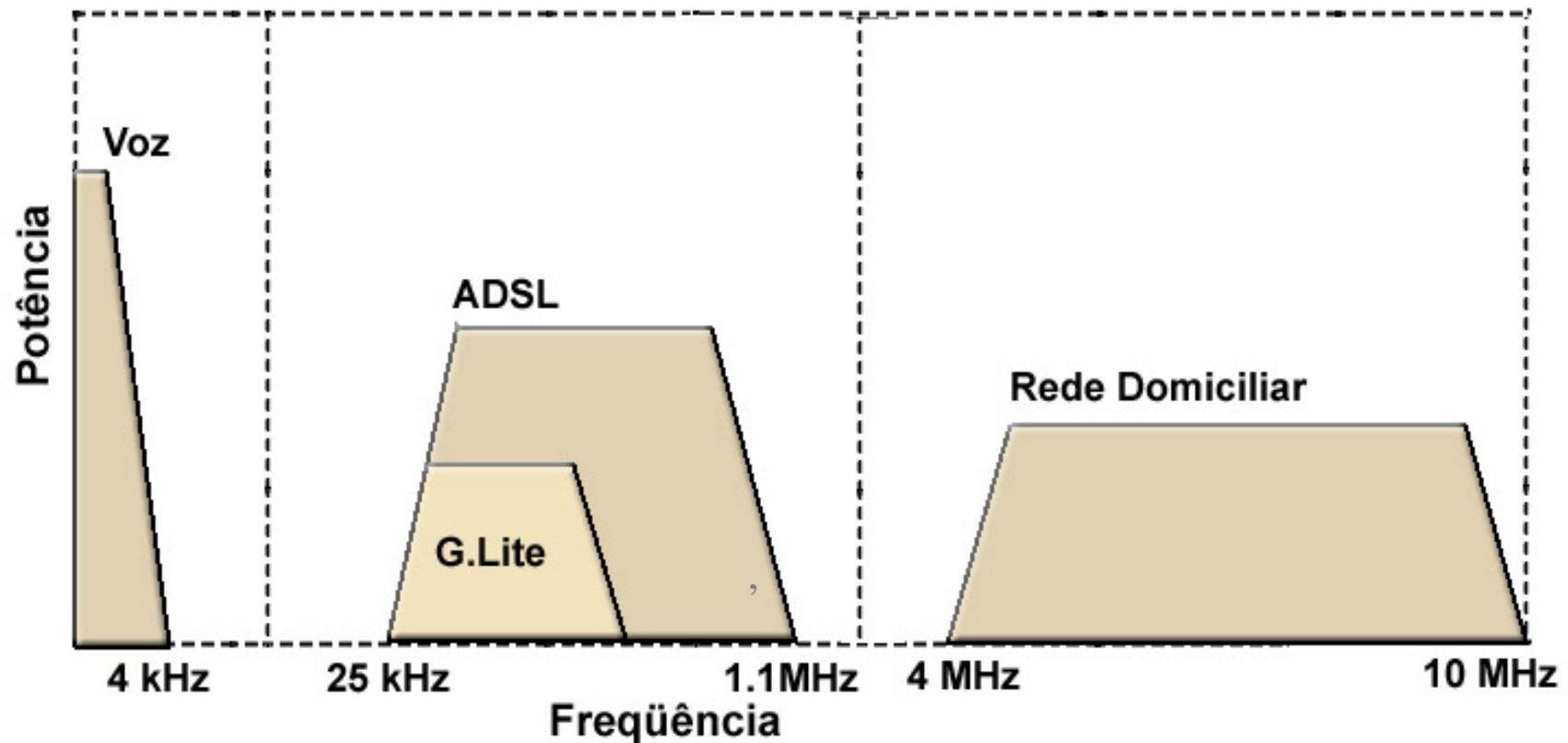
# *Home Phonetline Networking Alliance*

- Rede domiciliar em linha telefônica
  - Aliança criada em 1998
    - *3Com, Agere Systems, AMD, AT&T Wireless Services, HP, Intel* entre outras mais de 150 empresas
- Objetivo de criar um padrão único de redes domiciliares através da fiação telefônica
  - Desenvolvimento de produtos
  - Interoperabilidade

# Padrão HomePNA

- HomePNA 1.0 (1999)
  - Proposta da Tut System
  - 1 Mbps
- HomePNA 2.0 (2000)
  - Proposta da Broadcom
  - Compatível com o HomePNA 1.0
  - Banda de frequências de 4 a 10 MHz
  - 10 Mbps (até 32 Mbps)
  - Base para as recomendações do ITU-T G.989.1, G.989.2 e G.989.3
- HomePNA 3.0 (2003)

# Multiplexação dos Serviços



# Produtos

## Placa de rede Homelink Phoneline 10M



# Produtos

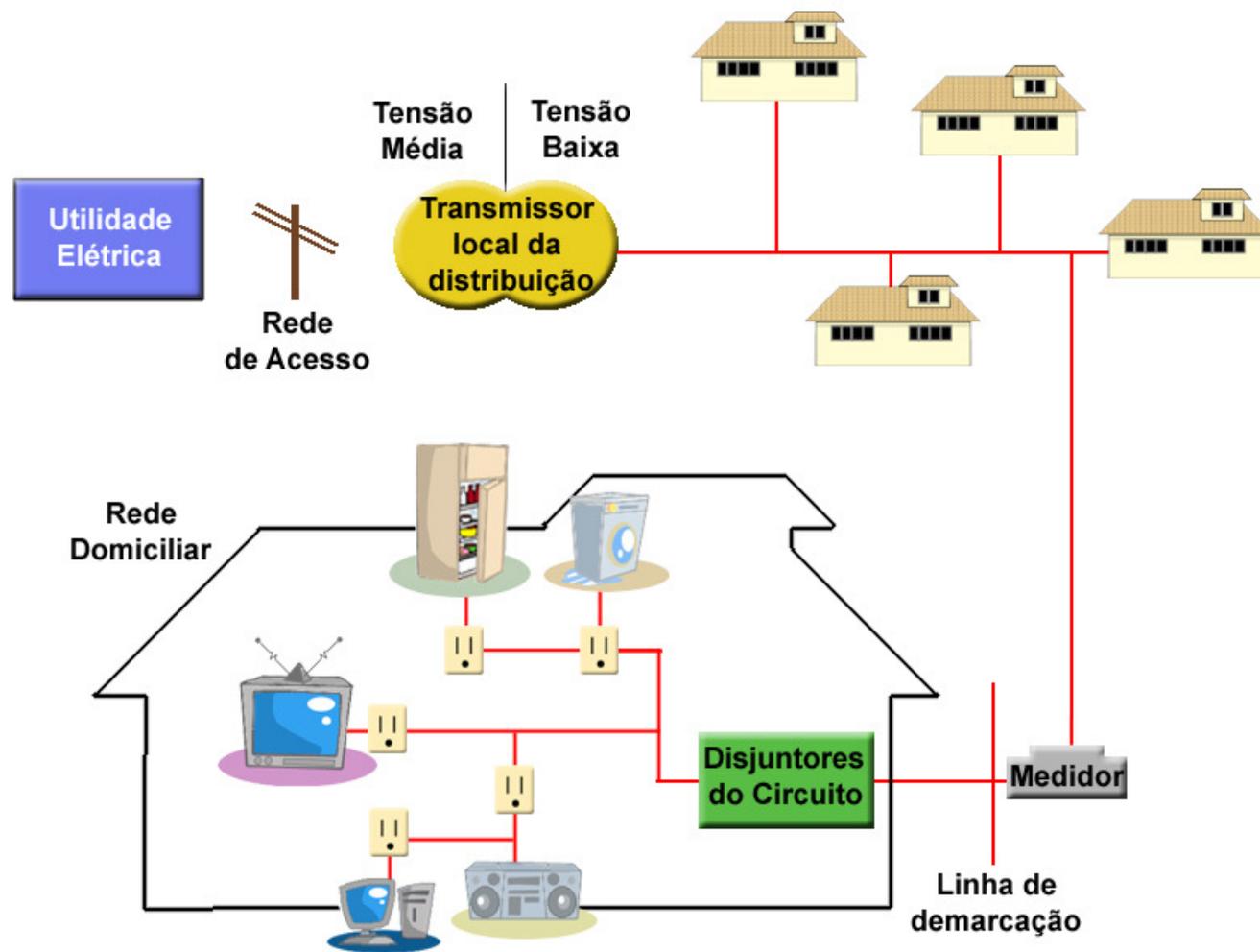
HomeLink Phonenumber 10M Ethernet Bridge



# Redes Domiciliares através da Fiação Elétrica

- Utilizam o cabeamento elétrico já existente na casa
- *Power Line Communications (PLC)*
  - Já existem desde os anos 30
    - Controle industrial
    - Telemetria

# Redes Domiciliares através da Fiação Elétrica



# *HomePlug Powerline Alliance*

- Aliança criada em 2000
  - *3Com, AMD, Cisco, Compaq, Intel, Intellon, Motorola, Panasonic* entre outras
- Objetivo de criar um padrão de redes domiciliares através da fiação elétrica
  - Desenvolvimento de produtos
  - Interoperabilidade

# Padrão HomePlug

- HomePlug 1.0 (2001)
  - 14 Mbps
- HomePlug AV
  - Até 190 Mbps
- IEEE 1901
  - Até 500 Mbps
    - *BoPL (Broadband over Power Lines)*
- HomePlug AV 2.0
  - Até 1,5 Gbps

# Produtos

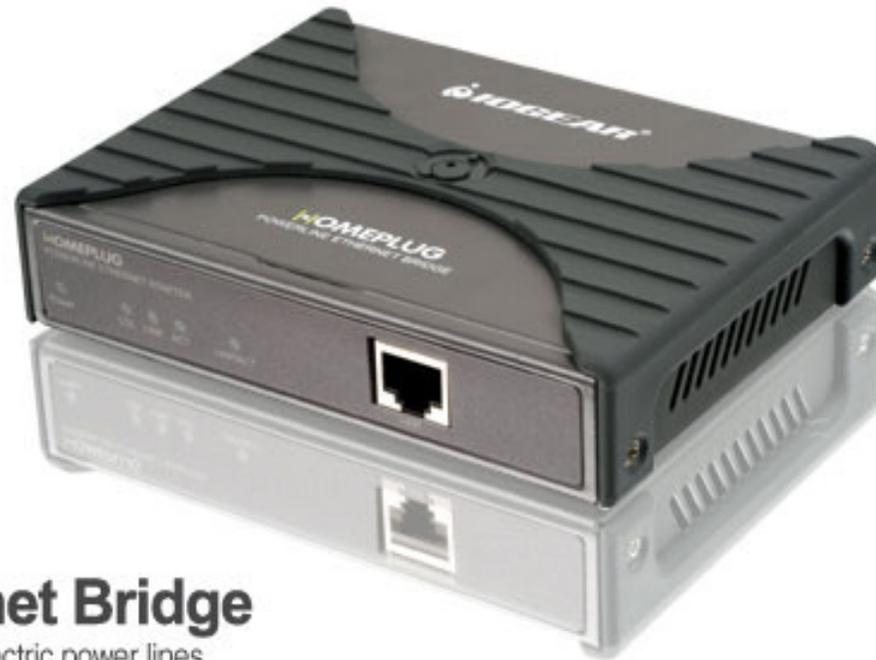
## HomePlug to USB Adapter



**Homeplug USB Adapter, Wall Mount**  
Network your computers using your home's electric power lines

# Produtos

## HomePlug to Ethernet Bridge



**HomePlug Ethernet Bridge**  
Network your computers using the electric power lines

# Quadro Comparativo

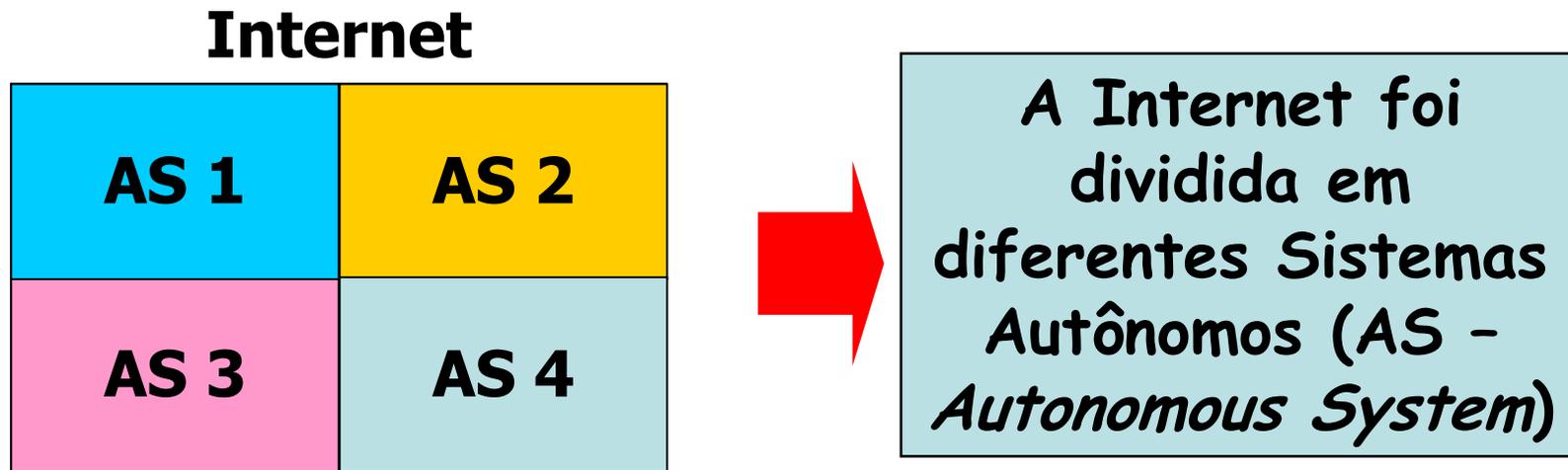
	Ethernet	HomePNA	HomePlug	802.11
Meio físico	****	***	*	**
Taxa (Mbps)	****	***	*	**
Segurança	****	****	**	*
Ubiquidade	*	**	****	***
QoS	*	***	***	*
Custo Infra-estrutura	*	****	****	****
Custo equipamentos	***	**	**	**

- Não existe um vencedor
  - Depende das necessidades do usuário

# Redes de Núcleo

# Crescimento da Internet

- A Internet cresceu aceleradamente
  - Maior complexidade de gerenciamento e administração
  - Atualizações de topologia se tornaram mais frequentes



# Sistema Autônomos (ASes)

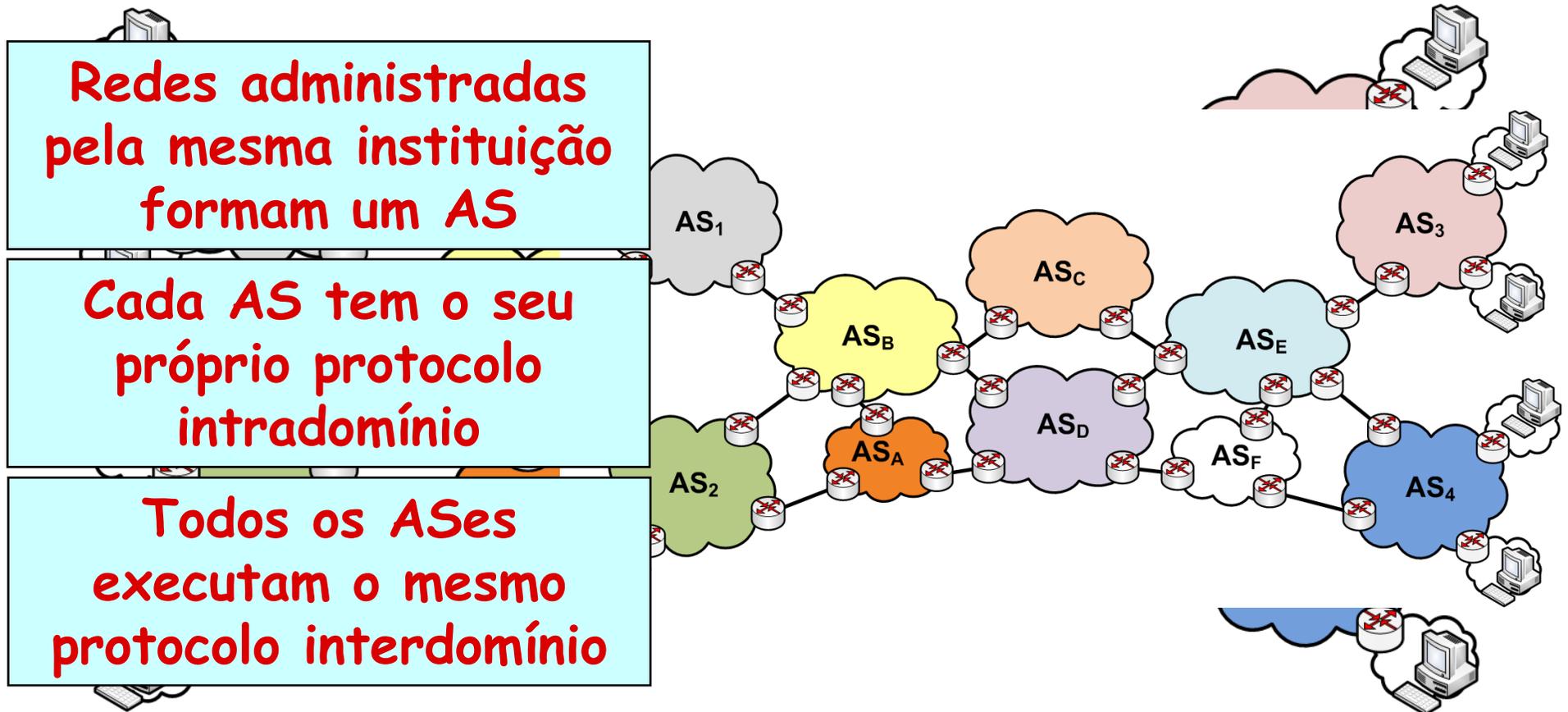
- Conjunto de redes e roteadores administrados por um grupo ou uma instituição comum
  - Cada instituição escolhe o seu próprio protocolo de roteamento interno
    - **Protocolo intradomínio**
  - Todas as instituições executam o mesmo protocolo de roteamento externo
    - **Protocolo interdomínio**



