

Introdução às Redes de Computadores

Débora Christina Muchaluat Saade

ATENÇÃO!

- Este apresentação contém partes baseadas nos seguintes trabalhos
 - Notas de aula do Prof. Igor Monteiro Moraes, IC/UFF
 - Notas de aula do Prof. Marcelo Rubinstein, disponíveis em <http://www.lee.eng.uerj.br/~rubi>
 - Notas de aula do Prof. José Augusto Suruagy Monteiro, disponíveis em <http://www.nuperc.unifacs.br/Members/jose.suruagy/cursos>
 - Notas de aula do Prof. Luiz Fernando Gomes Soares, DI/PUC-Rio
 - Material complementar do livro Computer Networking: A Top Down Approach, 5th edition, Jim Kurose and Keith Ross, Addison-Wesley, abril de 2009
 - Computer Networks, Andrew S. Tanenbaum, 4a. Edição, Editora Prentice Hall
 - 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", in Minicursos do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBRC'2010, pp. 47-101, Gramado, RS, Brazil, May 2010.
 - Redes e Sistemas de Comunicação de Dados, William Stallings, 1ª. Edição, Campus, 2005.

Princípios da Comunicação

- O que é necessário para duas pessoas se comunicarem?



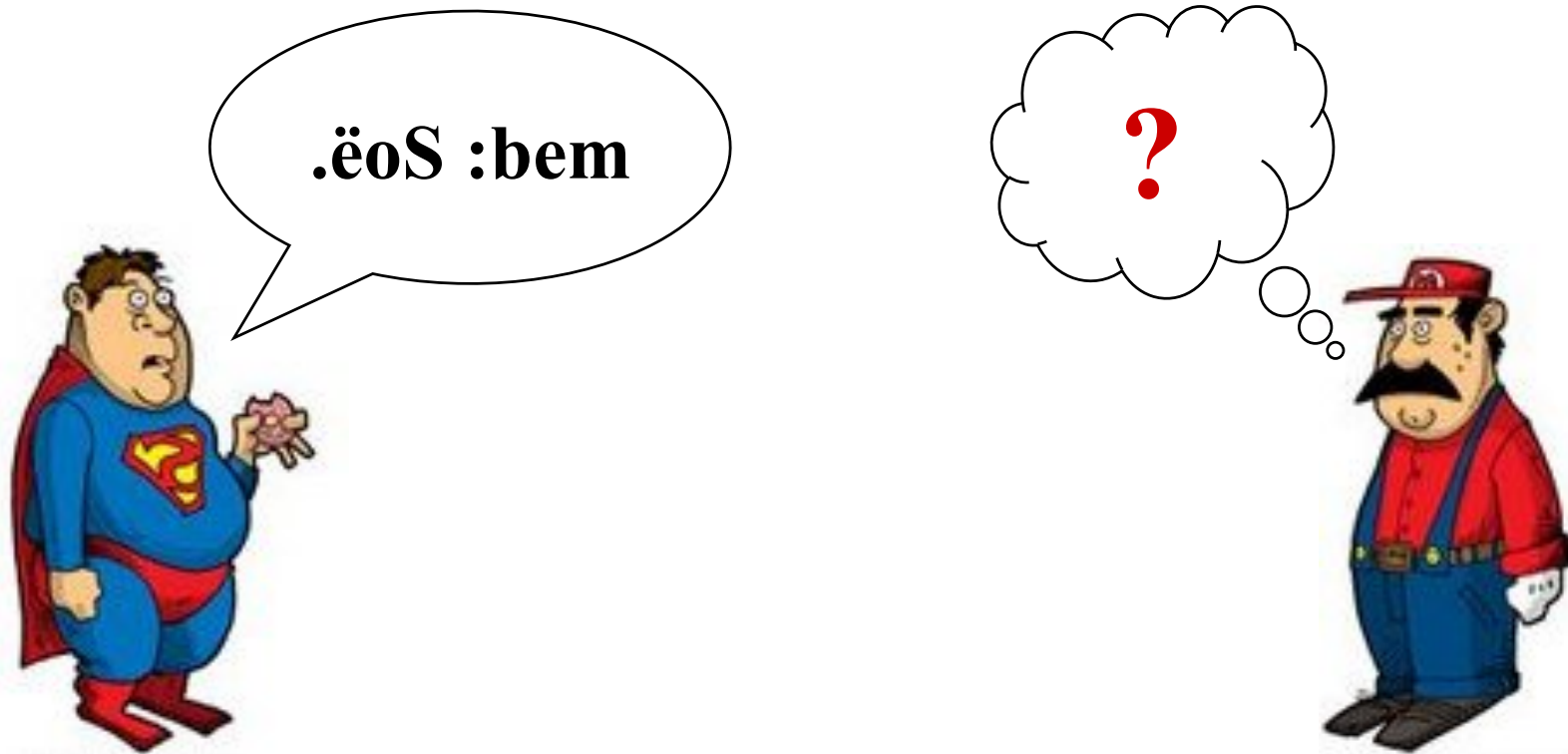
Princípios da Comunicação

- 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

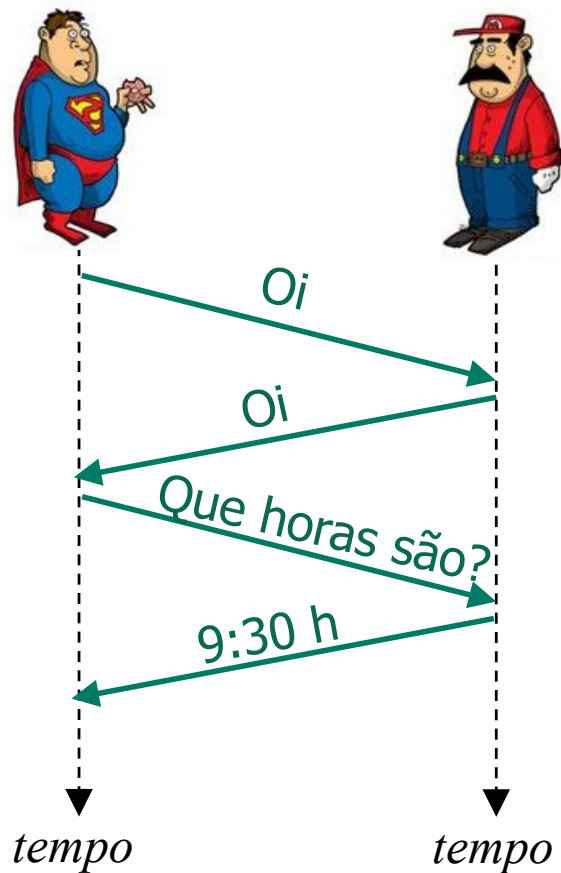


Protocolos de Comunicação

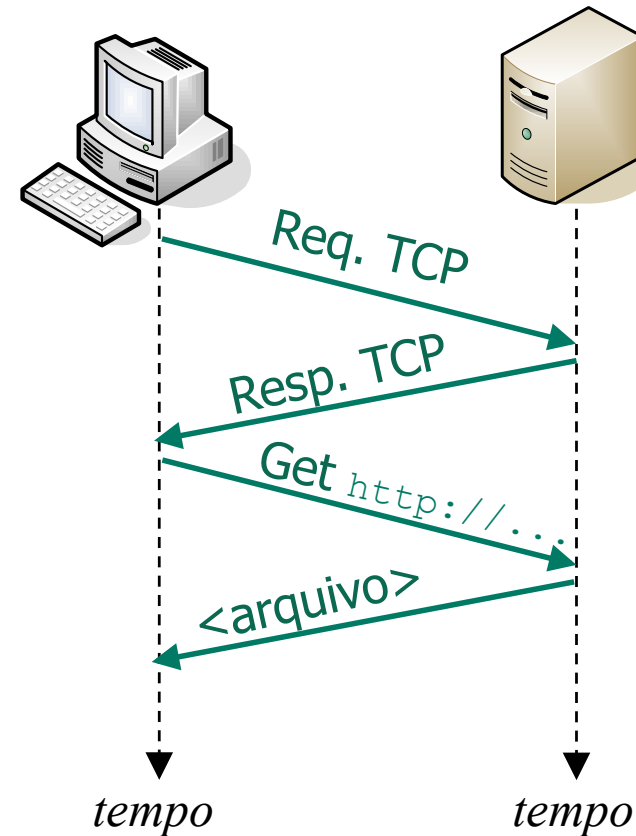
- Conjunto de regras e procedimentos que definem a comunicação entre duas ou mais entidades
- Definem
 - O formato e a ordem das mensagens trocadas entre duas ou mais entidades
 - As ações tomadas durante a recepção e/ou transmissão de mensagens
 - As ações tomadas em outros eventos