**O uso de um protocolo interdomínio comum é um requisito para que todos os Sistemas Autônomos mantenham conectividade**

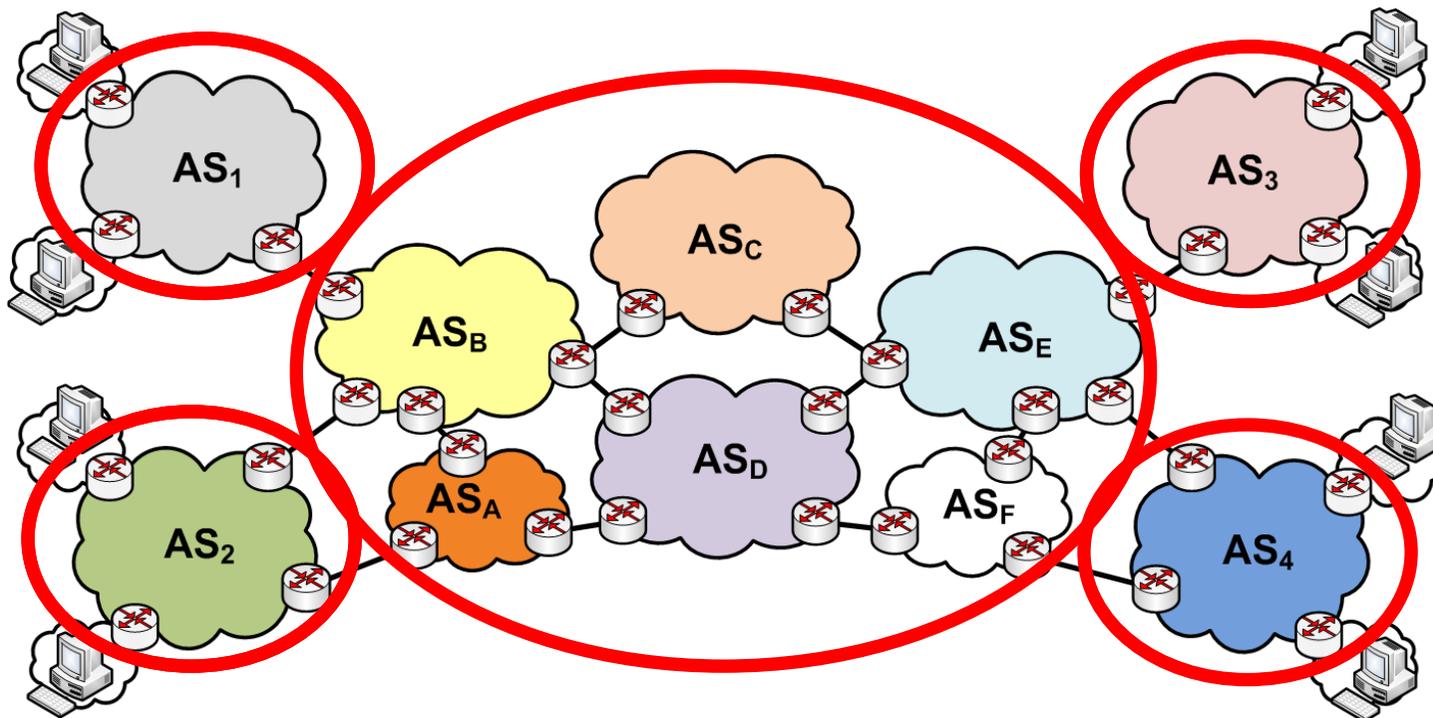
# Internet: "Rede de Redes"

- Composta por diferentes redes interconectadas
  - Protocolo de interconexão: **IP**



# Classificação dos ASes

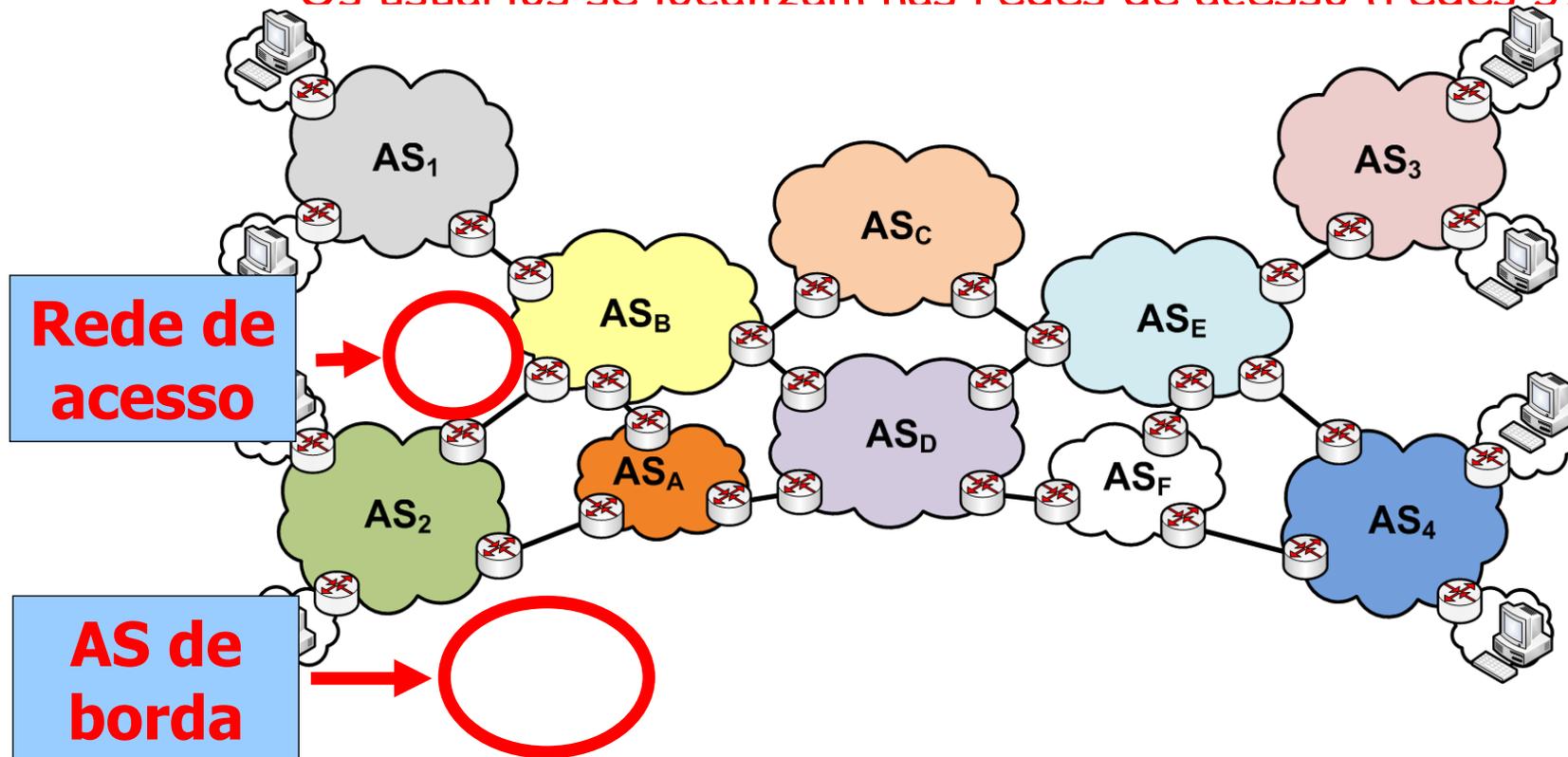
- Feita a partir da posição na topologia da Internet



**ASes que não estão conectados a usuários → ASes de trânsito**

# Classificação dos ASes

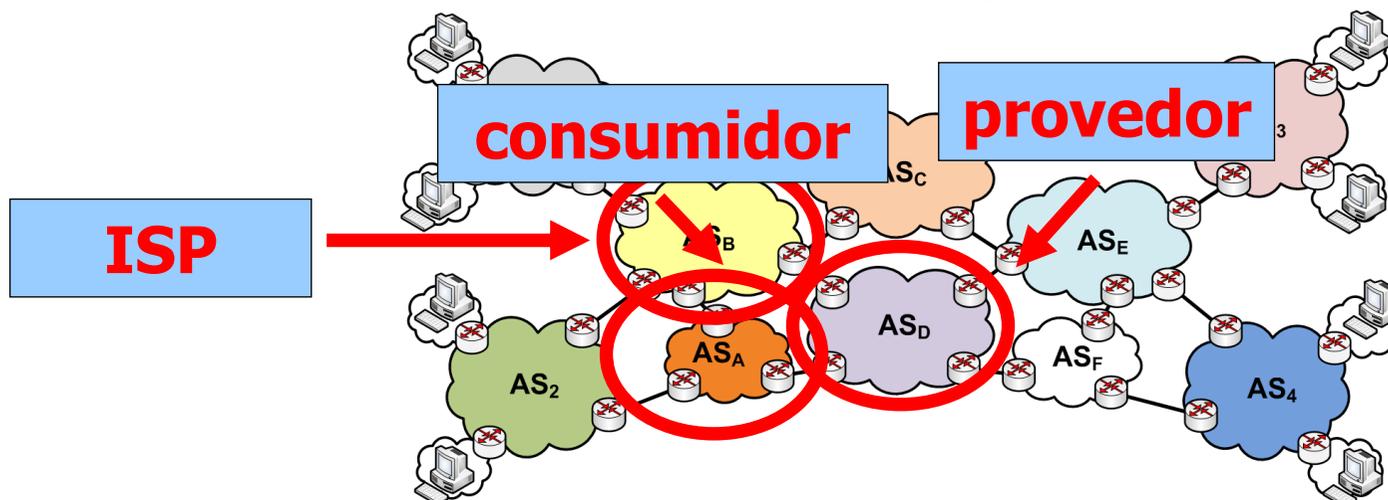
- ASes de borda ou provedores de acesso
  - Tarifam os usuários pelo acesso à Internet
  - Os usuários se localizam nas redes de acesso (redes stub)



# Classificação dos ASes

- ASes de trânsito
  - Não estão diretamente conectados a usuários
  - Encaminham dados entre ASes
    - Os ASes estabelecem acordos comerciais com os seus vizinhos
    - Responsáveis pelos ASes → ISP (*Internet Service Provider*)

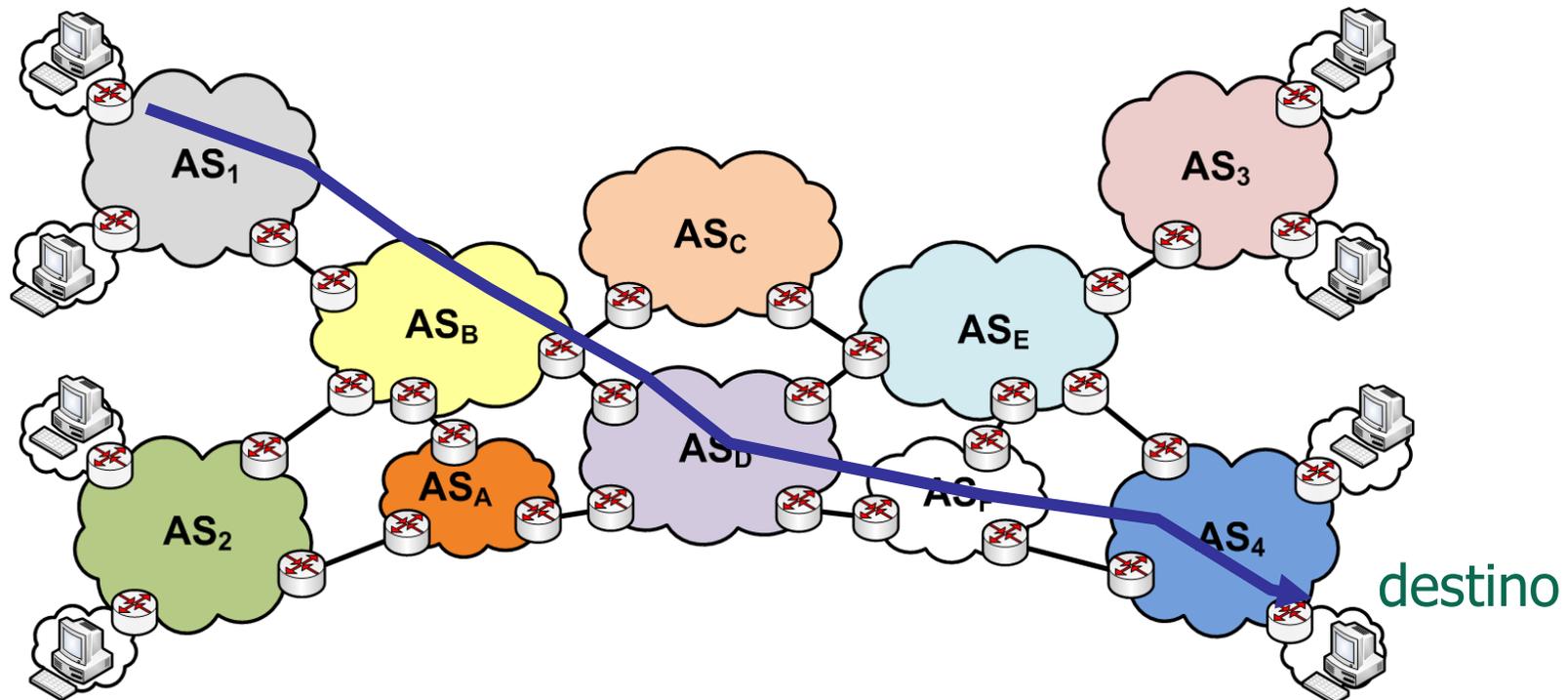
“peering”



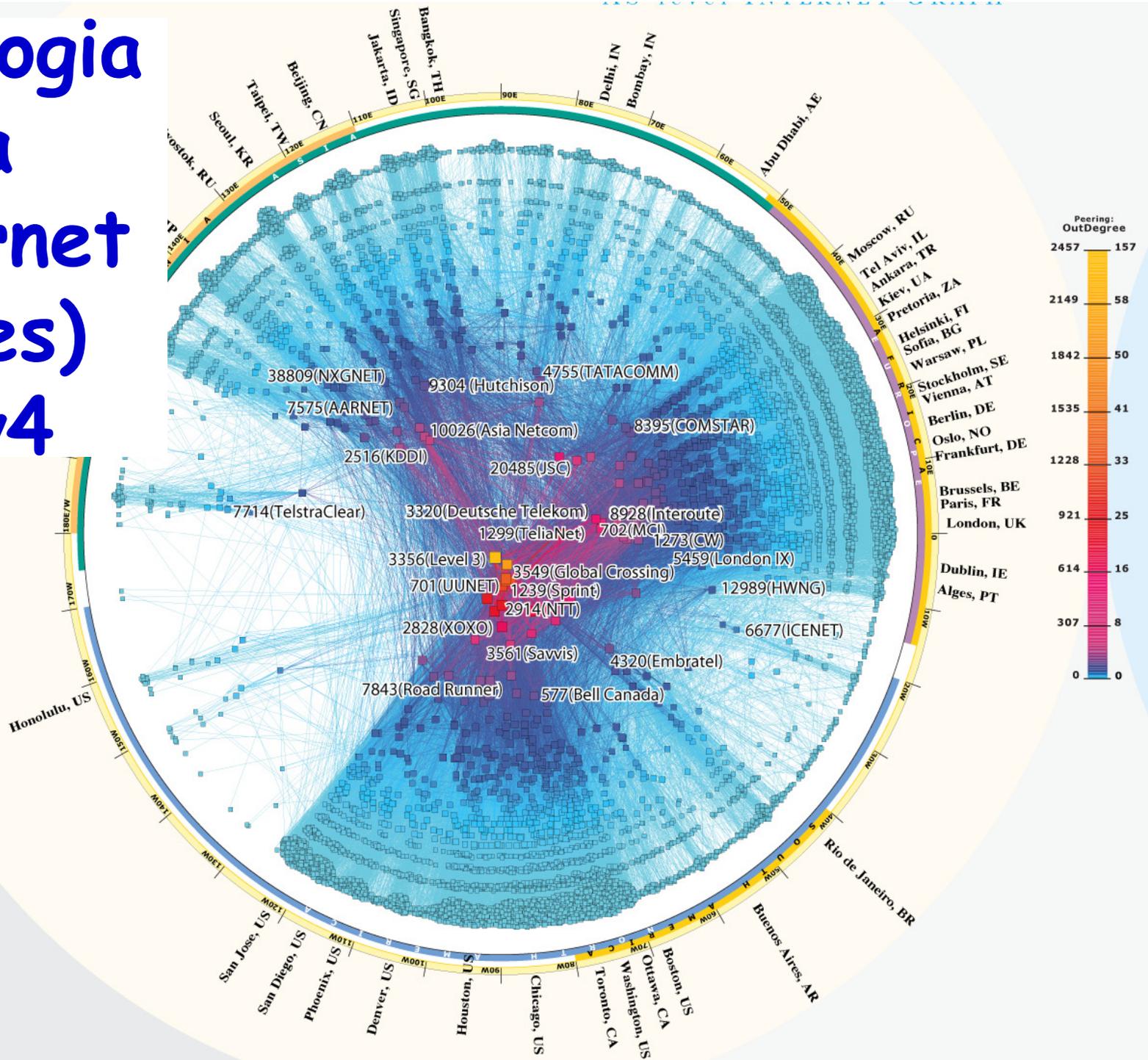
# "Rede de Redes"