Protocolos de Comunicação

Protocolo humano



Protocolo de rede



Protocolos de Comunicação

- Mas se as entidades não quiserem “apenas” se comunicarem

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



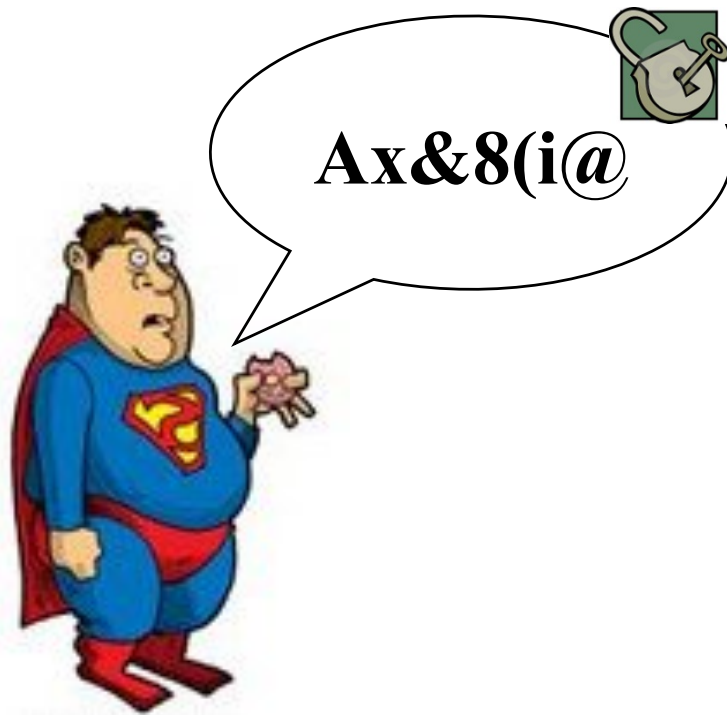
Protocolos de Comunicação

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



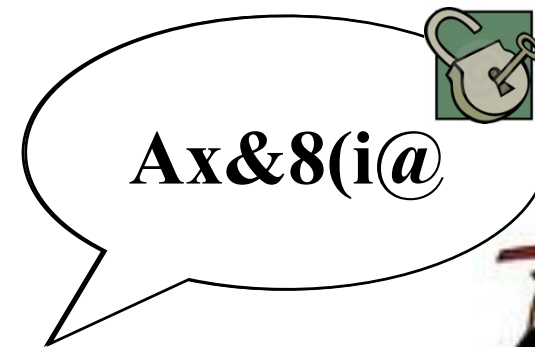
Protocolos de Comunicação

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



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.

Aumentam os requisitos



Aumenta a complexidade do sistema

Arquitetura em Camadas

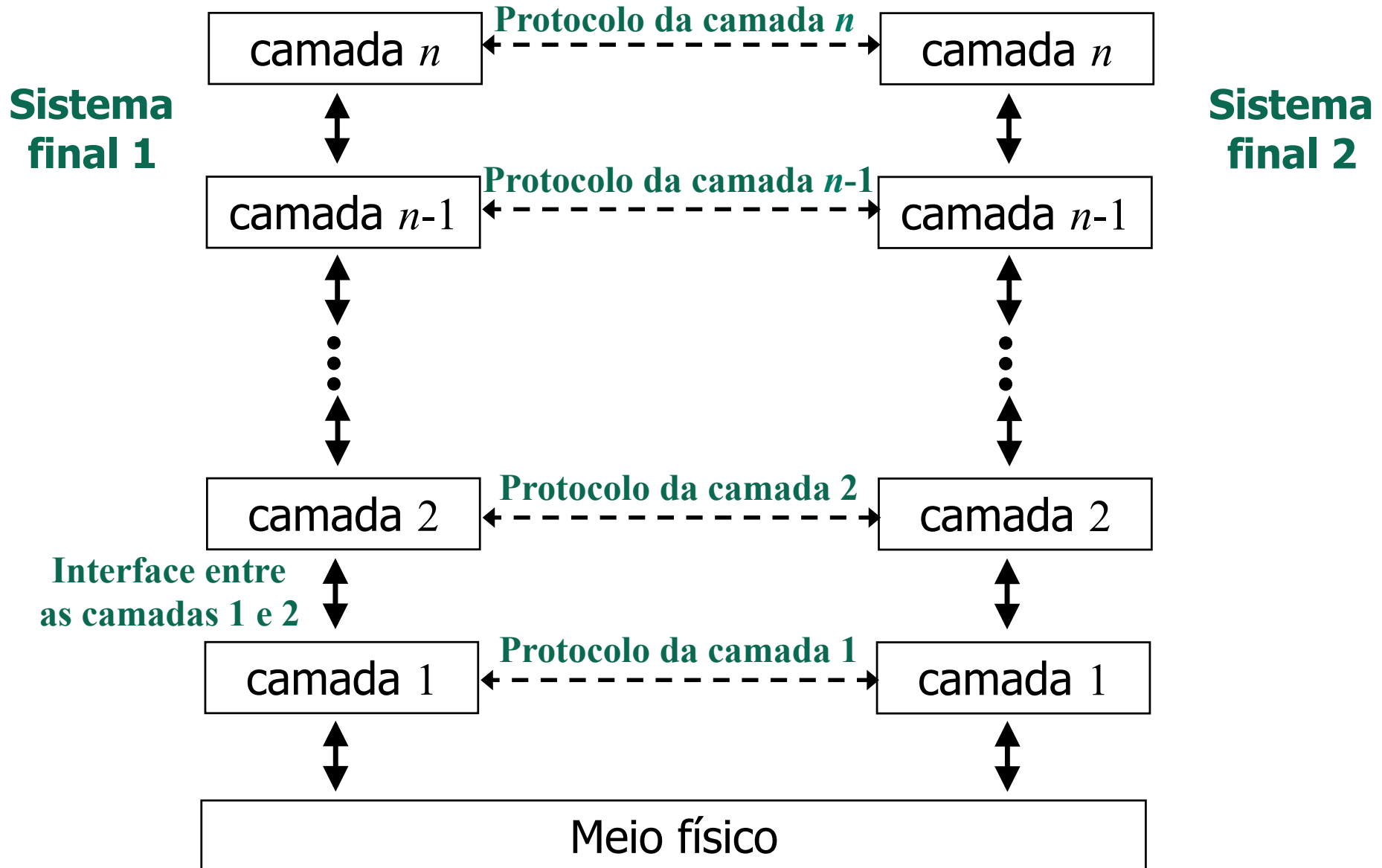
- Reduzir a complexidade do projeto de uma rede de comunicação
 - Cada camada
 - Provê um **serviço** para as camadas superiores
 - “Esconde” das camadas superiores como o serviço é implementado
- Criar um pilha de camadas
 - Número de camadas
 - Nome de cada camada
 - Função de cada camada

**Podem ser diferentes
para cada rede**

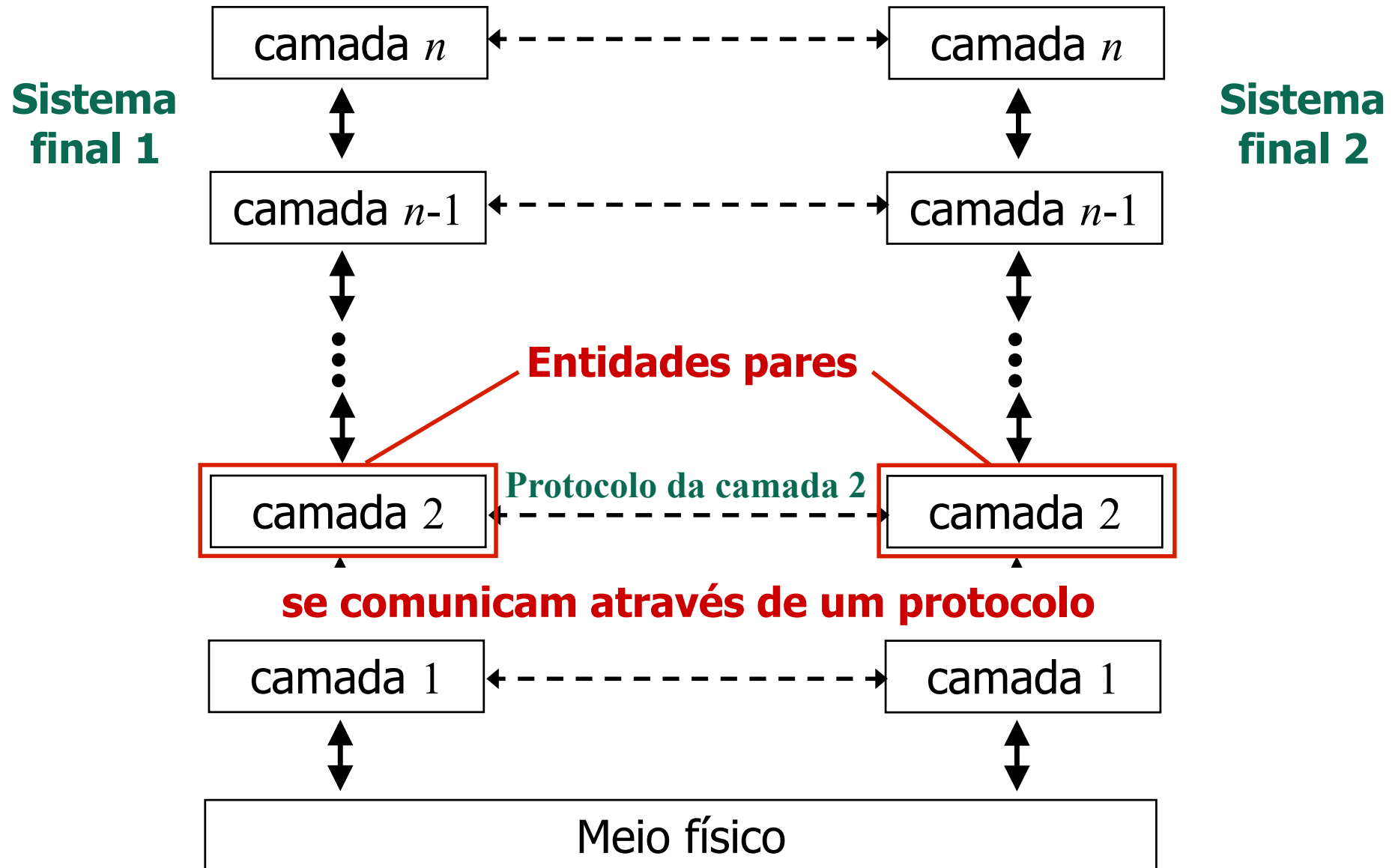
Por Que Dividir em Camadas?

- Lidar com sistemas complexos
 - Princípio: Dividir para conquistar
 - 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