Um pacote atravessa diferentes redes

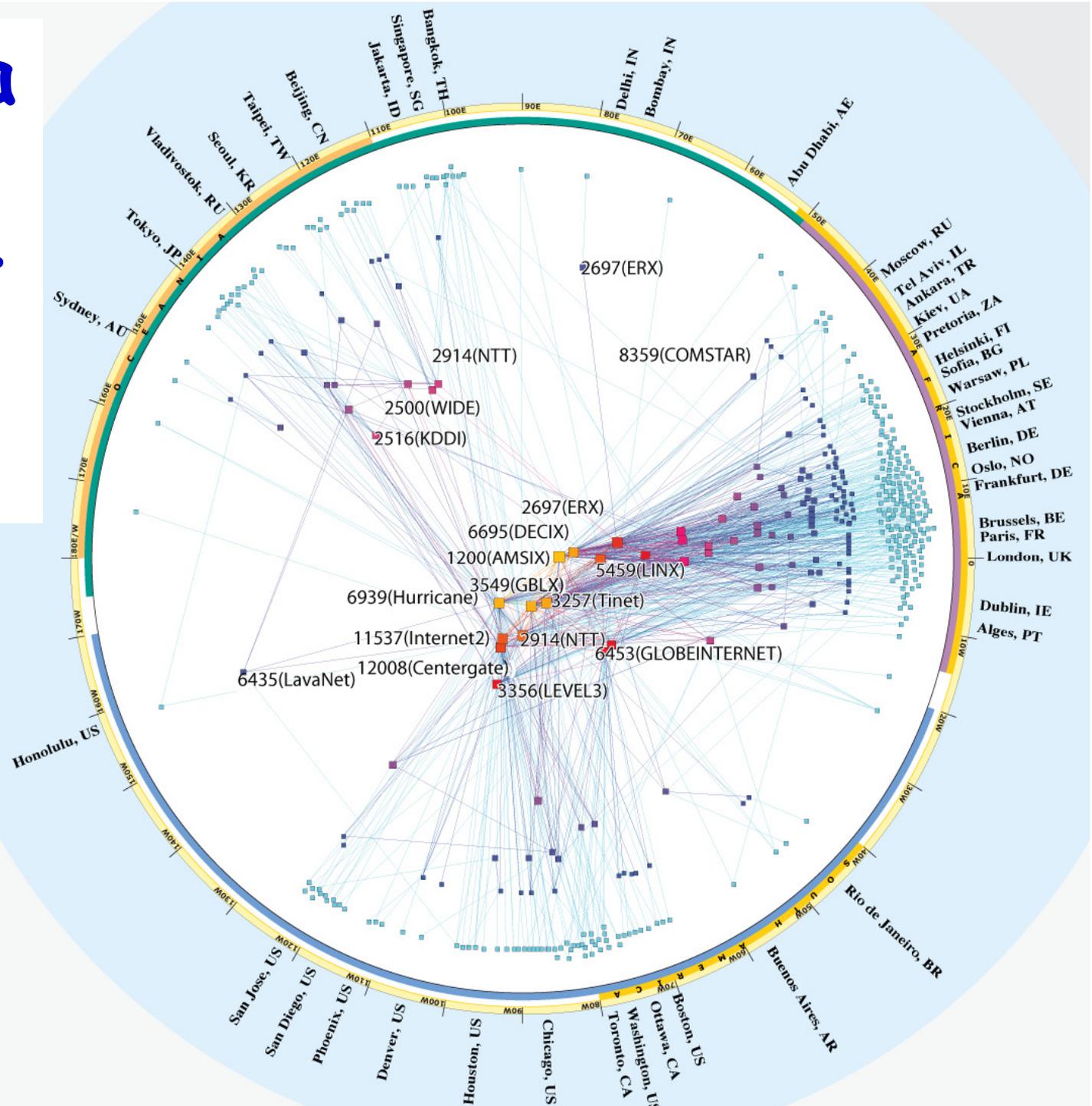
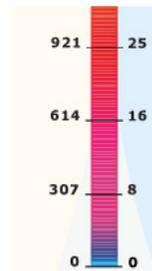
origem



# Topologia da Internet (Ases) IPv4

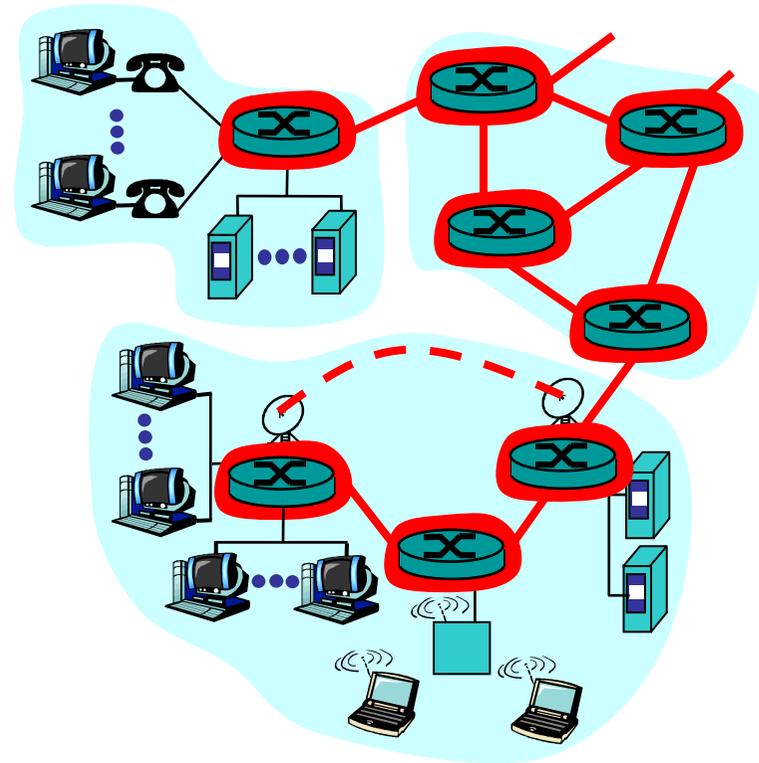


# Topologia da Internet (Ases) IPv6



# Transferência de Dados

- Núcleo da rede
  - Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?
  - Comutação de circuitos
    - Circuito dedicado por chamada: rede telefônica
  - Comutação de pacotes
    - Dados são enviados através da rede em pedaços discretos



# Transferência de Dados

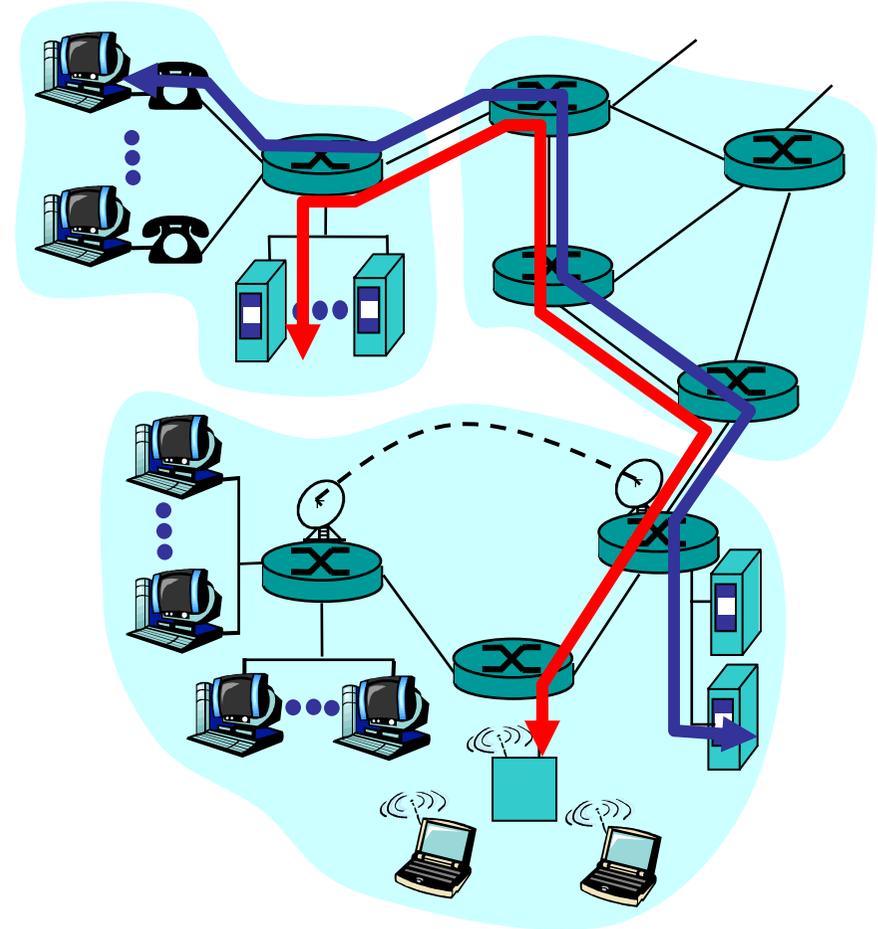
- Núcleo da rede
  - Malha de roteadores interconectados
- Como os dados são transferidos através da rede?
  - Comutação de circuitos
    - Circuito dedicado
    - Chegada de dados
  - Comutação de pacotes
    - Dados são enviados através da rede em pedaços discretos



**A Internet é uma rede de comutação de pacotes**

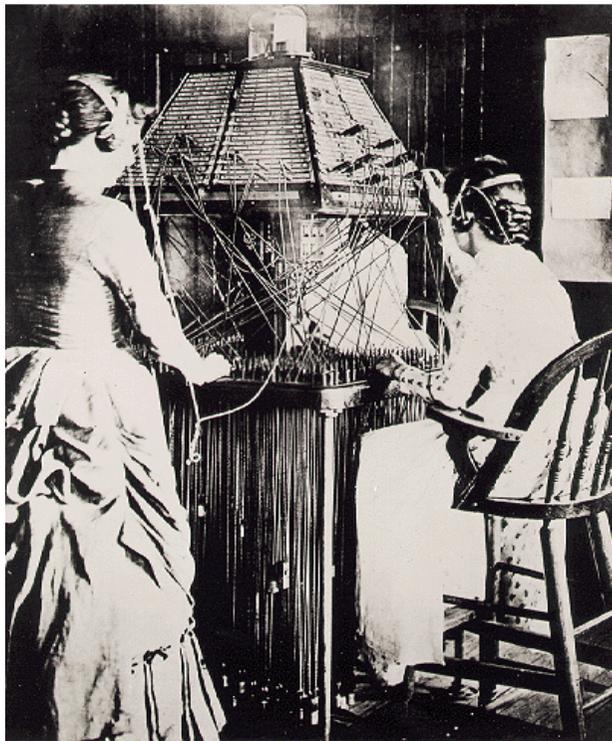
# Comutação de Circuitos

- Recursos fim-a-fim são **reservados** para a chamada
  - Banda do enlace, capacidade dos comutadores
  - Recursos dedicados
  - Garantia de desempenho
  - Estabelecimento de conexão



# Comutação de Circuitos

From Computer Desktop Encyclopedia  
Reproduced with permission.  
© 1996 AT&T



<http://www.telephonemuseumofgridley.org/>

# Comutação de Circuitos

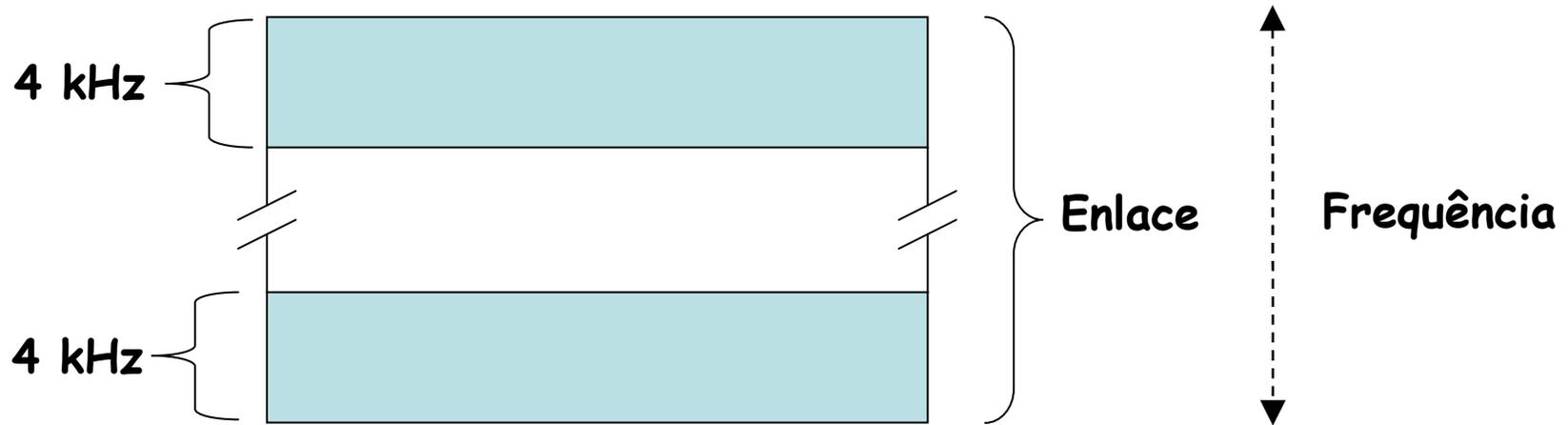
- Recursos da rede são **divididos em "fatias"**
  - Ex.: banda passante
- Fatias alocadas às chamadas
- A fatia do recurso fica **ociosa** se não for usado pelo seu dono
  - Não há compartilhamento
- Como é feita a divisão da banda de um canal em "fatias" (multiplexação)
  - Divisão de frequência
  - Divisão de tempo

# Comutação de Circuitos

- Comunicação em três fases
  - Estabelecimento do circuito (conexão)
    - Determinação e alocação de uma rota entre as estações
    - Alocação de um canal por enlace
  - Transferência de dados
  - Desconexão do circuito

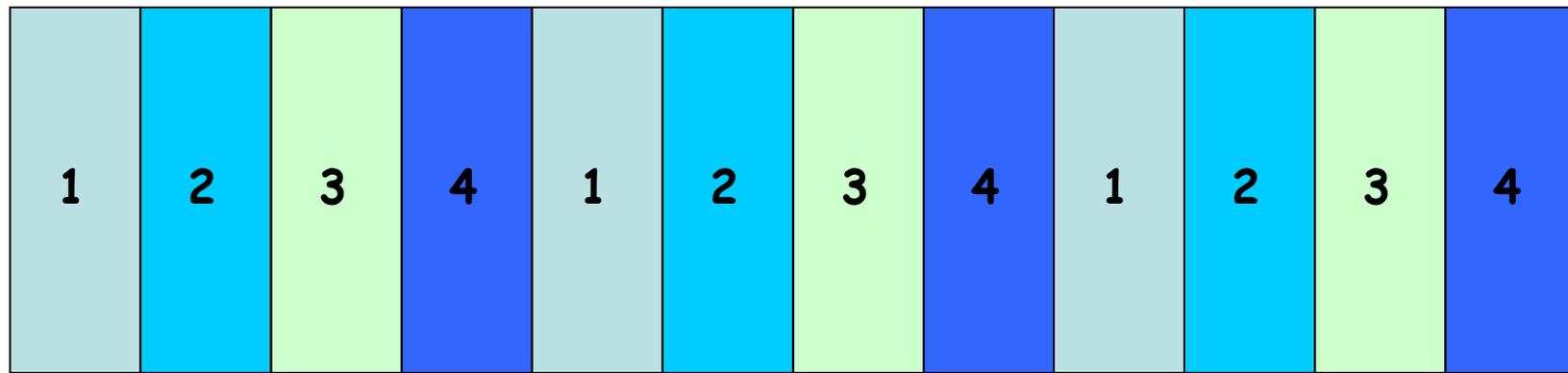
# Comutação de Circuitos

FDM



# Comutação de Circuitos

TDM



# Comutação de Circuitos

- Após o estabelecimento, tem-se a impressão que há uma ligação direta entre as estações
- Atrasos
  - Estabelecimento de conexão
  - Transmissão
    - Número de bits / taxa de transmissão
  - Propagação
    - Distância entre nós / velocidade de propagação
- Ex.: rede telefônica
  - Conexão (circuito) precisa ser estabelecida para a comunicação iniciar

# Comutação de Circuitos

- Vantagens
  - Garantia de recursos
  - Disputa pelo acesso somente na fase de conexão
  - Não há processamento nos nós intermediários
    - Menor tempo de transferência
  - Controle nas extremidades

# Comutação de Pacotes

- Cada fluxo de dados fim a fim é **dividido em pacotes**
  - Pacotes de diferentes usuários **compartilham** os recursos da rede
  - Cada pacote usa toda a banda disponível do canal
  - Recursos são usados sob demanda

~~Divisão da banda em "fatias"  
Alocação dedicada  
Reserva de recursos~~

# Comutação de Pacotes

- Pacotes contém dados e cabeçalho (informação de controle) → maior *overhead*
  - Cabeçalho inclui informação para permitir a escolha de uma rota (roteamento) para o pacote

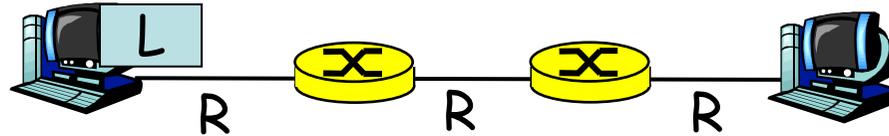
# Comutação de Pacotes

- Disputa por recursos
  - A demanda total pode superar a quantidade disponível de recursos
  - Possibilidade de congestionamento
    - Pacotes são enfileirados, esperam para usar o enlace
      - Filas têm tamanho finito e portanto podem provocar descarte de pacotes
  - Armazena e reenvia (store and forward)
    - Pacotes transmitidos salto-a-salto
      - Transmite num enlace
      - Espera a vez no próximo

# Comutação de Pacotes

- Nós intermediários (comutadores de pacotes, também chamados roteadores) têm a função de encaminhar os pacotes
  - Nós armazenam e processam
    - Roteamento, controle de fluxo e controle de erros
- Pode-se usar prioridades

# Comutação de Pacotes: armazena-e-reenvia



- Leva  $L/R$  segundos para transmitir um pacote de  $L$  bits em um canal de  $R$  bits/s
- Todo o pacote deve chegar ao roteador antes que possa ser transmitido no próximo canal:  
**armazena e reenvia**
- No exemplo acima, atraso =  $3L/R$  (assumindo que o atraso de propagação seja desprezível!)

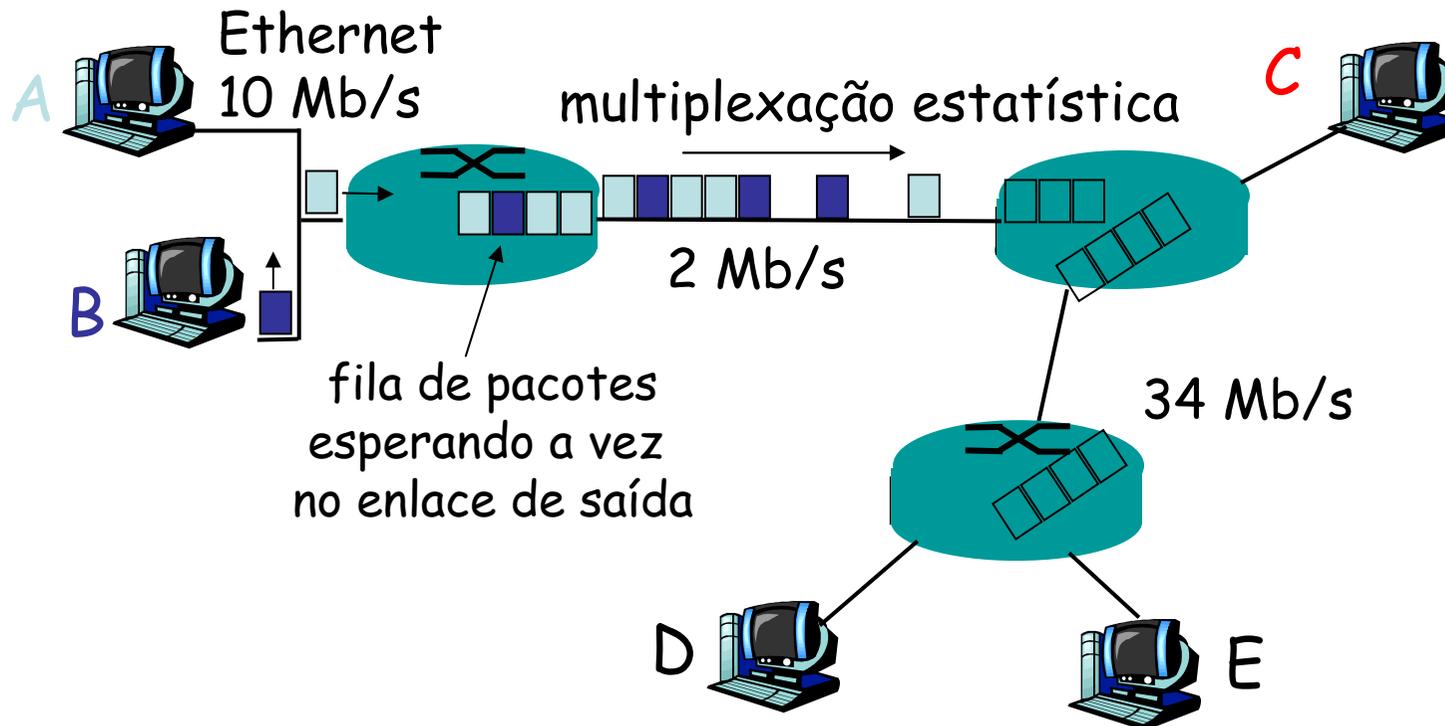
## Exemplo:

- $L = 7,5$  Mbits
- $R = 1,5$  Mb/s
- atraso = 15 s

# Comutação de Pacotes

- Multiplexação estatística
  - Pacotes de diferentes fontes compartilham um meio físico sob demanda
  - Ordem dos pacotes é aleatória ou estatística
    - Diferente do TDM

# Comutação de Pacotes



As seqüências de pacotes A e B são atendidas por demanda  
→ ***multiplexação estatística***

# Comutação de Pacotes

- Atrasos
  - Processamento
    - Avaliação do cabeçalho e para onde direcionar o pacote
  - Enfileiramento
    - Pacote espera em uma fila para ser transmitido
    - Influi mais quando a rede está congestionada
    - Se a fila está cheia → perda do pacote
  - Transmissão
    - Número de bits / taxa de transmissão
      - Kurose chama de atraso de armazenagem e reenvio
  - Propagação
    - Distância entre nós / velocidade de propagação

# Comutação de Pacotes

- Vantagens
  - Uso otimizado do meio
  - Ideal para dados
  - Erros recuperados no enlace onde ocorreram

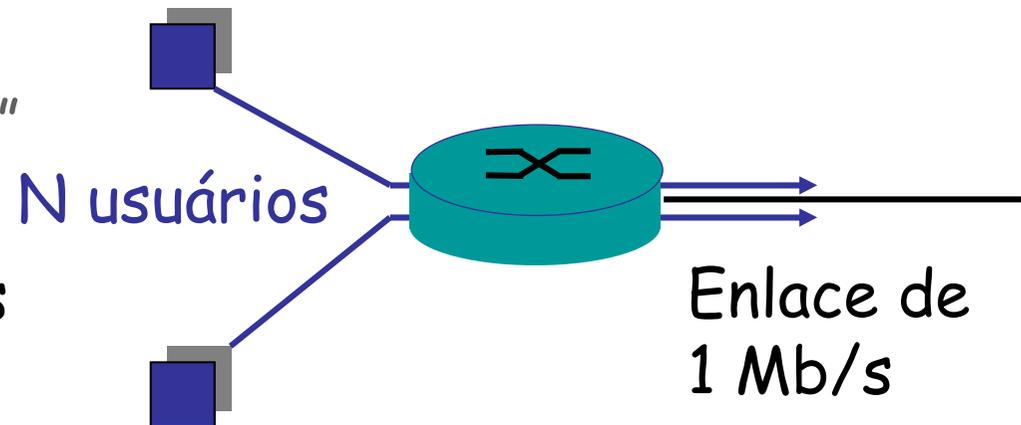
# Comutação de Pacotes

- Desvantagens
  - Sem garantias de banda, atraso e variação do atraso (*jitter*)
    - Podem usar diferentes caminhos, com atrasos diferentes
      - Variação do atraso
      - Ruim para algumas aplicações tipo voz e vídeo
  - *Overhead* de cabeçalho
  - Disputa nó-a-nó
  - Atrasos de enfileiramento e de processamento a cada nó

# Comutação de Pacotes

**A comutação de pacotes permite que mais usuários usem a rede!**

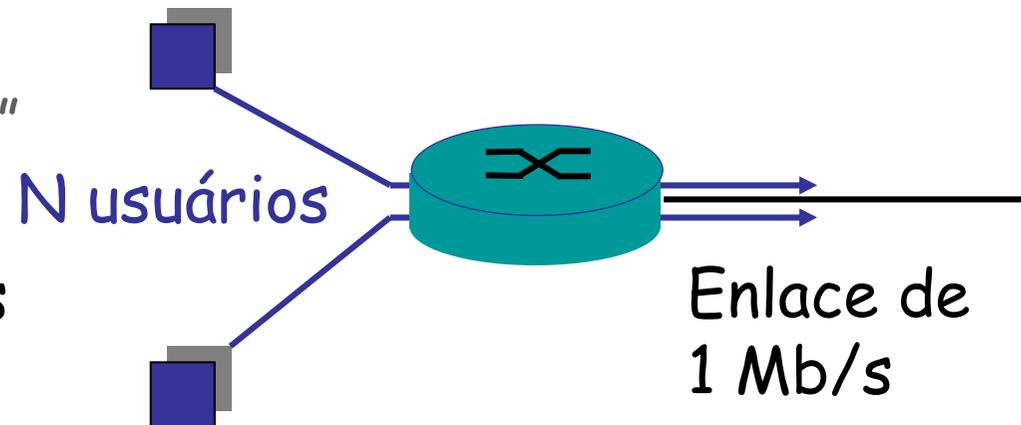
- Enlace de 1 Mb/s
- Cada usuário
  - 100 kb/s quando "ativo"
  - Ativo 10% do tempo
- Comutação por circuitos
  - 10 usuários
- Comutação por pacotes
  - com 35 usuários, a probabilidade de mais de 10 ativos é menor que 0,0004



# Comutação de Pacotes

A comutação de pacotes permite que mais usuários usem a rede!

- Enlace de 1 Mb/s
- Cada usuário
  - 100 kb/s quando "ativo"
  - Ativo 10% do tempo
- Comutação por circuitos
  - 10 usuários
- Comutação por pacotes
  - com 35 usuários, a probabilidade de mais de 10 ativos é menor que 0,0004



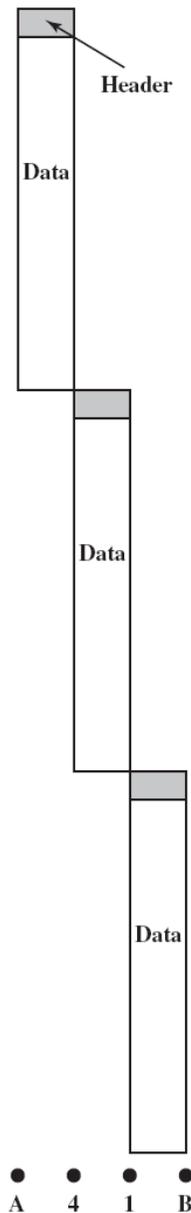
$$p = 1 - \sum_{i=0}^{10} \binom{35}{i} 0,1^i 0,9^{35-i}$$

# Comutação de Pacotes

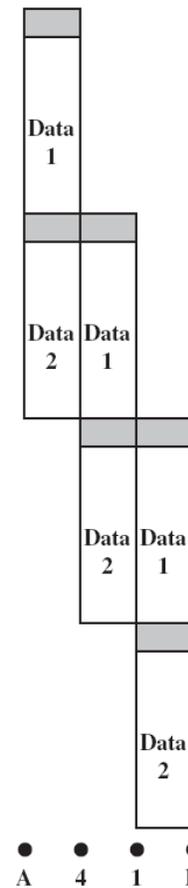
- Quebra de pacote diminui o tempo de transmissão pois pode haver sobreposição
  - Transmissões em paralelo
- Porém um pacote muito pequeno pode aumentar o atraso
  - Cada pacote tem uma parte fixa de cabeçalho → mais pacotes implica mais cabeçalhos

# Efeito do tamanho do pacote no tempo de transmissão (fonte: Stallings)

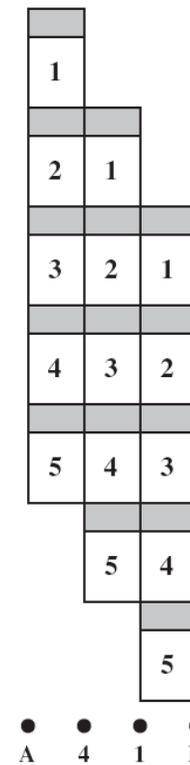
(a) 1-packet message



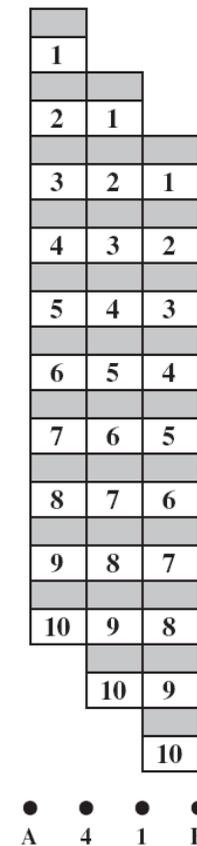
(b) 2-packet message



(c) 5-packet message



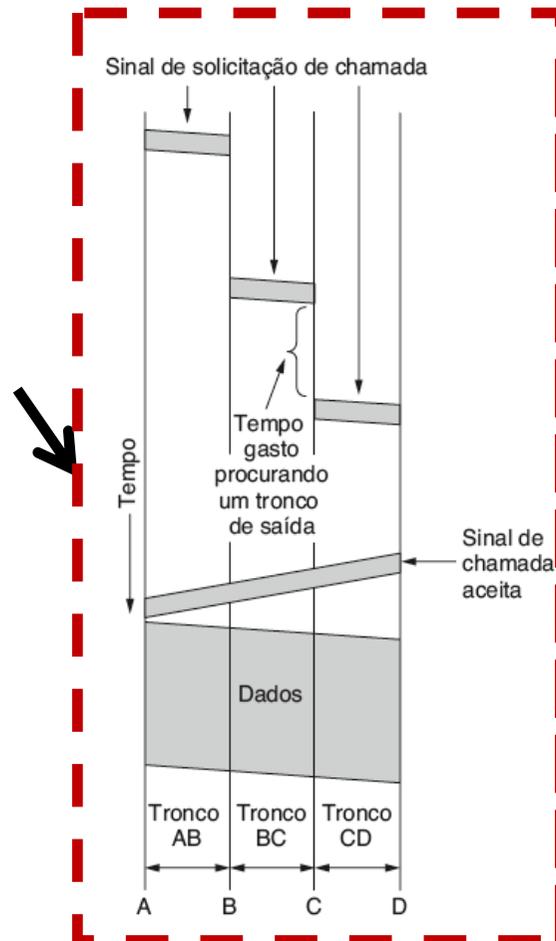
(d) 10-packet message



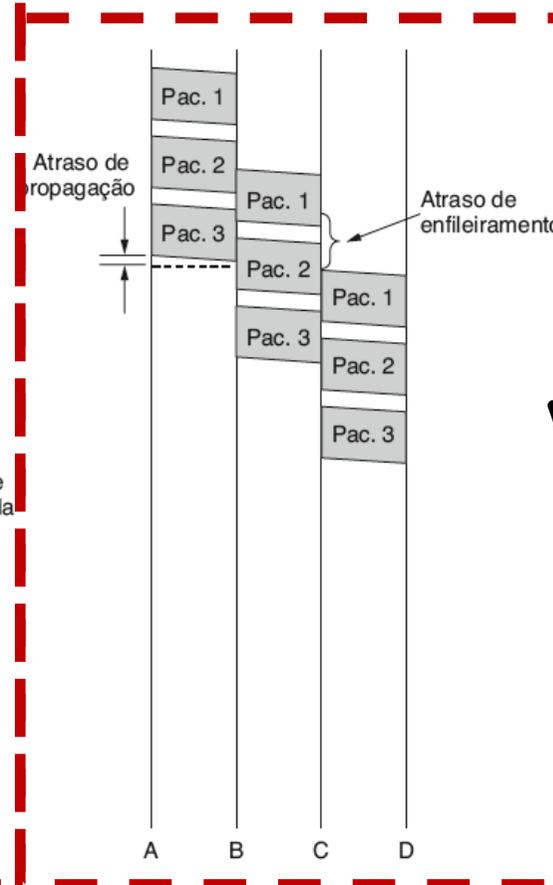
# Comutação de Pacotes Vs. Circuitos

- Cronologia de eventos:

Comutação de circuitos



Comutação de pacotes



# Comutação de Pacotes Vs. Circuitos

Item	Comutação de circuitos	Comutação de pacotes
Configuração de chamadas		
Caminho físico dedicado		
Cada pacote segue a mesma rota		
Os pacotes chegam em ordem		
A falha de um switch é fatal		
Largura de banda disponível		
Momento de possível congestionamento		
Largura de banda potencialmente desperdiçada		
Transmissão store-and-forward		
Tarifação		

# Comutação de Pacotes Vs. Circuitos

Item	Comutação de circuitos	Comutação de pacotes
Configuração de chamadas	Obrigatória	Não necessária
Caminho físico dedicado	Sim	Não
Cada pacote segue a mesma rota	Sim	Não
Os pacotes chegam em ordem	Sim	Não
A falha de um switch é fatal	Sim	Não
Largura de banda disponível	Fixa	Dinâmica
Momento de possível congestionamento	Durante a configuração	Em todos os pacotes
Largura de banda potencialmente desperdiçada	Sim	Não
Transmissão store-and-forward	Não	Sim
Tarifação	Por minuto	Por pacote

# Comutação de Mensagens e de Células

- Pode lidar com as desvantagens do tipo de comutação a partir do tamanho e do tempo de encaminhamento
  - Comutação de mensagens e de células
- **Comutação de mensagens**
  - Maior atraso fim-a-fim
  - Maior probabilidade de haver erros
  - **Mas**, menor *overhead* de cabeçalho