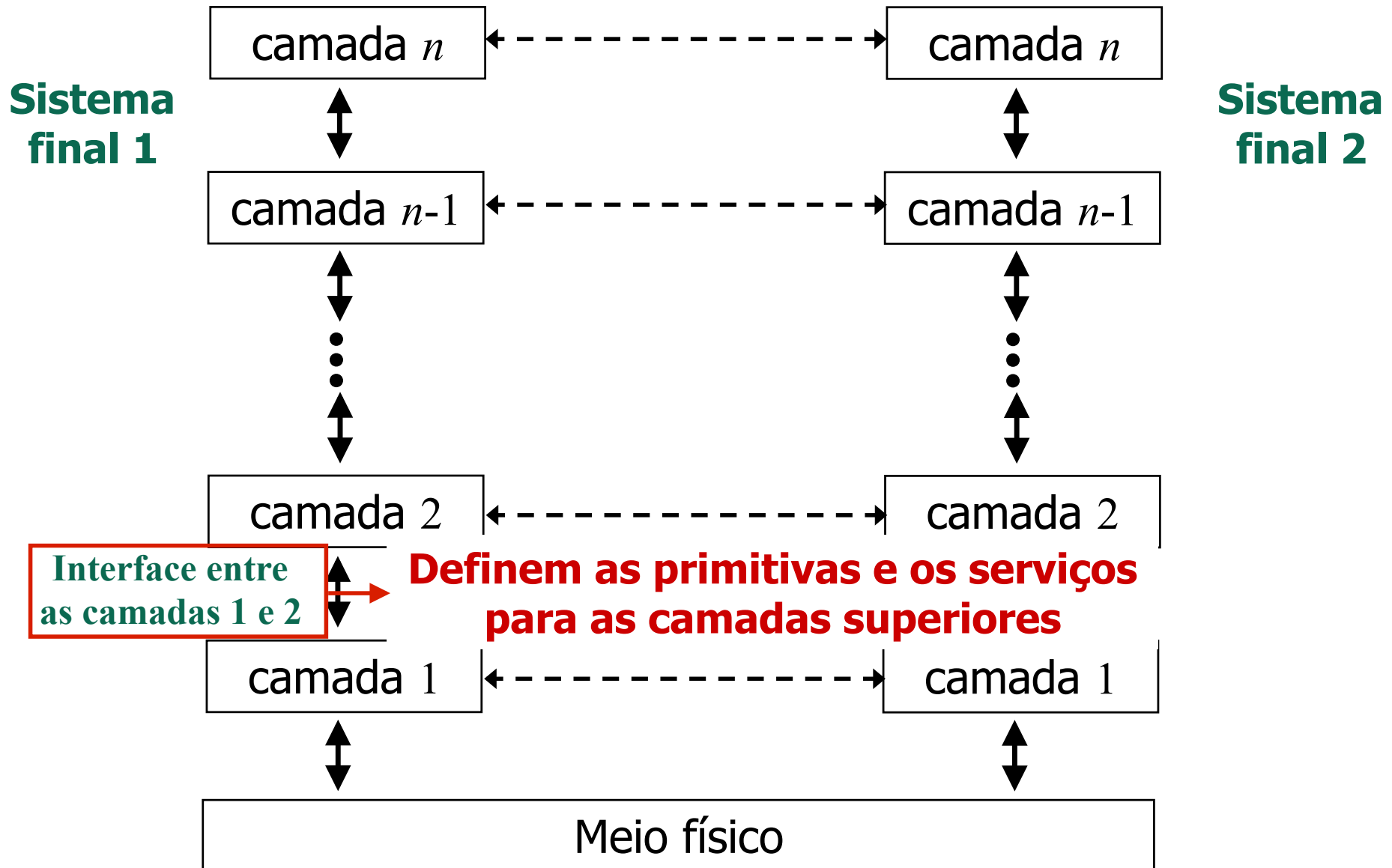
Arquitetura em Camadas



Arquitetura em Camadas



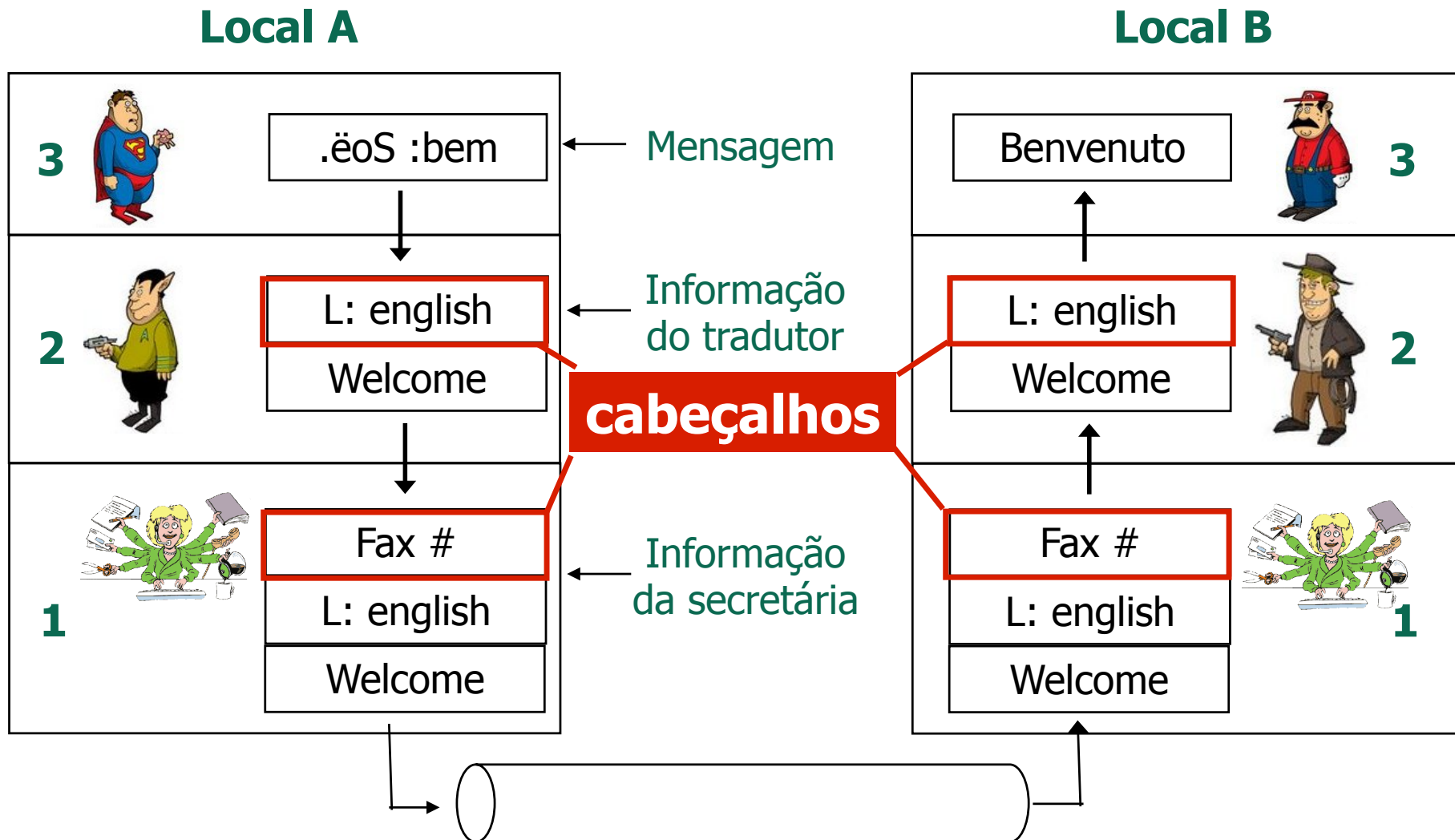
Arquitetura em Camadas



Mais Conceitos

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

Comunicação Multicamadas



Redes de Computadores

- Definições
 - Conjunto de computadores autônomos interconectados por uma única tecnologia
 - Internet é uma rede de redes
 - Sistema de comunicação que visa a interconexão entre computadores, terminais e periféricos

Redes de Computadores

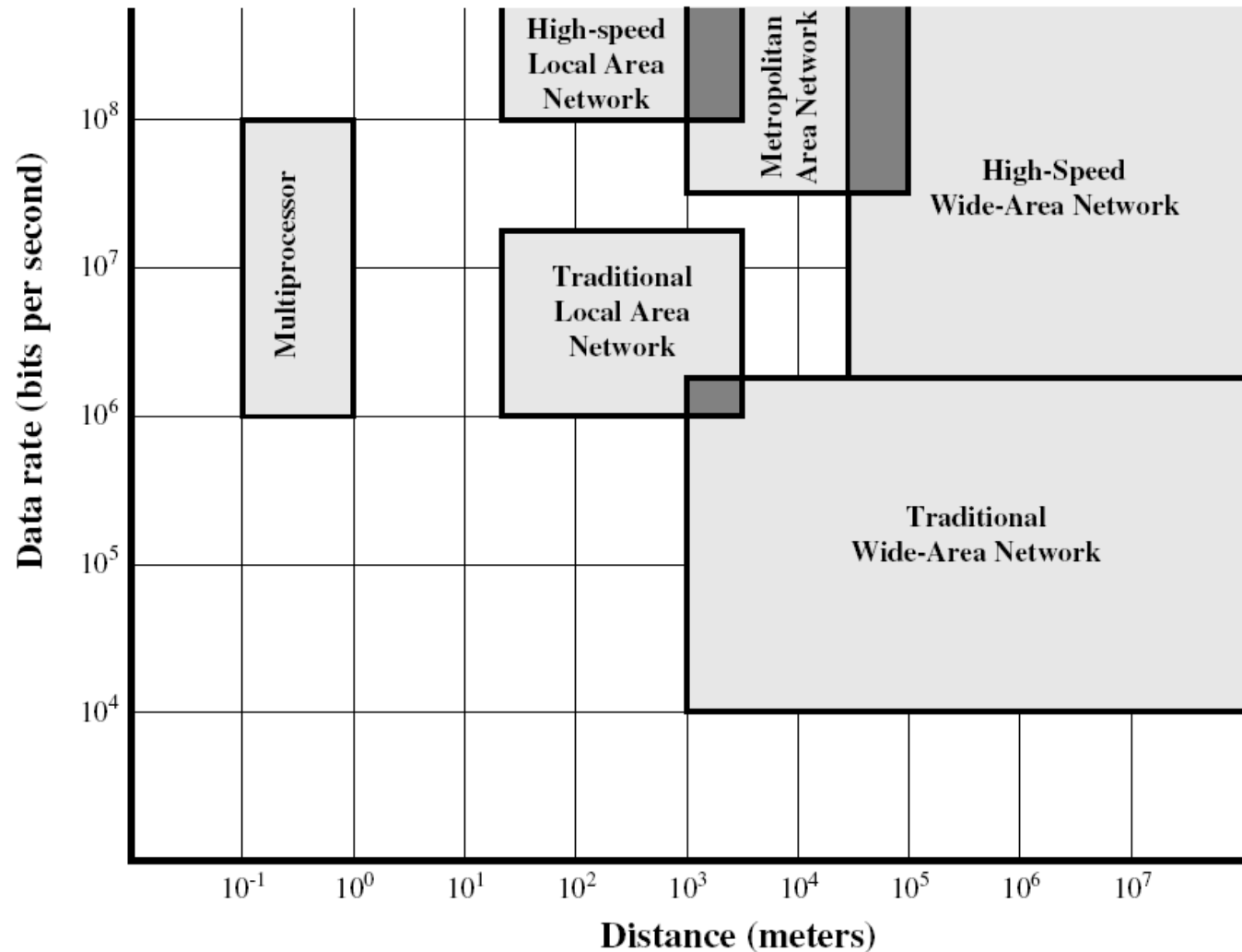
- Usos de redes de computadores
 - Aplicações militares
 - Aplicações comerciais e domésticas
 - Compartilhamento de recursos físicos e informações
 - Comunicação entre usuários
 - Comércio eletrônico
 - Entretenimento
 - Usuários móveis
 - Escritório portátil

Classificações de Redes

- Extensão geográfica
 - Redes corporais (*Body Area Networks* – BANs)
 - 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)

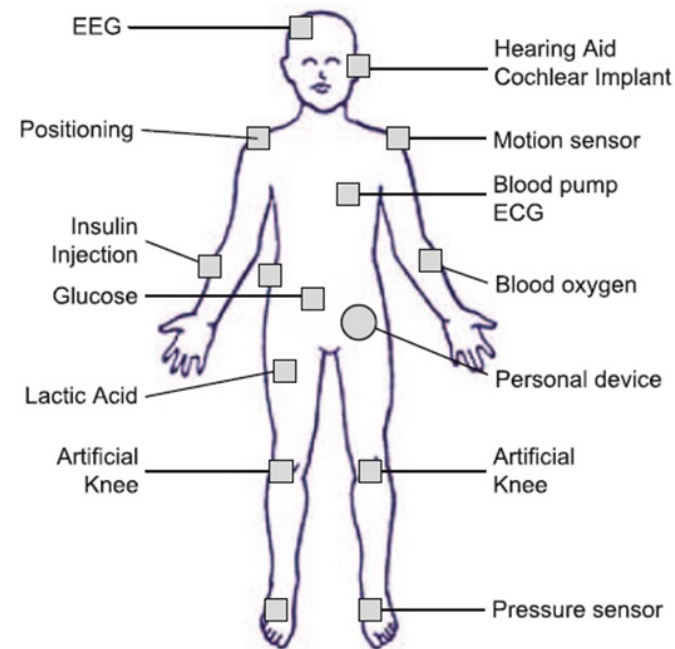
Classificações de Redes

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



Redes Corporais

- BANs – Body Area Networks
- Cobrem distâncias bem pequenas
 - Destinadas a interconectar sensores e atuadores no corpo de uma única pessoa
- Ex.: Slotted ALOha



Redes Pessoais

- PANs – Personal Area Networks
- Cobrem distâncias muito pequenas
 - Destinadas a interconectar equipamentos de uma única pessoa
- Ex.: Bluetooth

Redes Locais

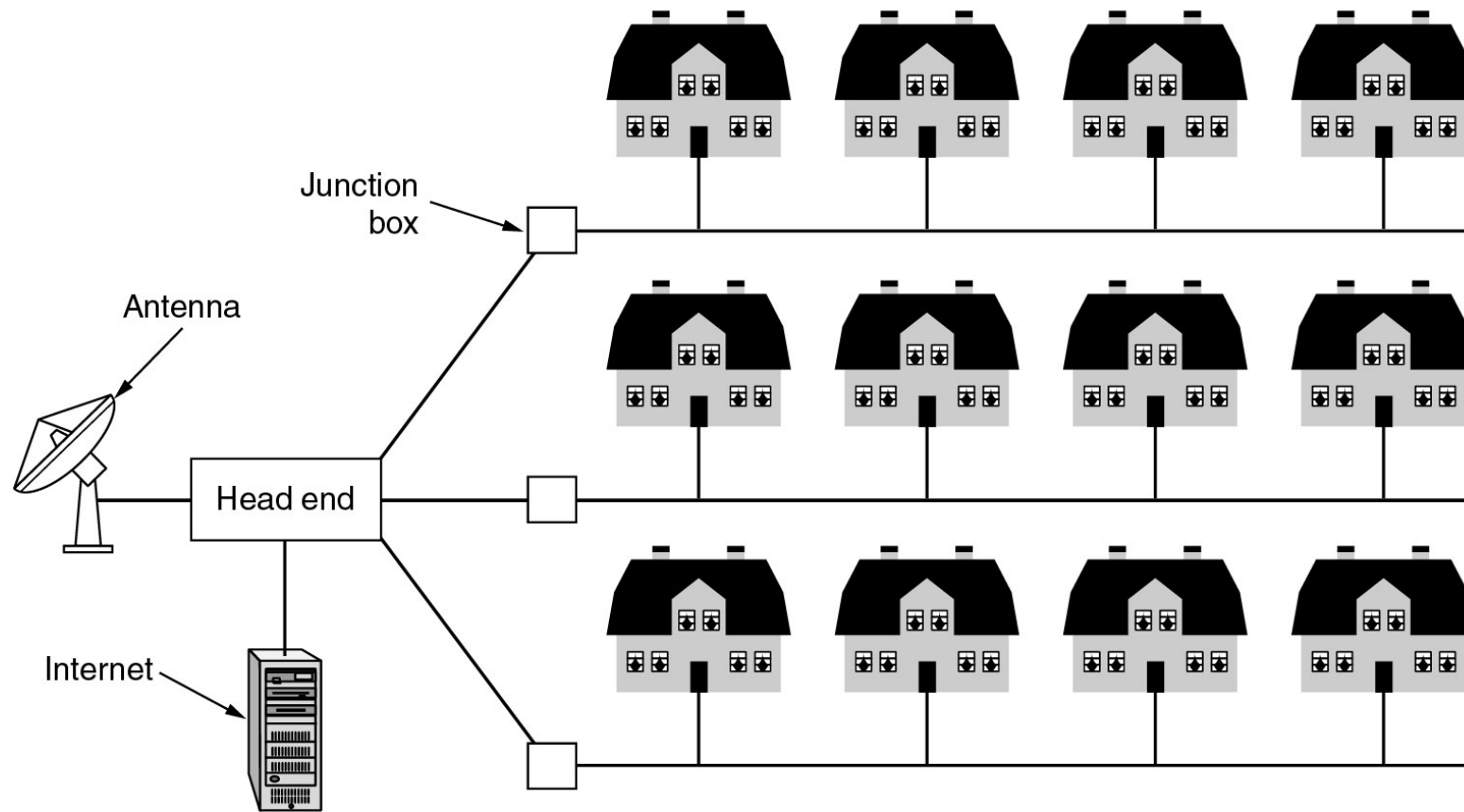
- LANs – Local Area Networks
- Cobrem pequenas distâncias
 - Um prédio ou um conjunto de prédios
- Geralmente pertencentes a uma mesma organização
- Taxa de transmissão da ordem de Mbps
- Pequenos atrasos de propagação
- Ex.: Ethernet

Redes Metropolitanas

- MANs – Metropolitan Area Networks
- Cobrem grandes distâncias
 - Uma cidade
- Ex.: rede de TV a cabo

Redes Metropolitanas

MAN baseada na TV a cabo (fonte: Tanenbaum)



Redes de Longa Distância

- 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

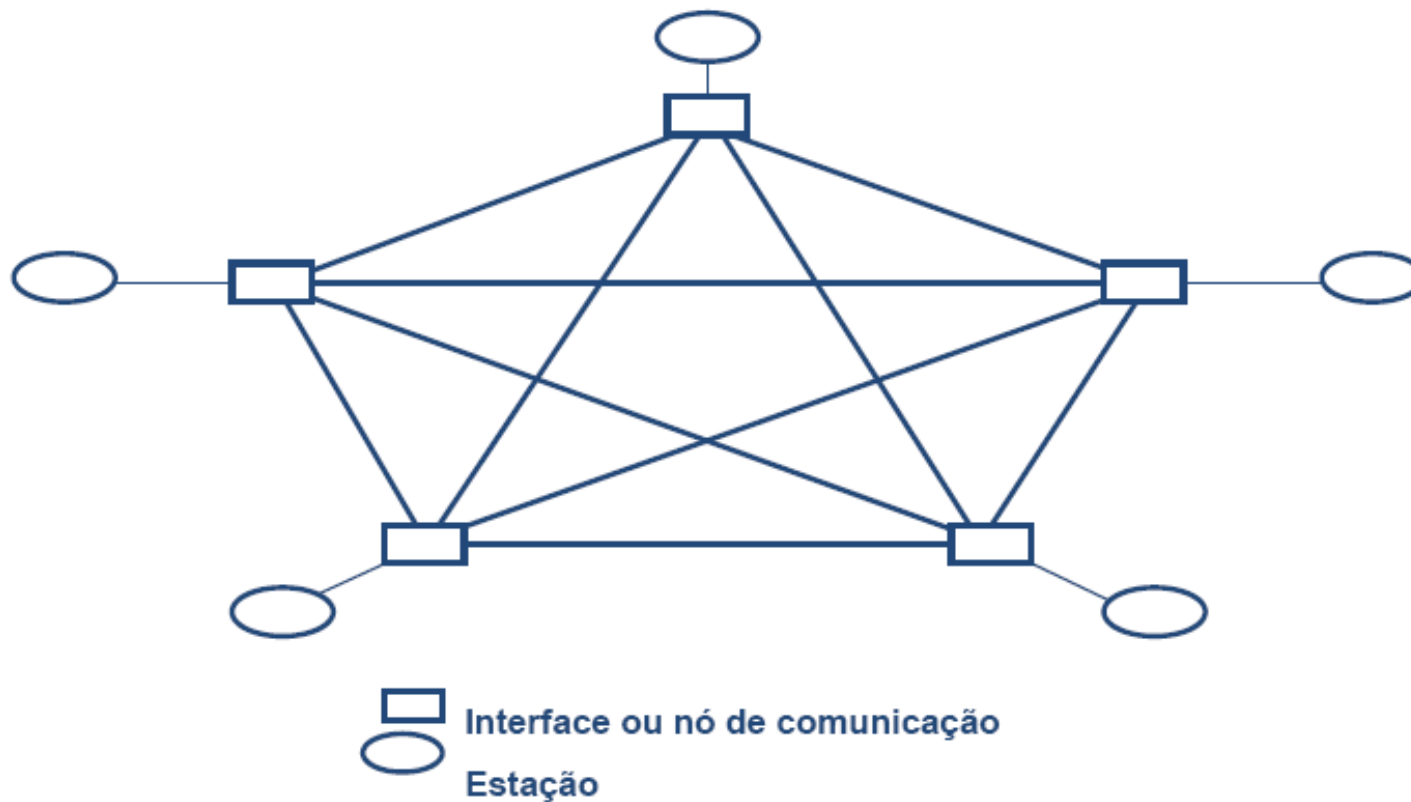
Topologias

- 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

- 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 (totalmente conectada) ou
 - irregular (parcialmente conectada)