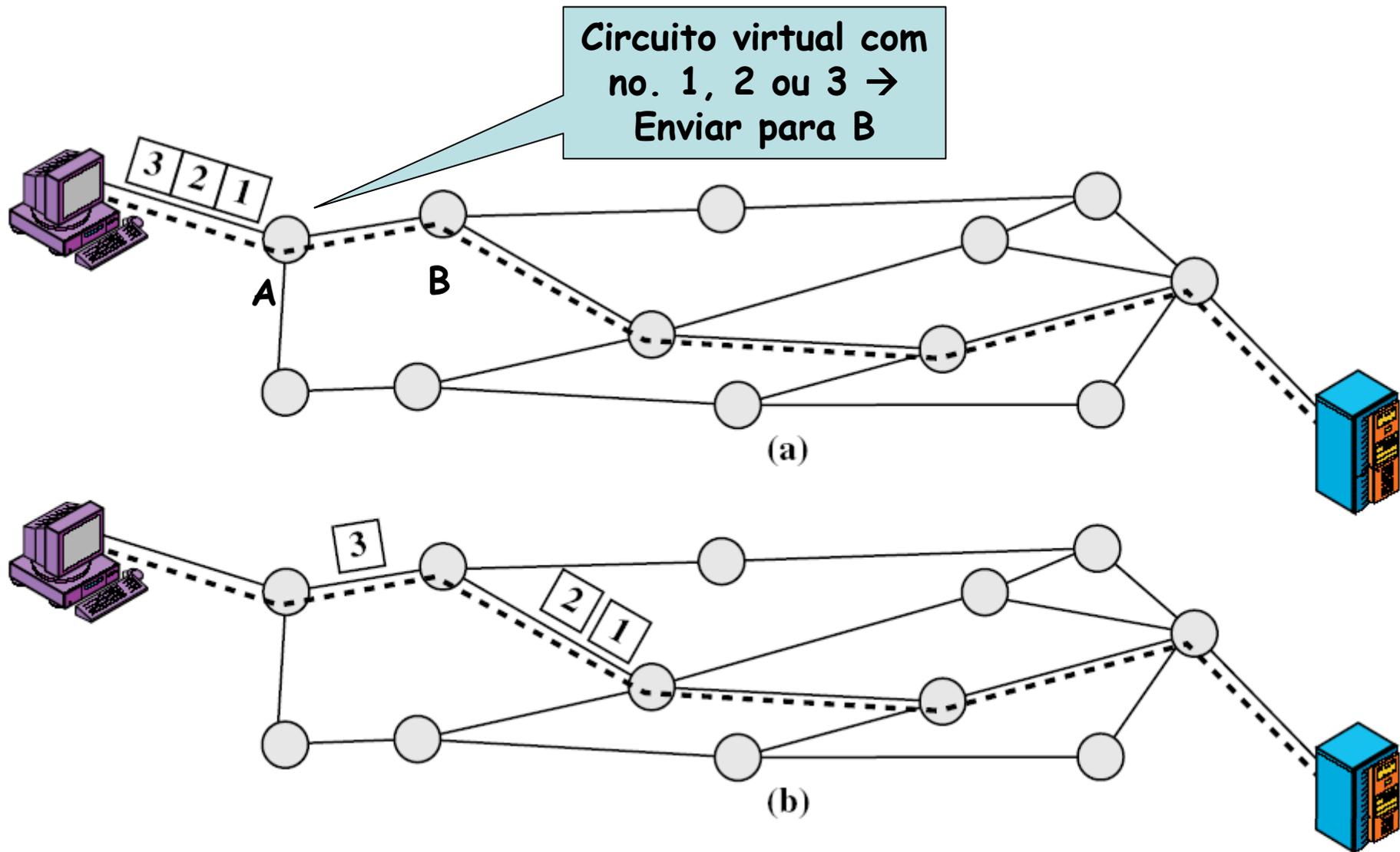
# Comutação de Mensagens e de Células

- Comutação de células
  - Células de tamanho fixo
    - Roteamento por *hardware*
    - Melhor gerenciamento de *buffers*
  - Menor atraso fim-a-fim
  - Menor probabilidade de haver erros
  - *Mas*, maior *overhead* do cabeçalho

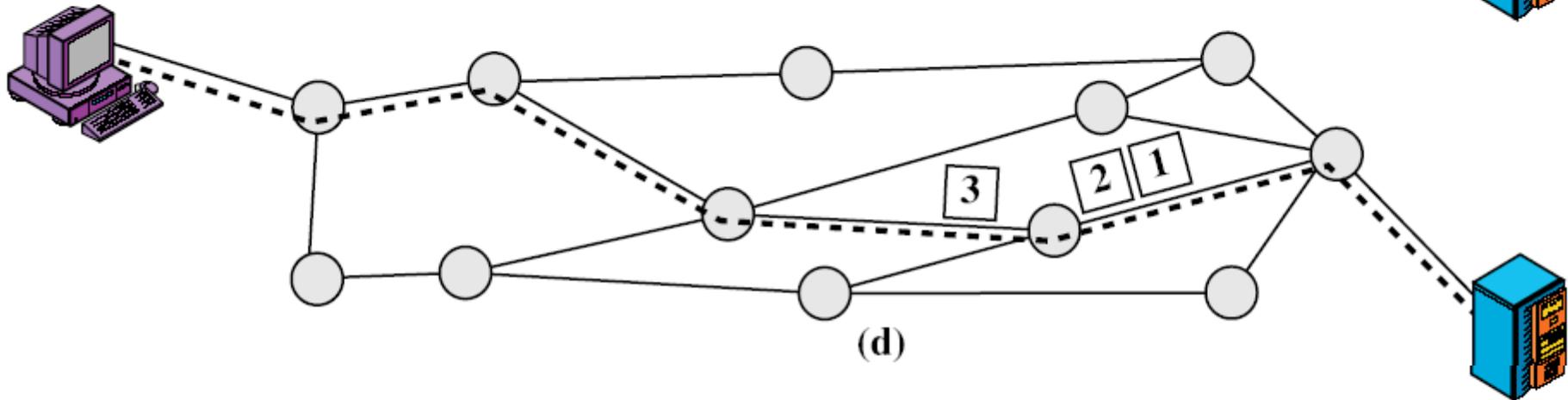
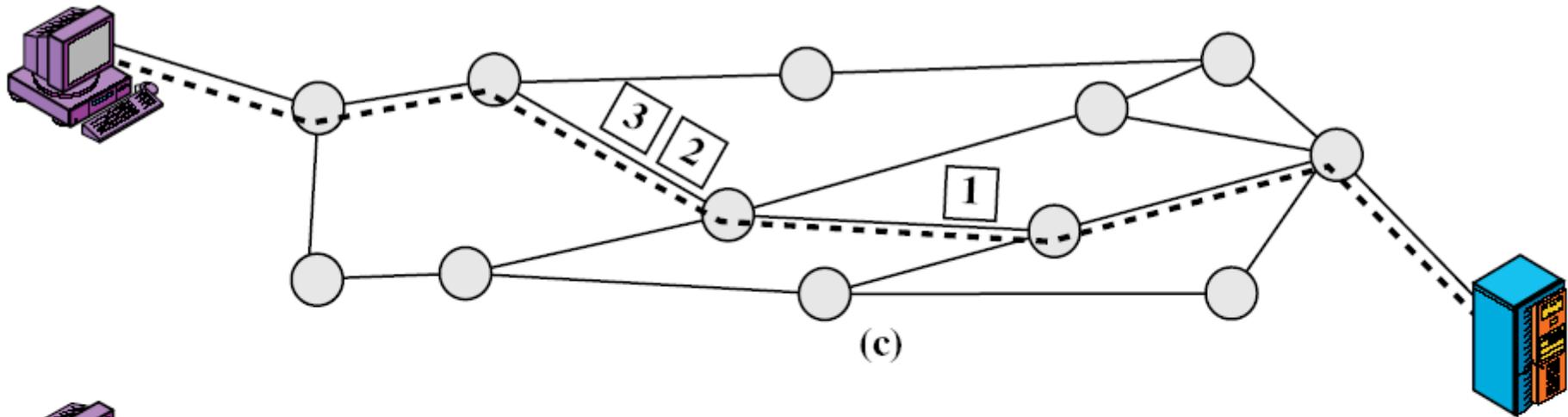
# Comutação de Pacotes

- Dois tipos de redes: **circuito virtual x datagrama**
- **Circuito virtual**
  - Roteia pacotes através do número de circuito virtual
    - **Identificador local do nó → tamanho menor do que o endereço**
  - É composto de um caminho (não dedicado)
    - **Pacote continua sendo armazenado nó-a-nó**
  - Mantém informações de estado
    - **Tabela de tradução de números de circuitos virtuais**
  - Orientado a conexão
  - Se há uma falha em um enlace o circuito virtual se desfaz
  - Ex.: ATM, X.25 e frame relay

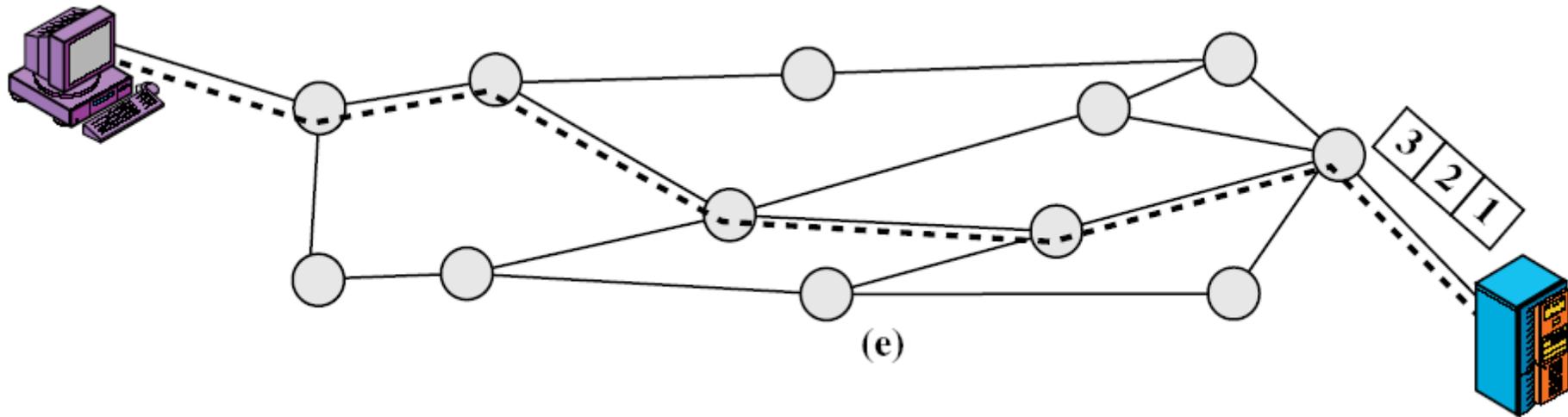
# Circuito virtual 1/3 (fonte: Stallings)



## Circuito virtual 2/3 (fonte: Stallings)



## Circuito virtual 3/3 (fonte: Stallings)

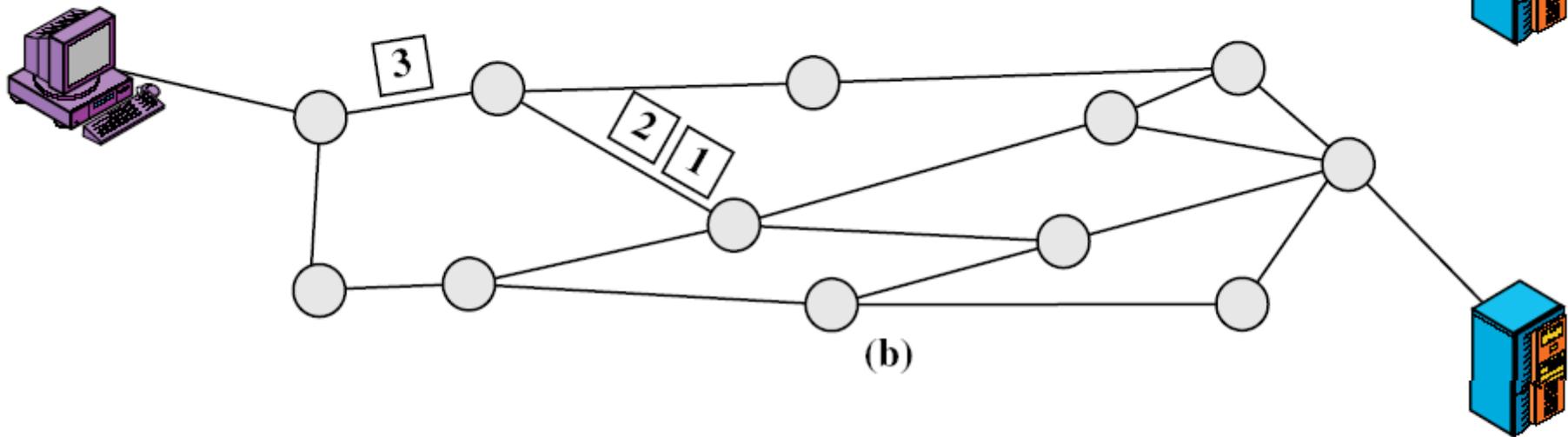
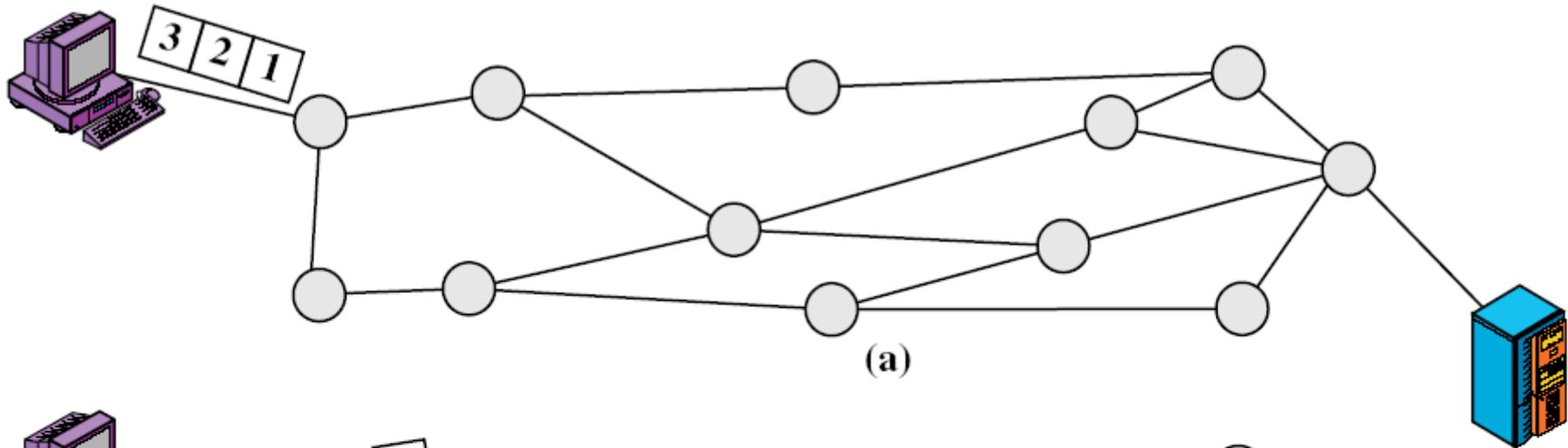


O circuito virtual foi estabelecido desde o início através da definição de estados nos elementos de encaminhamento de pacotes

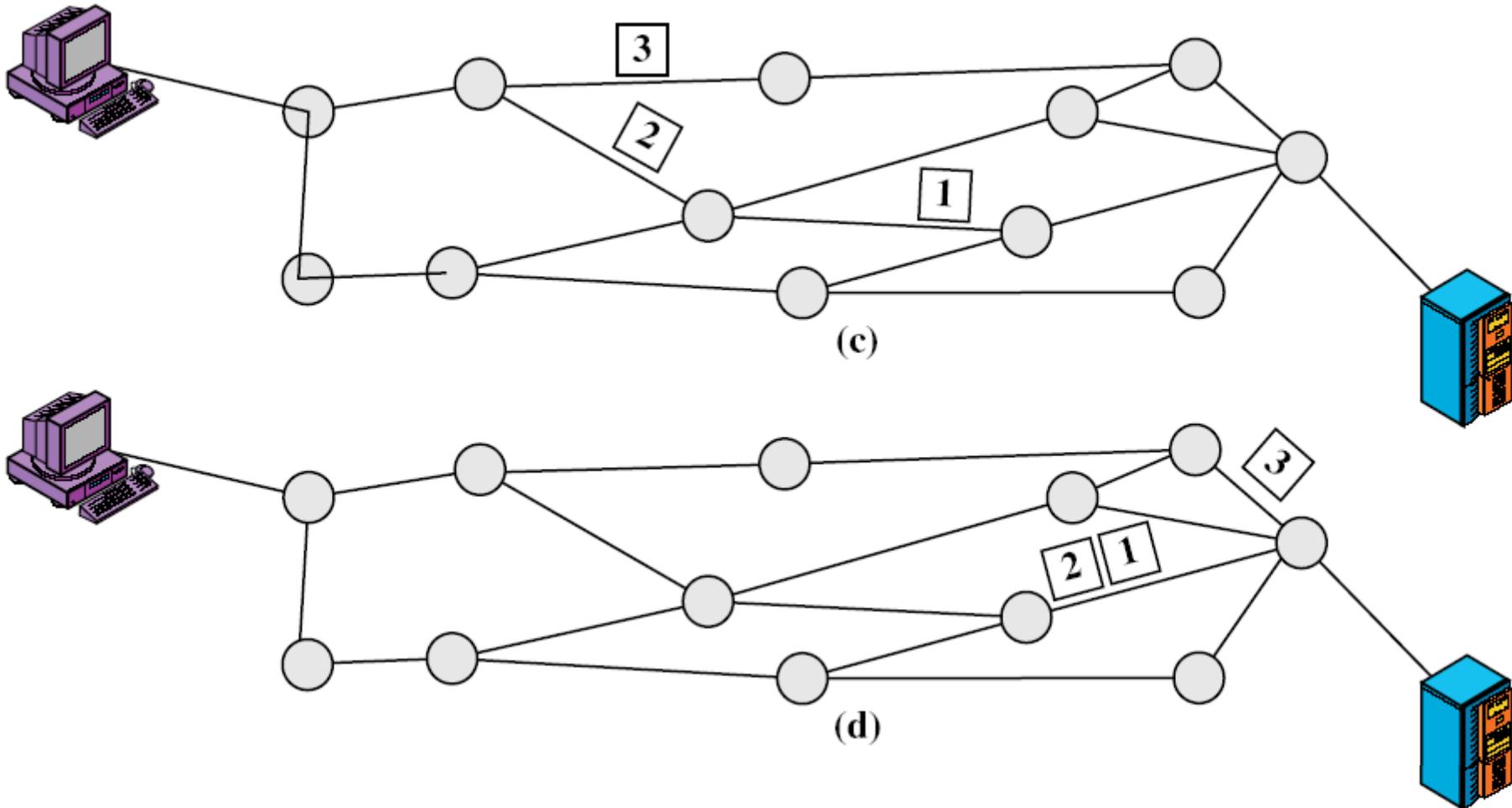
# Comutação de Pacotes

- Datagrama
  - Roteia pacotes através do endereço de destino
  - Cada pacote é tratado independentemente
  - Pacotes carregam o endereço completo
  - Pacotes podem chegar fora de ordem
  - Não mantém informações de estado
  - Geralmente não orientado a conexão
  - Ex.: IP

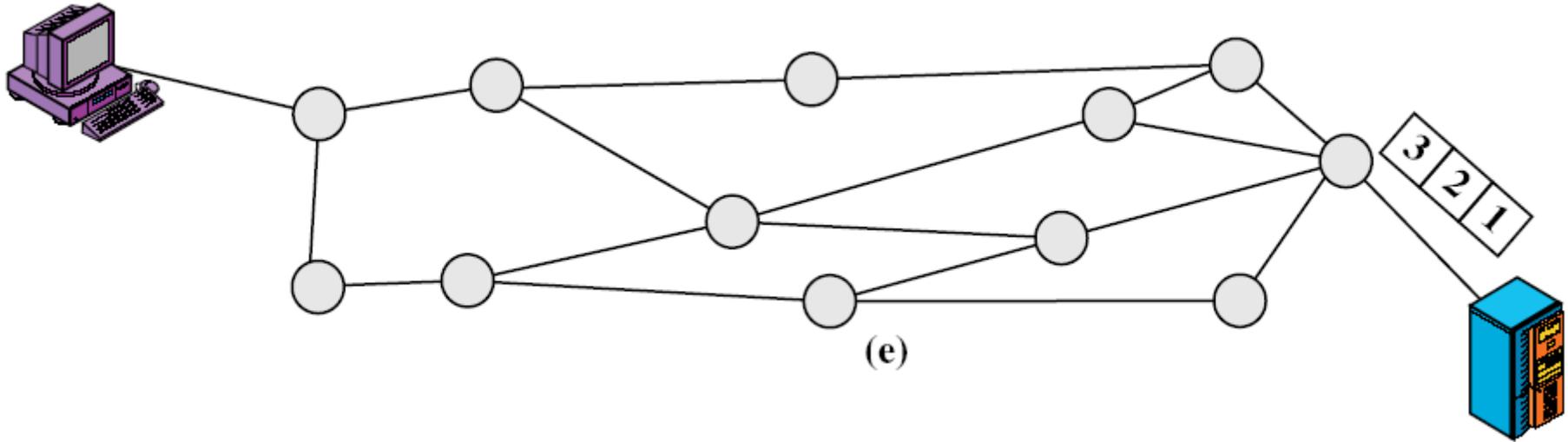
# Datagrama 1/3 (fonte: Stallings)



## Datagrama 2/3 (fonte: Stallings)



## Datagrama 3/3 (fonte: Stallings)



## Circuito virtual x datagrama (fonte: Tanenbaum)

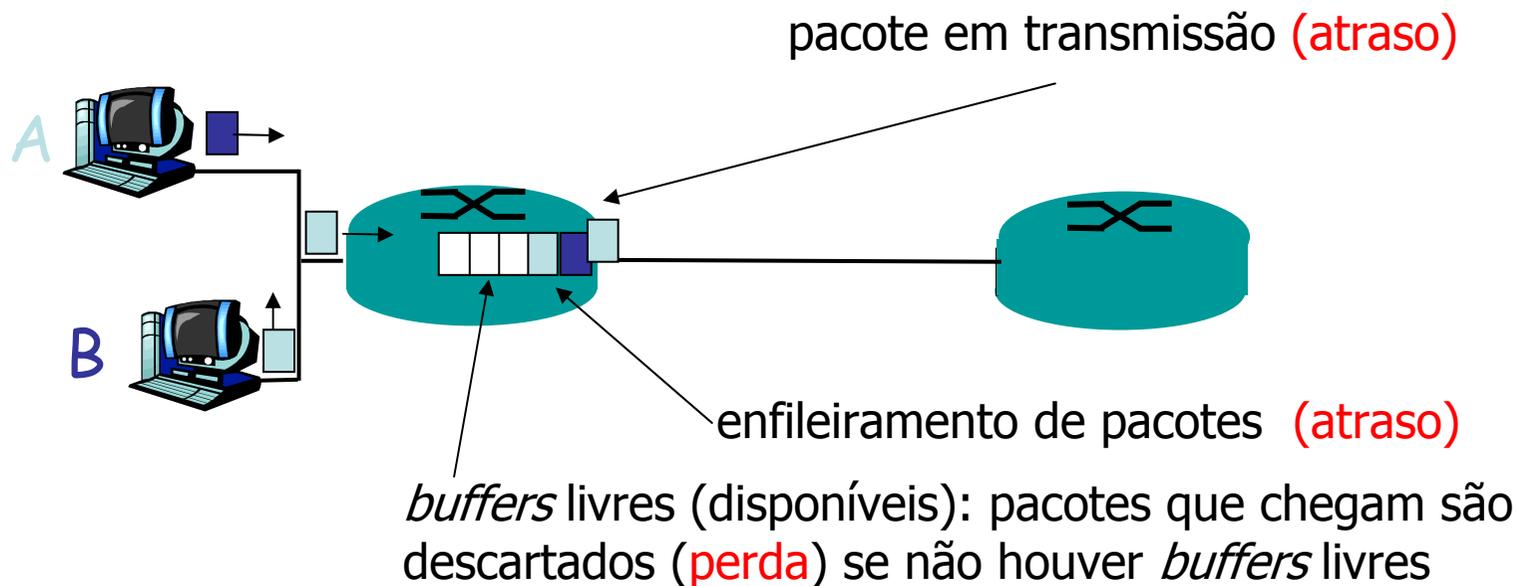
Issue	Datagram subnet	Virtual-circuit subnet
Circuit setup	Not needed	Required
Addressing	Each packet contains the full source and destination address	Each packet contains a short VC number
State information	Routers do not hold state information about connections	Each VC requires router table space per connection
Routing	Each packet is routed independently	Route chosen when VC is set up; all packets follow it
Effect of router failures	None, except for packets lost during the crash	All VCs that passed through the failed router are terminated
Quality of service	Difficult	Easy if enough resources can be allocated in advance for each VC
Congestion control	Difficult	Easy if enough resources can be allocated in advance for each VC

# Métricas

Avaliação do desempenho de uma rede

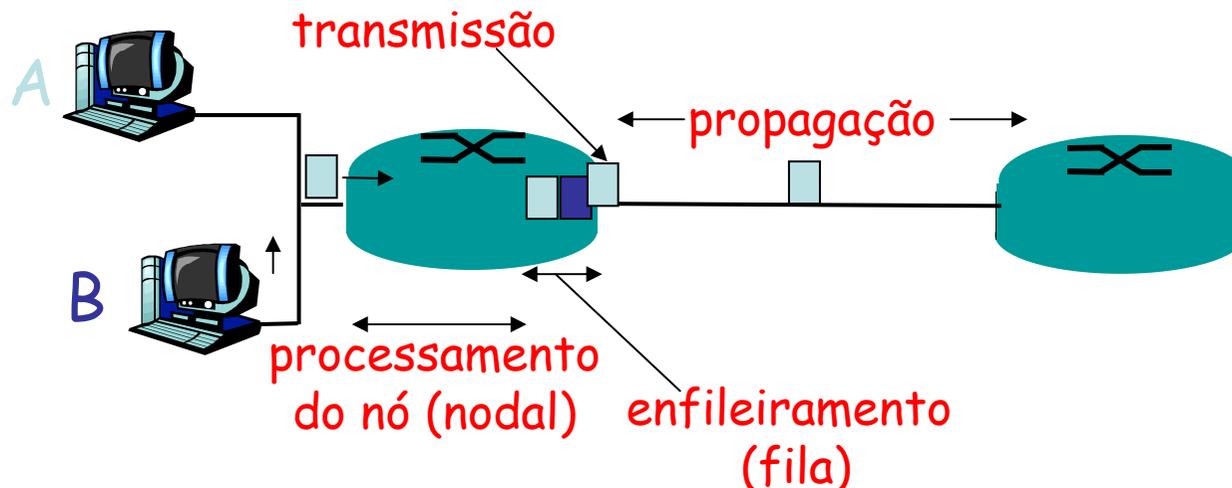
# Como Ocorrem as Perdas e os Atrasos?

- Pacotes são enfileirados nos *buffers* do roteador
  - Taxa de chegada de pacotes ao nó *excede* a capacidade do enlace de saída
  - Pacotes são enfileirados, esperam pela vez



# Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

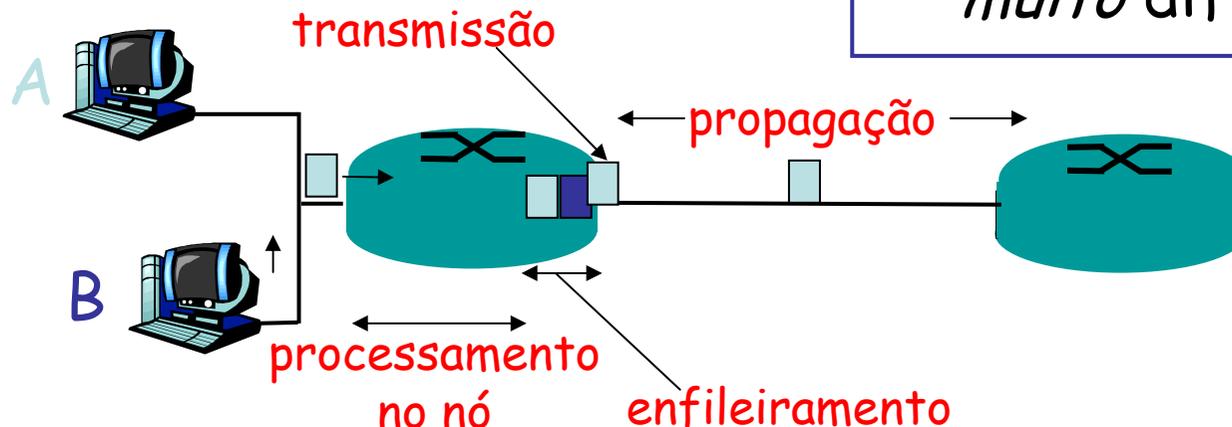
- 1. Processamento do nó
  - Verificação de bits errados
  - Identificação do enlace de saída
- 2. Enfileiramento
  - Tempo de espera no enlace de saída até a transmissão
  - Depende do nível de congestionamento do roteador



# Quatro Fontes de Atraso de Pacotes

- 3. Atraso de transmissão
  - $R$  = largura de banda do enlace (bits/s)
  - $L$  = compr. do pacote (bits)
  - tempo para enviar os bits no enlace =  $L/R$
- 4. Atraso de propagação
  - $d$  = compr. do enlace
  - $s$  = velocidade de propagação no meio ( $\sim 2 \times 10^8$  m/s)
  - atraso de propagação =  $d/s$

**Nota:**  $s$  e  $R$  são valores *muito diferentes!*



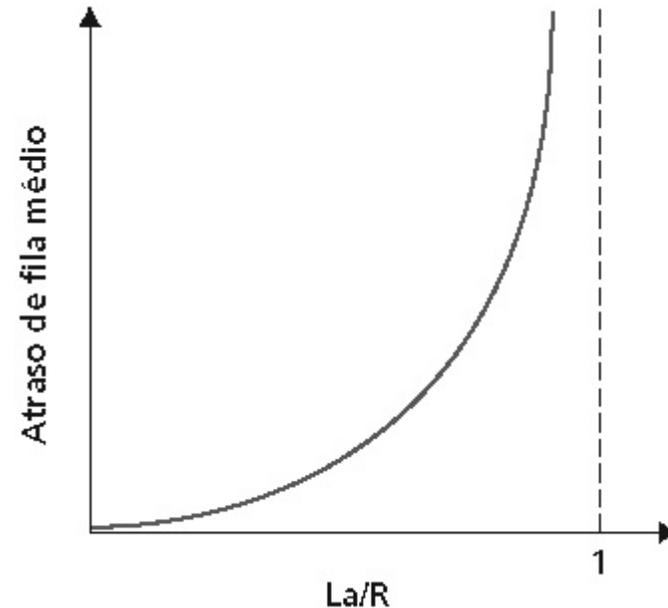
# Atraso por Nó

$$d_{\text{nó}} = d_{\text{proc}} + d_{\text{fila}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{prop}}$$

- $d_{\text{proc}}$  = atraso de processamento
  - tipicamente de poucos microsecs ou menos
- $d_{\text{fila}}$  = atraso de enfileiramento
  - depende do congestionamento
- $d_{\text{trans}}$  = atraso de transmissão
  - $= L/R$ , significativo para canais de baixa velocidade
- $d_{\text{prop}}$  = atraso de propagação
  - poucos microsecs a centenas de msecs

# Atraso de Enfileiramento

- $R$ =largura de banda do enlace (bits/s)
- $L$ =compr. do pacote (bits)
- $a$ =taxa média de chegada de pacotes

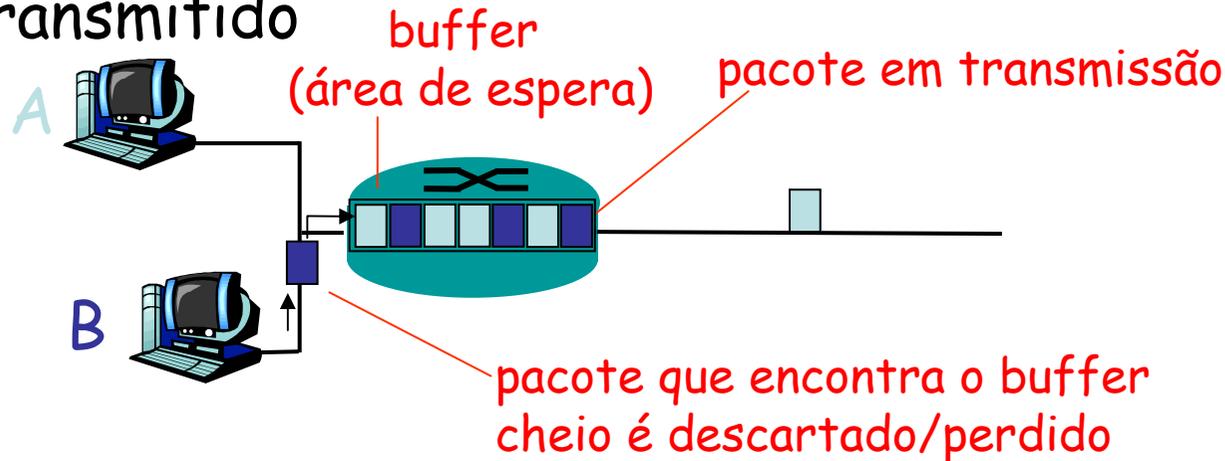


**Intensidade de tráfego =  $La/R$**

- $La/R \sim 0$ : pequeno atraso de enfileiramento
- $La/R \rightarrow 1$ : grande atraso
- $La/R > 1$ : chega mais "trabalho" do que a capacidade de atendimento, atraso médio infinito!

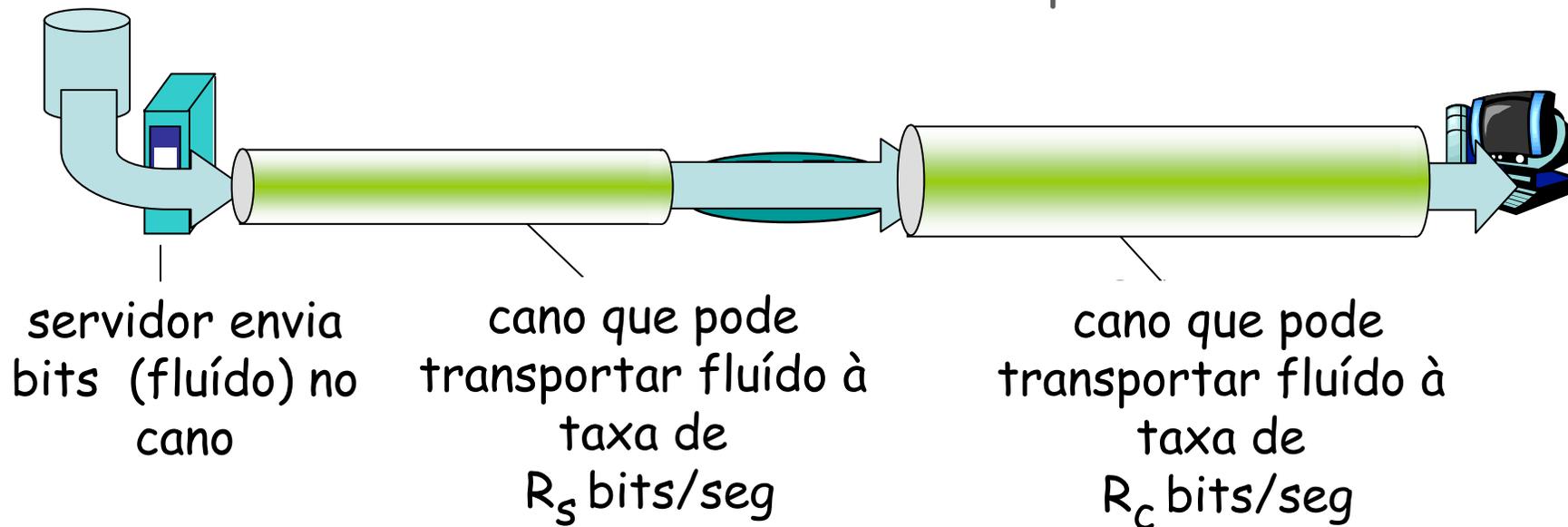
# Perda de pacotes

- Fila (*buffer*) anterior a um enlace possui capacidade finita
- Quando um pacote chega numa fila cheia, o pacote é descartado (perdido)
- O pacote perdido pode ser retransmitido pelo nó anterior, pelo sistema origem, ou não ser retransmitido



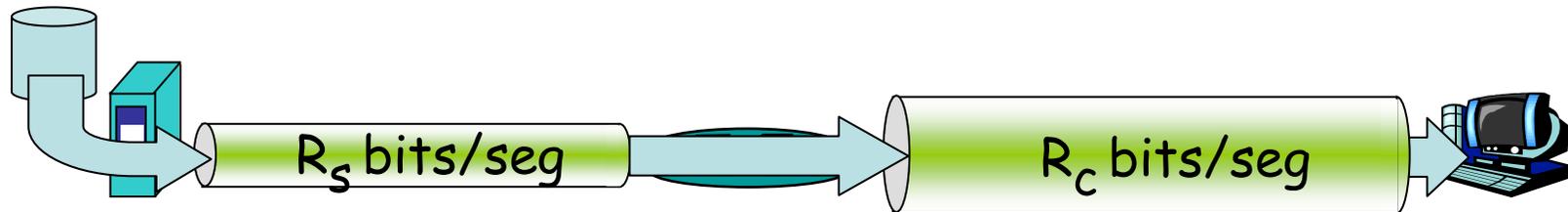
# Vazão (*Throughput*)

- Taxa na qual os bits são transferidos entre o transmissor e o receptor
  - Dada em bits/unidade de tempo
  - Instantânea: taxa num certo instante de tempo
  - Média: taxa num intervalo de tempo

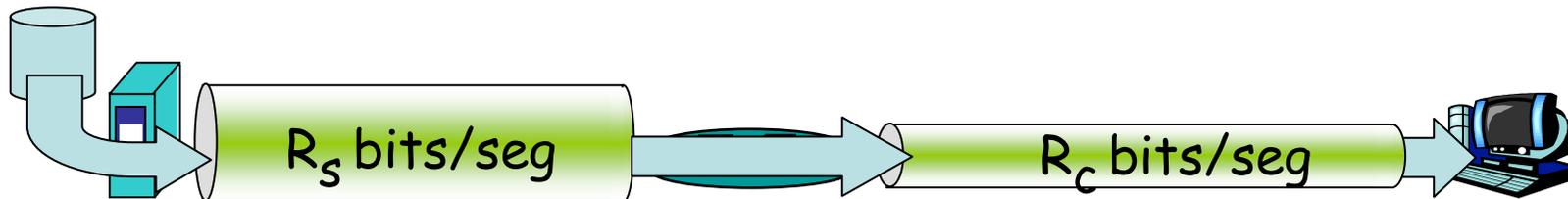


# Vazão

- $R_s < R_c$  Qual é a vazão média fim-a-fim?