Malha Completa

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



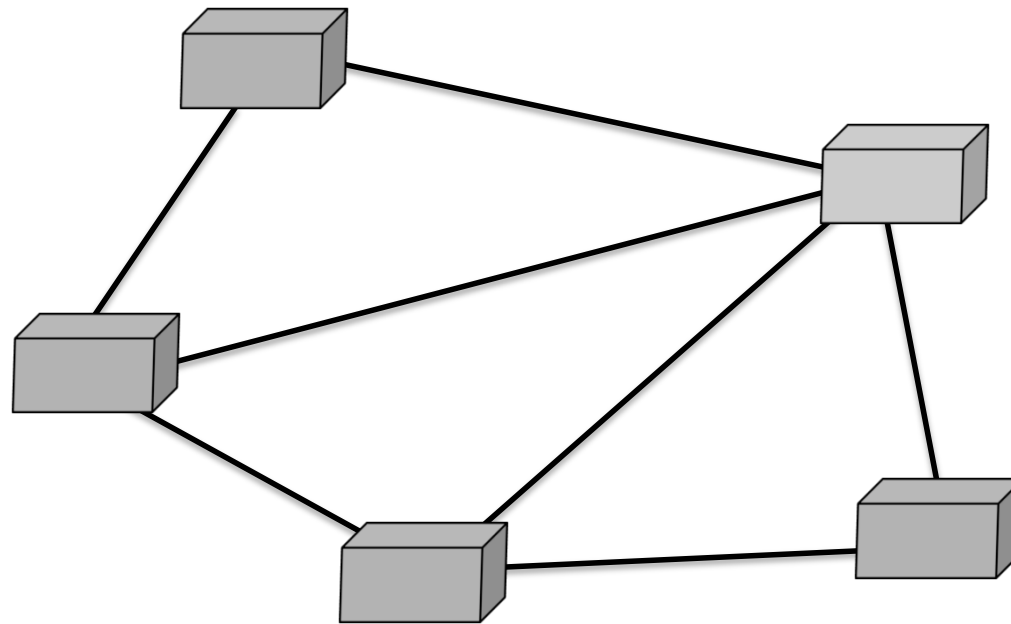
Exemplo de malha completa

Malha Completa

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

Malha Irregular

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

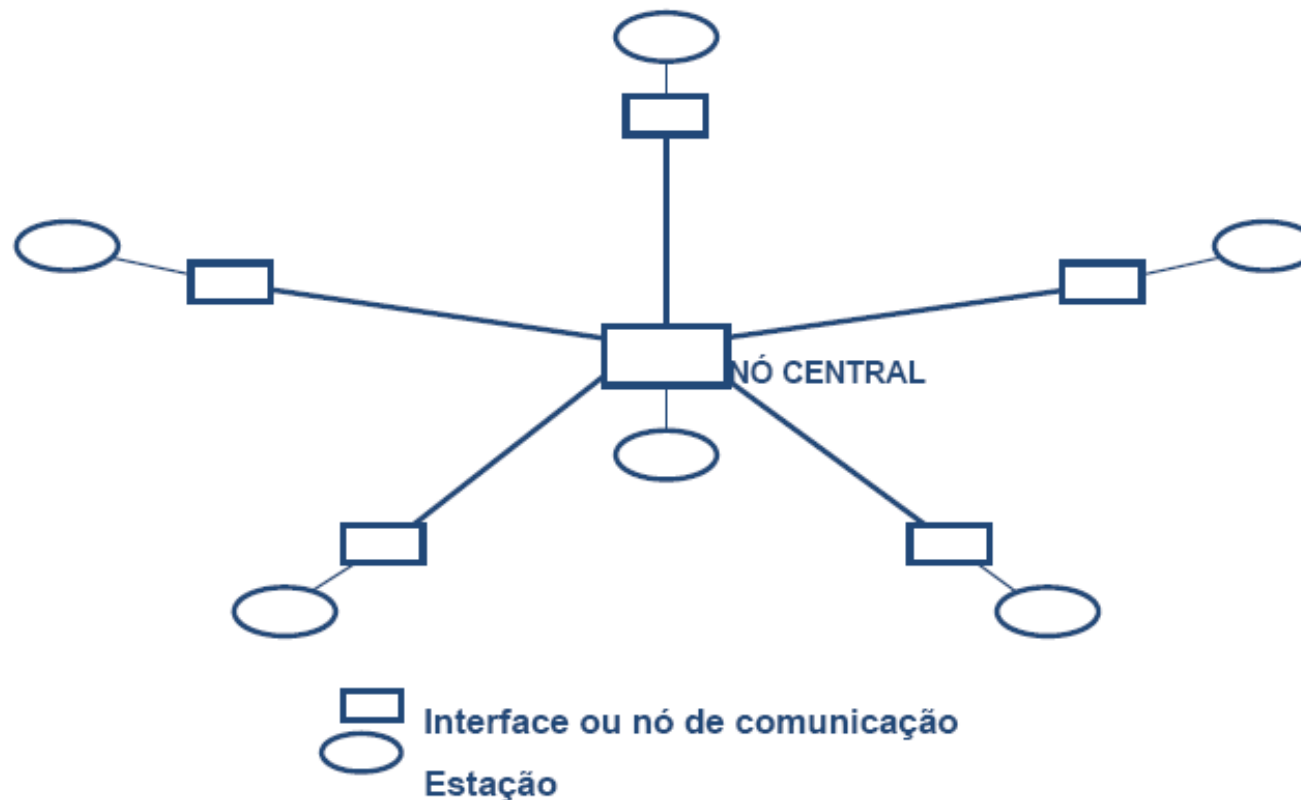


Malha Irregular

- 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 roteamento

Estrela

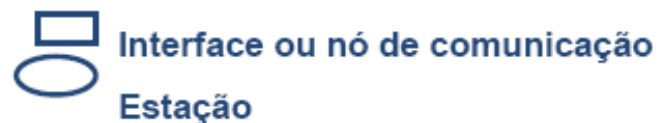
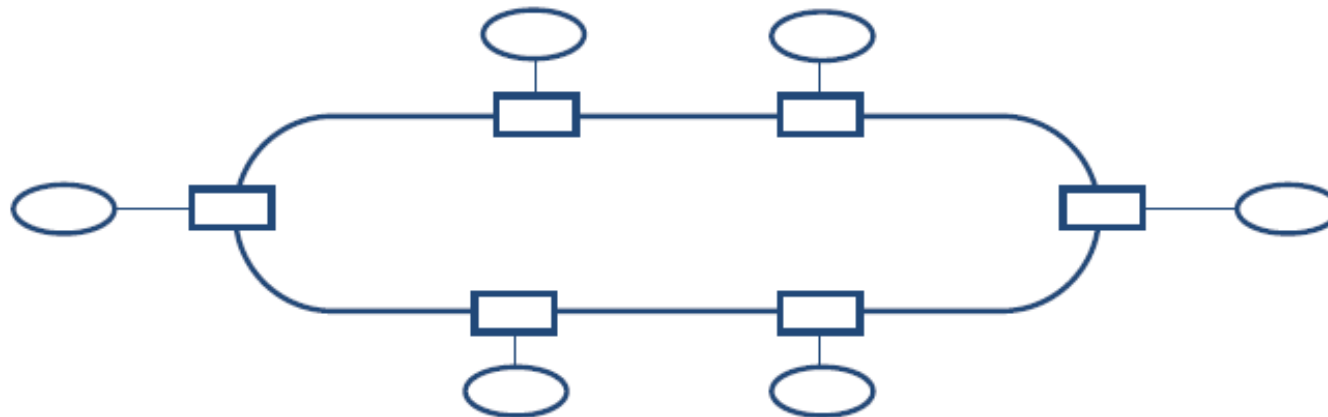
- Decisões de roteamento centralizadas em um nó
- Cada estação é conectada a esse nó central



- 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

Anel

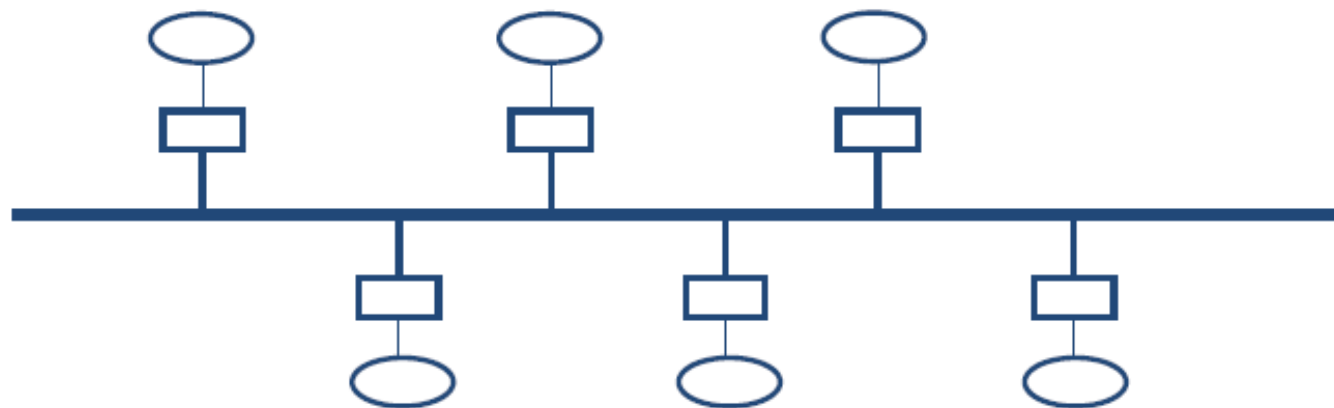
- Mensagens circulam nó-a-nó até o destino
 - Tem de reconhecer o próprio nome (endereço) nas mensagens e copiar as que lhe são destinadas