- $R_s > R_c$  Qual é a vazão média fim-a-fim?

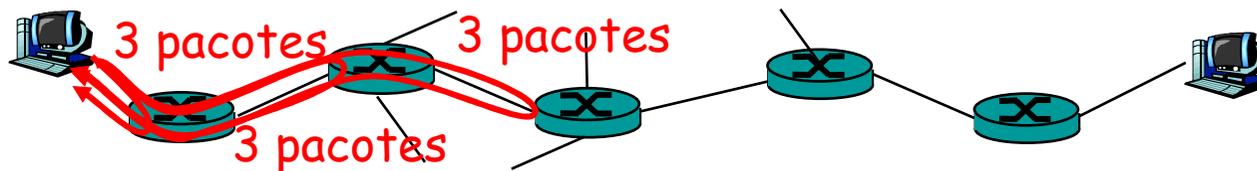


## Gargalo

link no caminho fim-a-fim que restringe a vazão fim-a-fim

# Traceroute/Tracert

- Fornece medições de atraso da fonte até cada um dos roteadores ao longo do caminho até o destino
  - Envia três pacotes que alcançarão o roteador  $i$  no caminho até o destino
  - O roteador  $i$  devolverá um pacote de erro até o transmissor
  - O transmissor calcula o intervalo de tempo decorrido entre a transmissão e a chegada da resposta



# Traceroute/Tracert

```
itaqua:~> traceroute www.google.com.br
traceroute to www.google.com.br (74.125.234.55), 30 hops max, 60 byte packets
 1 192.168.1.1 (192.168.1.1) 0.362 ms 0.363 ms 0.417 ms
 2 angra.gta.ufrj.br (146.164.69.129) 0.934 ms 1.808 ms 1.812 ms
 3 146.164.6.193 (146.164.6.193) 1.809 ms 1.976 ms 1.979 ms
 4 rt-ufrj.ufrj.br (146.164.1.193) 2.028 ms 2.028 ms 2.096 ms
 5 giga-bgp-cbpf.rederio.br (200.20.94.58) 9.453 ms 9.456 ms 9.643 ms
 6 xe-0-3-1.ar2.gigl.gblx.net (64.214.61.249) 8.981 ms 7.644 ms 7.669 ms
 7 po5.asr1.GRU1.gblx.net (67.16.130.58) 16.185 ms po3.asr1.GRU1.gblx.net (67.16.139.166) 16.182 ms po5.asr1.GRU1.gblx.net (67.16.130.58) 15.969 ms
 8 google-1.ar5.gru1.gblx.net (64.208.110.102) 16.448 ms 16.922 ms 16.987 ms
 9 209.85.243.200 (209.85.243.200) 16.863 ms 16.371 ms 16.906 ms
10 209.85.251.99 (209.85.251.99) 16.603 ms 14.413 ms 13.900 ms
11 gru03s06-in-f23.1e100.net (74.125.234.55) 14.418 ms 19.263 ms 19.811 ms
itaqua:~>
```

# Camadas de Protocolos e Modelos de Serviços

# Arquitetura em Camadas

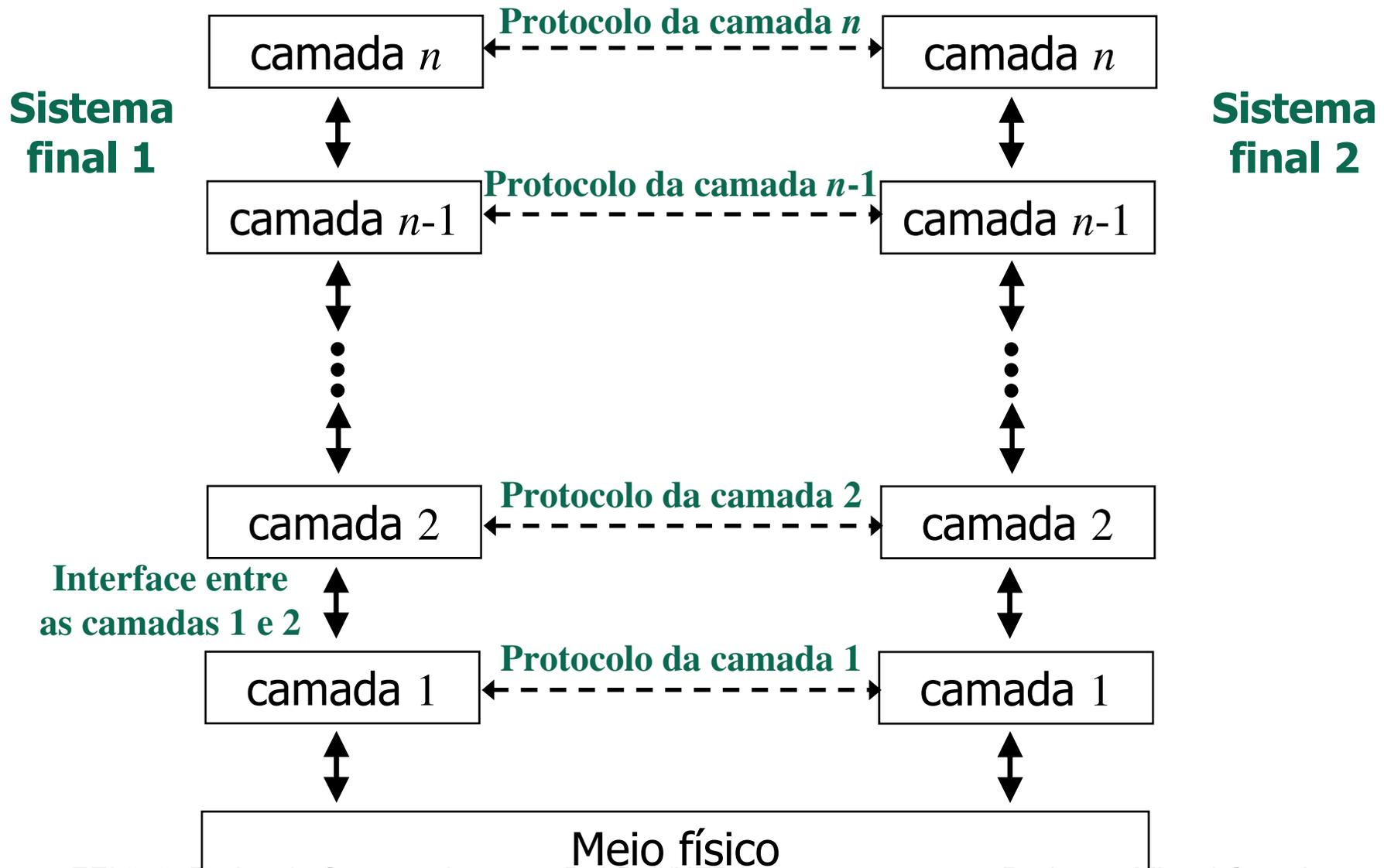
- Reduzir a complexidade do projeto de uma rede de comunicação
  - Cada camada
    - Provê um **serviço** para as camadas superiores
    - "Esconde" das camadas superiores como o serviço é implementado
- Criar um pilha de camadas
  - Número de camadas
  - Nome de cada camada
  - Função de cada camada

**Podem ser diferentes  
para cada rede**

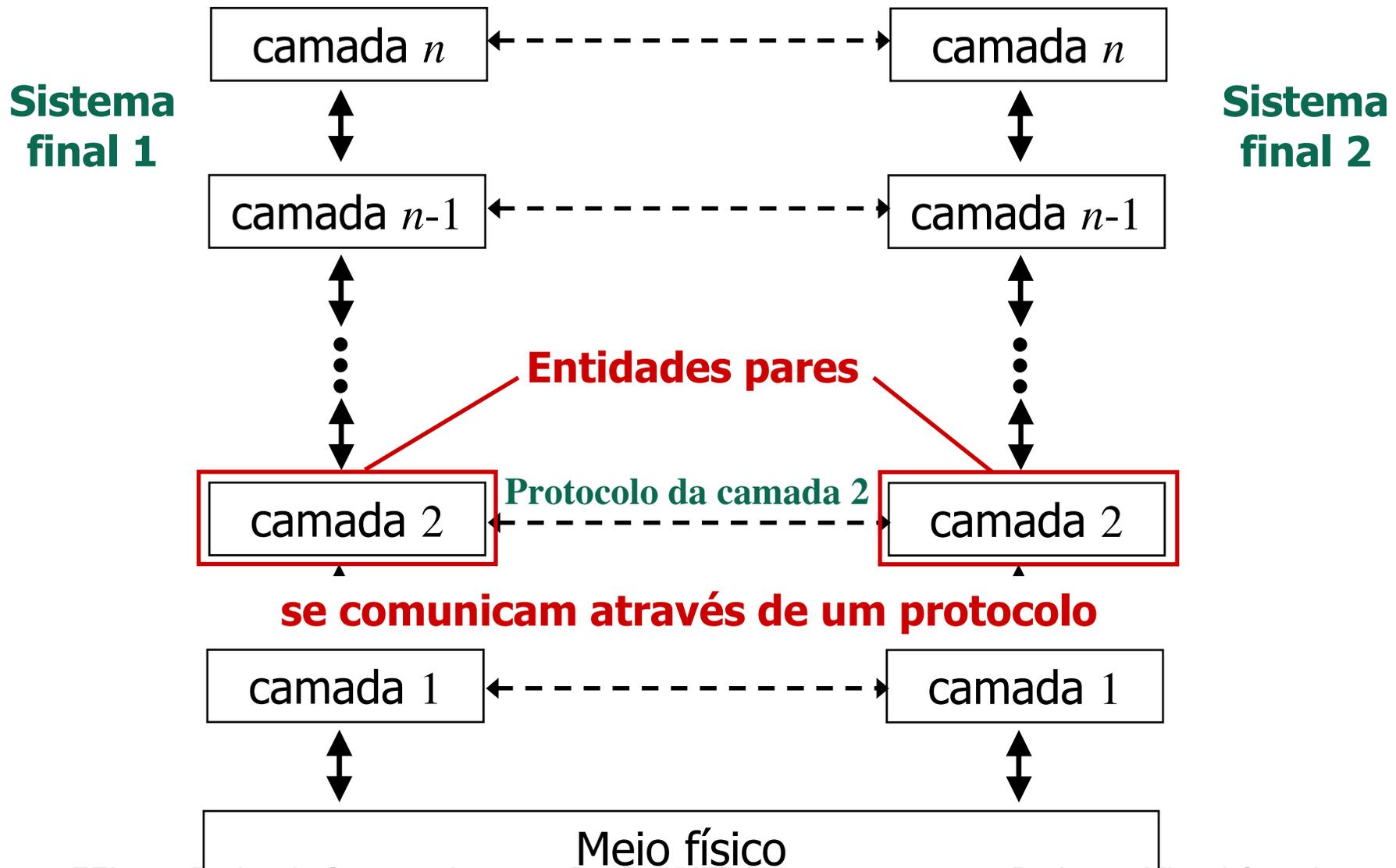
# Por Que Dividir em Camadas?

- Lidar com sistemas complexos
  - Estrutura explícita permite a identificação e relacionamento entre as partes do sistema complexo
  - Modularização facilita a manutenção e atualização do sistema
  - Mudança na implementação do serviço da camada é transparente para o resto do sistema