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

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

Barramento

- Vantagens
 - Não há necessidade de decisões de roteamento
 - 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

Topologias Híbridas

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

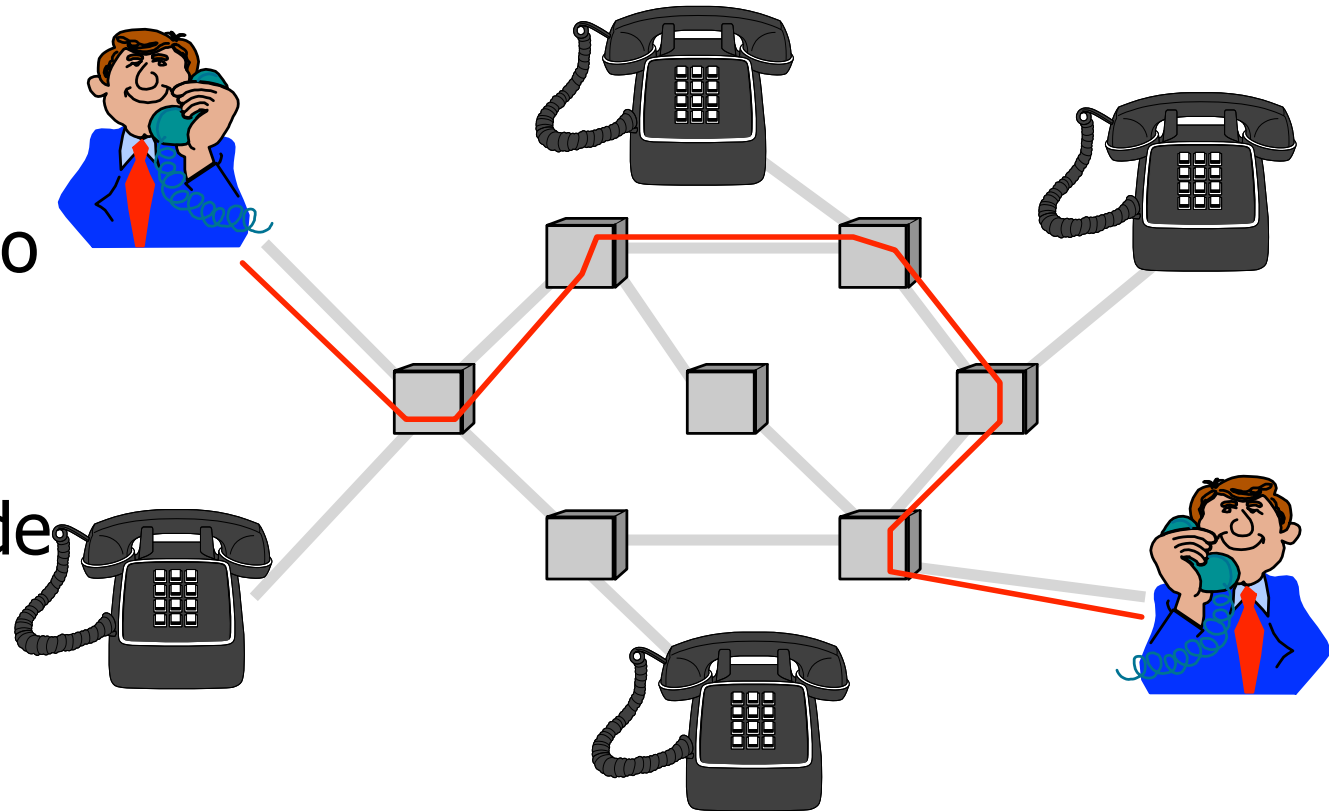
Comutação de Circuitos e Comutação de Pacotes

- Refere-se à alocação dos recursos da rede (meios de transmissão, repetidores, sistemas intermediários etc.) para a transmissão pelos diversos dispositivos conectados.
- Principais formas
 - Comutação de circuitos
 - Comutação de pacotes
 - circuito virtual
 - datagrama

Comutação de Circuitos

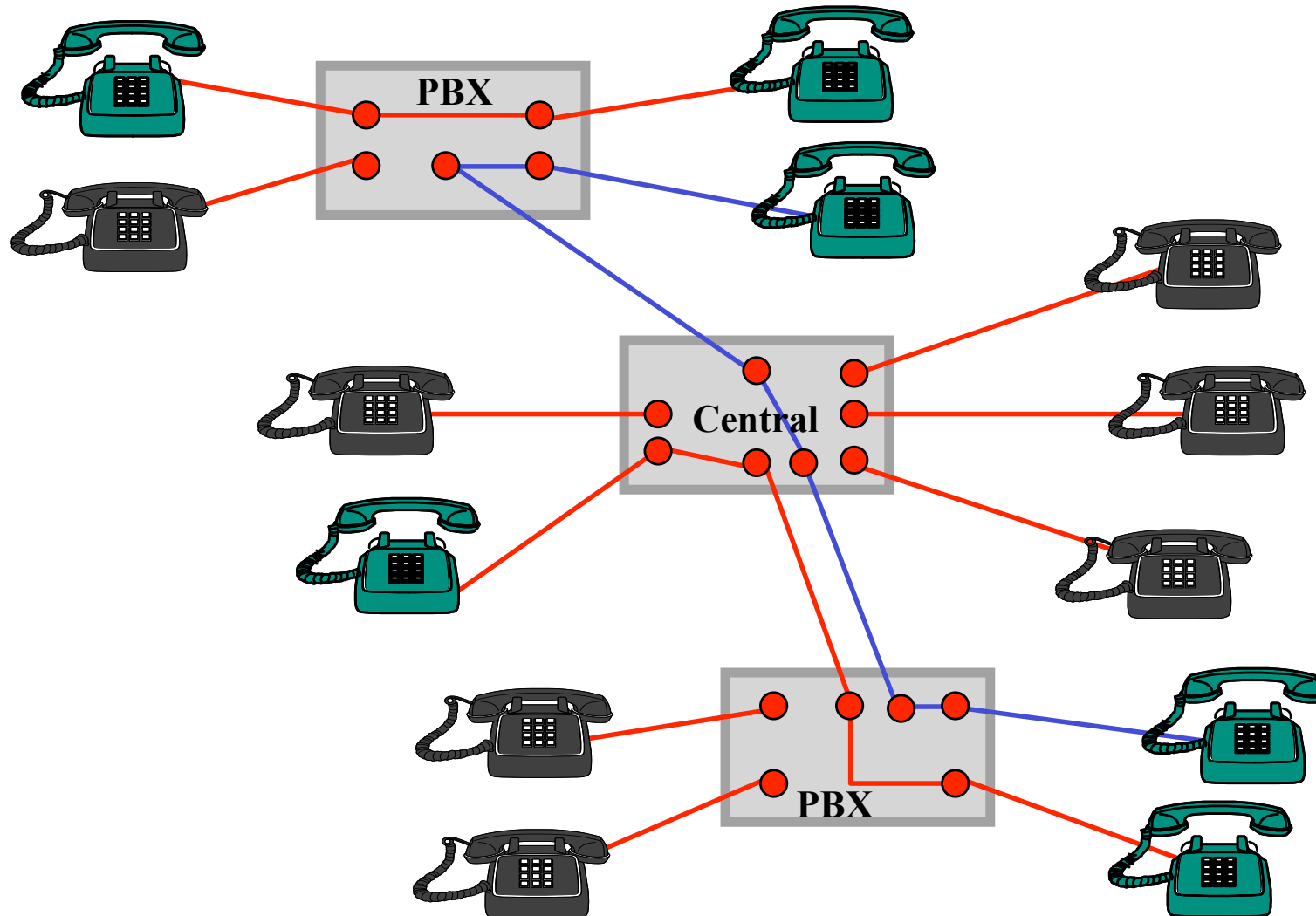
Fases

- Estabelecimento da Conexão (*Roteamento*)
- Transferência de Informação
- Desconexão