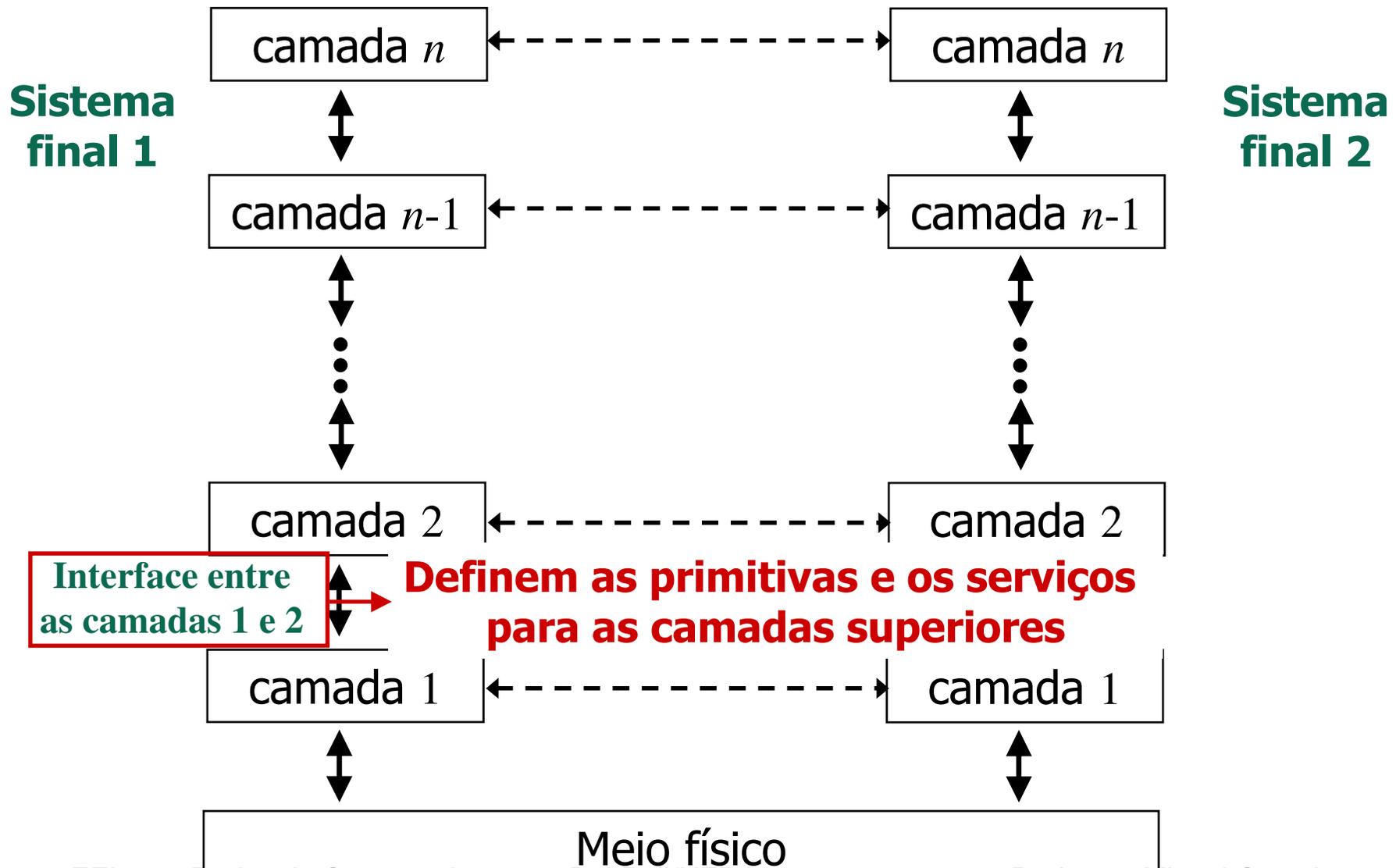
# Arquitetura em Camadas



# Arquitetura em Camadas



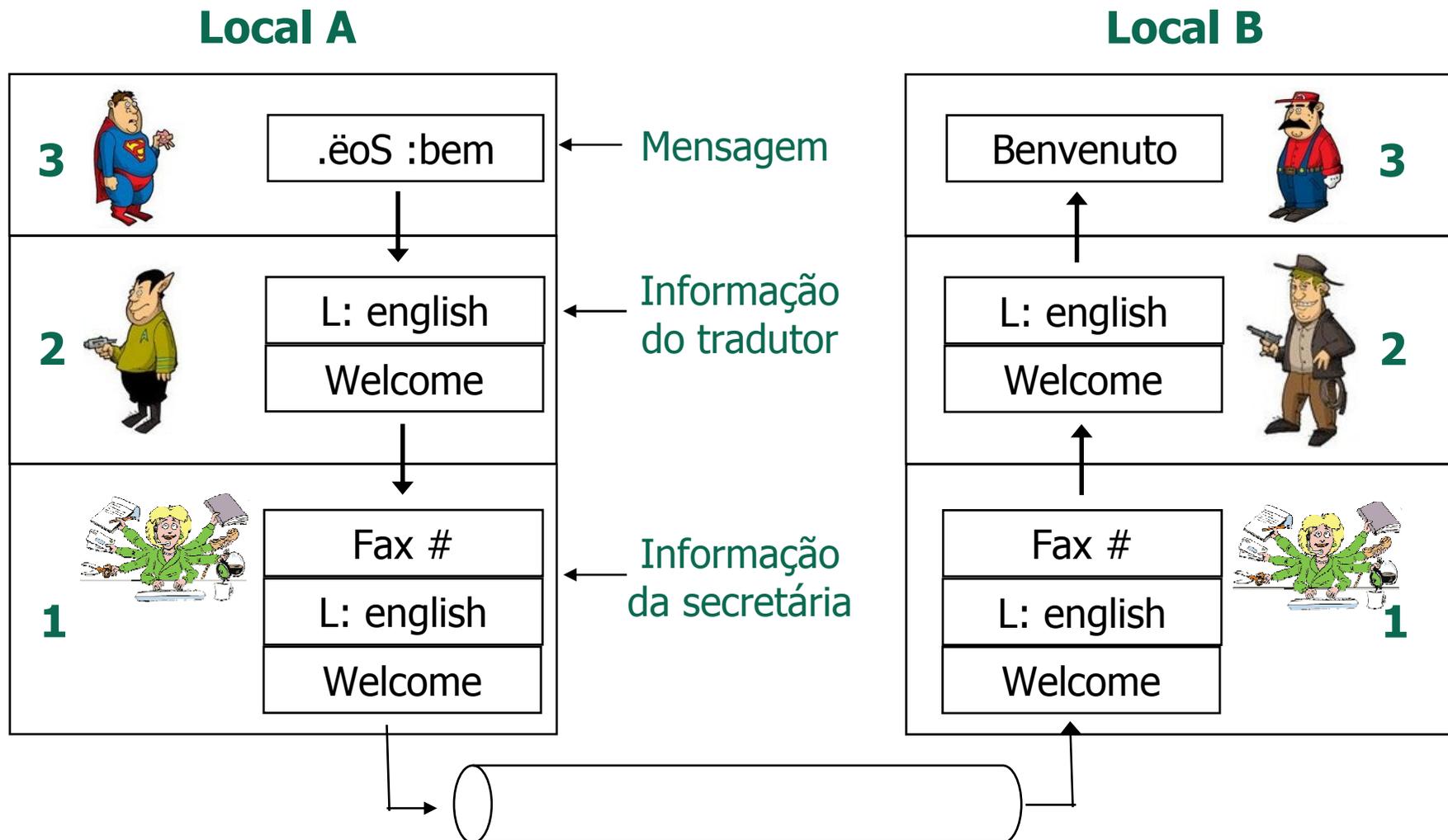
# Arquitetura em Camadas



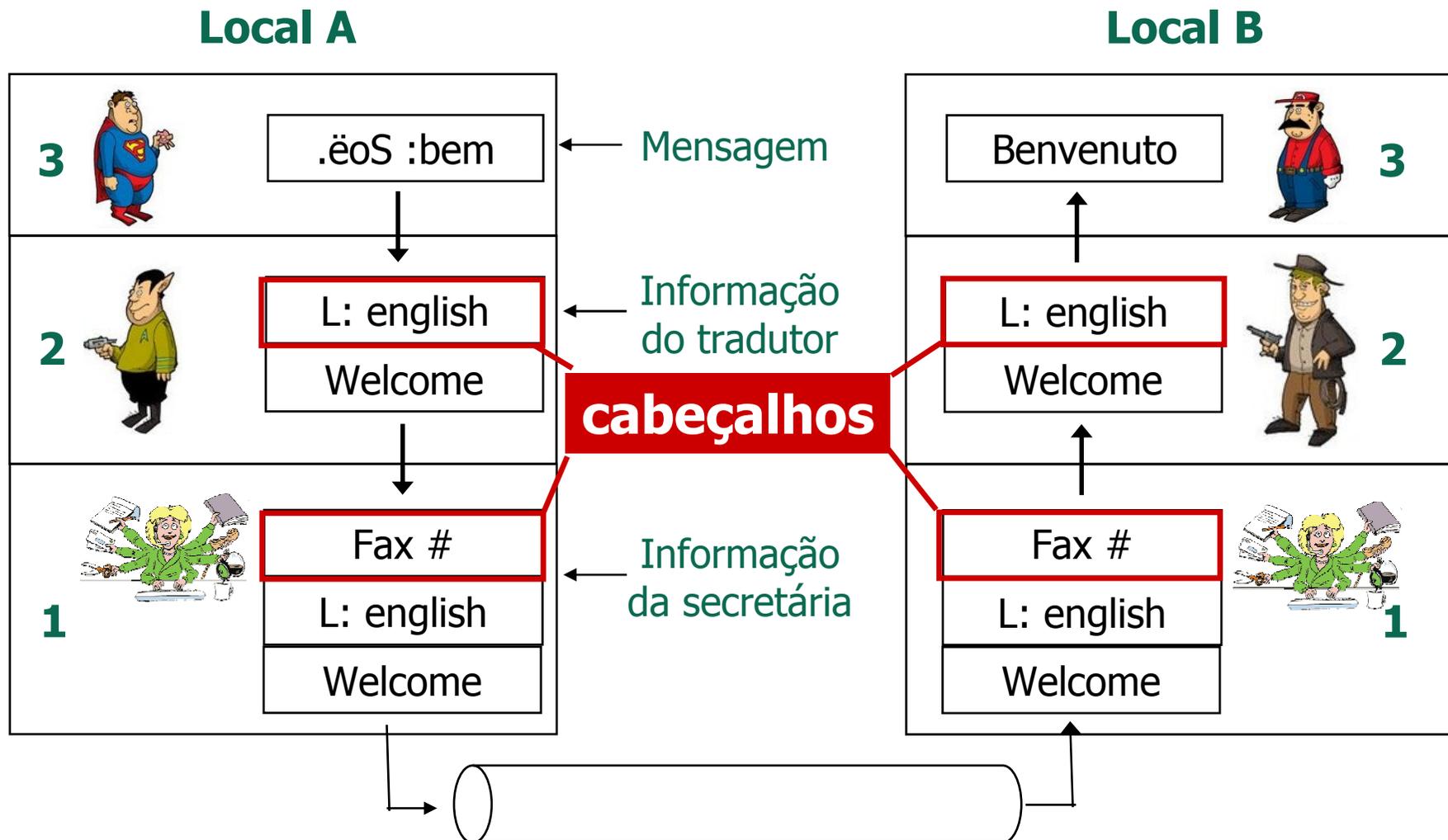
# Mais Conceitos

- **Arquitetura de rede**
  - Conjunto de protocolos e camadas
- **Pilha de protocolos**
  - Lista de protocolos usados por um sistema

# Comunicação Multicamadas



# Comunicação Multicamadas



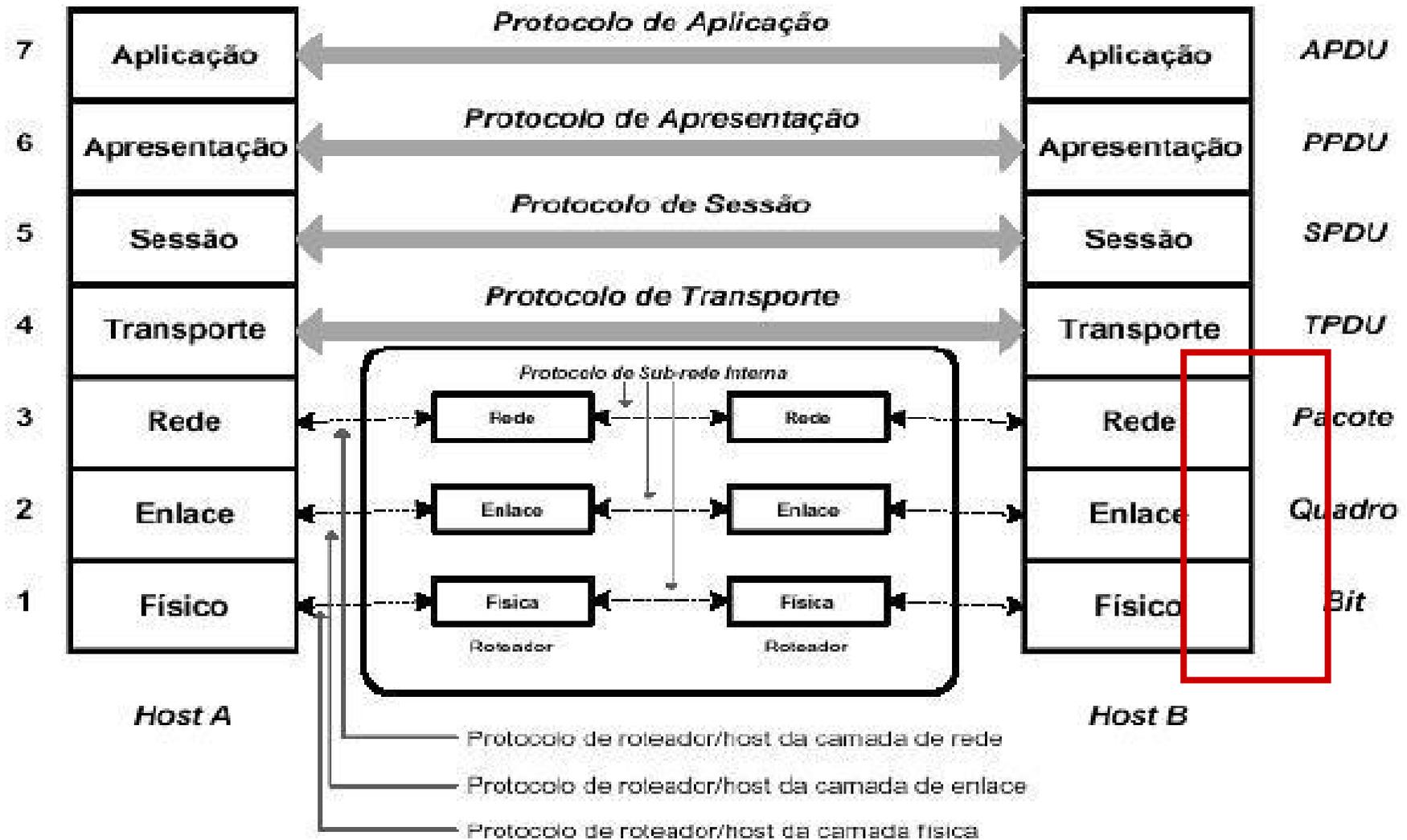
# Arquiteturas de Rede

- Duas mais importantes
  - Modelo de referência OSI
  - Modelo TCP/IP

# Modelo OSI

- *OSI: Open Systems Interconnection*
- Proposto pela ISO (*International Standards Organization*)
  - Década de 70
- **Sete camadas**
  1. Física
  2. Enlace
  3. Rede
  4. Transporte
  5. Sessão
  6. Apresentação
  7. Aplicação

# Modelo OSI



# Modelo OSI

- **Prós:** bastante geral e continua válido até hoje
- **Contras:** protocolos associados ao modelo OSI são raramente usados
- **Críticas**
  - Complexidade
    - Cada camada deve desempenhar a sua função antes de encaminhar os dados para a camada seguinte
  - Rigidez de modelagem
    - Camadas diferentes não devem compartilhar informações
  - Mesmos serviços implementados por diferentes camadas
    - Ex.: correção de erros

# Modelo TCP/IP

- Década de 80
- **Cinco/Quatro camadas**
  1. Física
  2. Enlace
  3. Rede
  4. Transporte
  5. Aplicação

# Modelo TCP/IP



# Modelo TCP/IP

- **Prós:** protocolos associados ao modelo TCP/IP são amplamente usados
- **Contras:** camadas mais "restritas" do que no OSI
- O modelo OSI é apenas um modelo de referência
- O modelo TCP/IP define os protocolos para cada camada

# Camadas do Modelo TCP/IP

- Aplicação
  - Suporte para aplicações de rede
  - Mensagens
  - Exs.: HTTP, SMTP, FTP, etc.
- Transporte
  - Comunicação fim-a-fim
    - Transferência de dados entre sistemas finais
  - Segmentos
  - Exs.: TCP, UDP

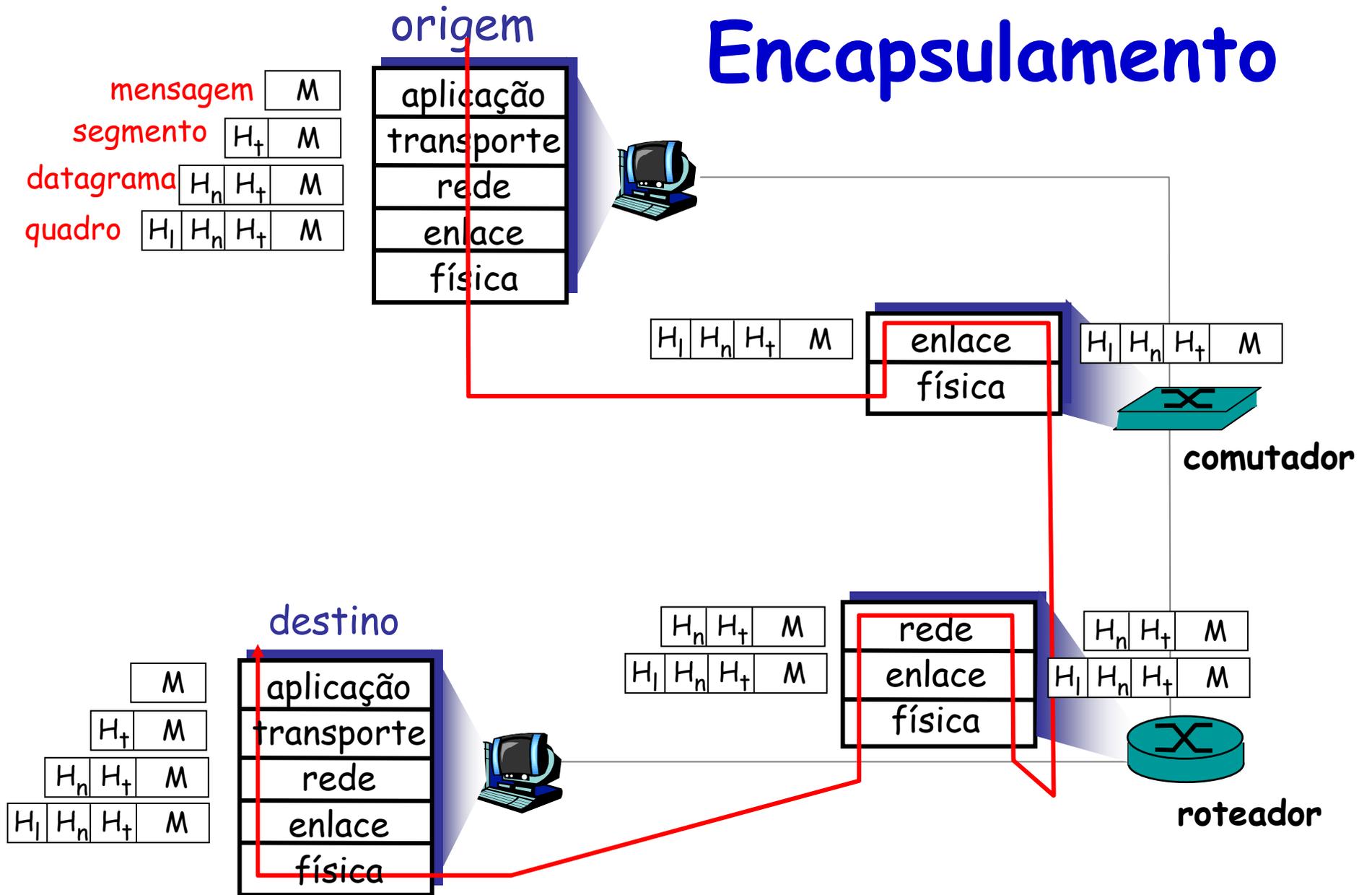
# Camadas do Modelo TCP/IP

- Rede
  - Encaminhamento e roteamento\*
  - **Datagramas**
  - Ex.: IP
- Enlace
  - Comunicação **salto-a-salto**
    - **Transferência de dados entre elementos de rede vizinhos**
  - **Quadros**
  - Exs.: Ethernet, PPP, WiFi, etc.

# Camadas do Modelo TCP/IP

- Física
  - Transmissão dos bits "no fio"
  - Modulação e codificação

# Encapsulamento



# Material Utilizado

- Notas de aula do Prof. Igor Monteiro Moraes, disponíveis em <http://www2.ic.uff.br/~igor/cursos/redespg>

# Leitura Recomendada

- Capítulo 1 do Livro "*Computer Networking: A Top Down Approach*", 5a. Ed., Jim Kurose and Keith Ross, Editora Pearson, 2010
- Capítulo 1 e 2 do Livro "*Computer Networks*", Andrew S. Tanenbaum e David J. Wetherall, 5a. Edição, Editora Pearson, 2011
- Campista, M. E. M., Ferraz, L. H. G., Moraes, I. M., Lanza, M. L. D., Costa, L. H. M. K., and Duarte, O. C. M. B. - "*Interconexão de Redes na Internet do Futuro: Desafios e Soluções*", em Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2010, pp. 47-101, Gramado, RS, Brazil, Maio de 2010.