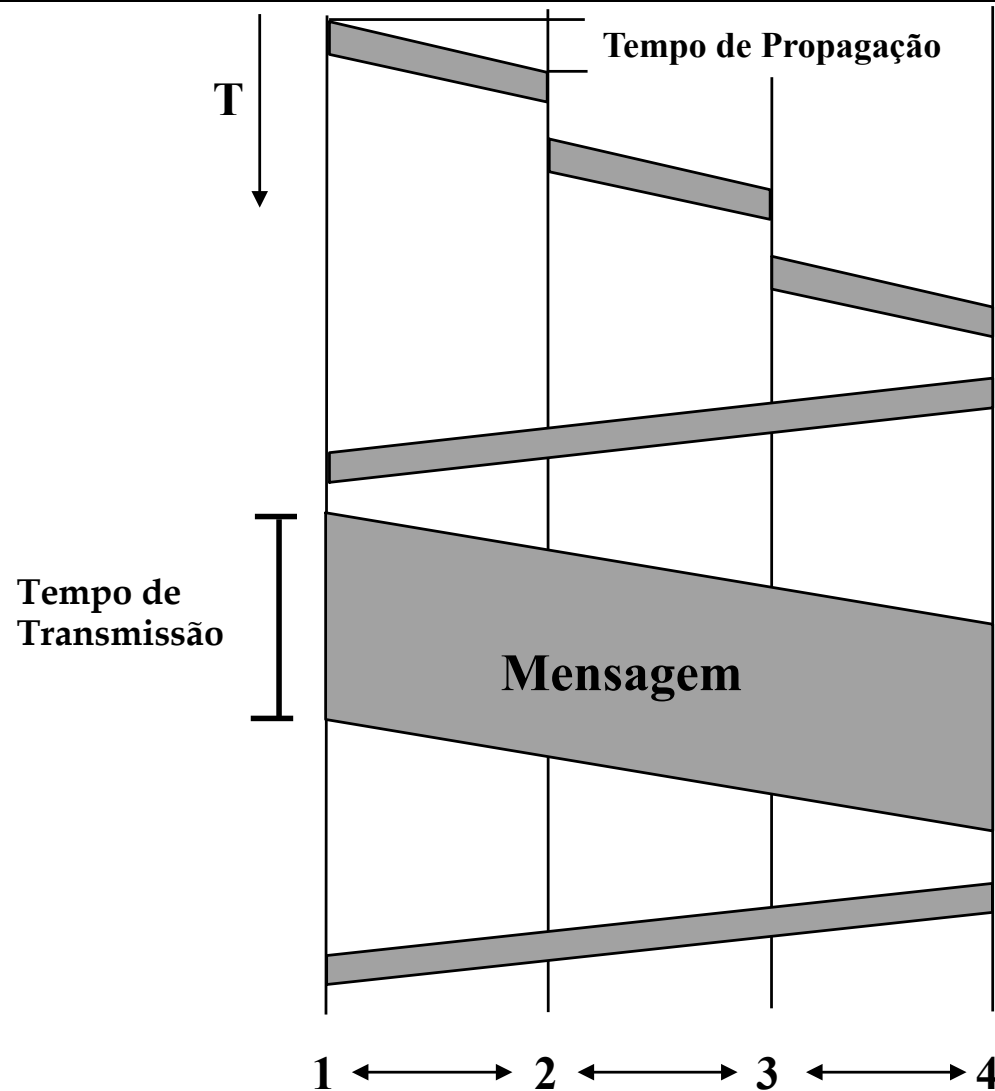


Um caminho permanece dedicado entre origem e destino durante todo o tempo de conexão

Rede Telefônica



Comutação de Circuitos



Comutação de Circuitos

- Chaveamento por divisão espacial (Space Division Switching - SDS)
 - cada nó fecha um **circuito físico** entre entrada e saída
- Chaveamento por divisão da frequência (Frequency Division Switching - FDS)
 - cada nó chaveia de um **canal de frequência** de uma linha de entrada para um **canal de frequência** de uma linha de saída
- Chaveamento por divisão do tempo (Time Division Switching - TDS)
 - cada nó chaveia de um **canal TDM (slot)** de uma linha de entrada para um **canal TDM** de uma linha de saída

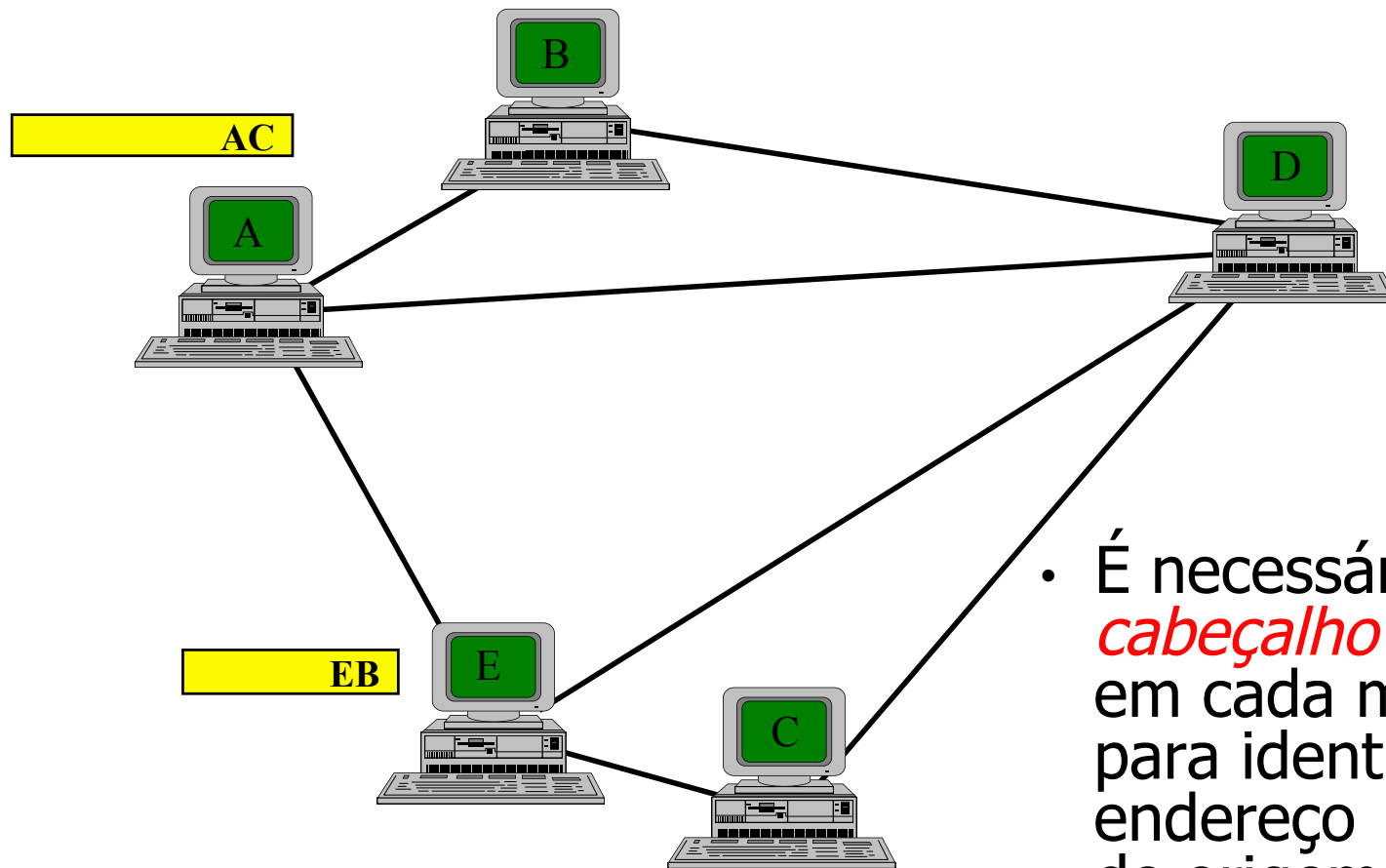
Comutação de Circuitos - Características

- Necessidade de estabelecimento de conexão (roteamento no momento da conexão)
- Canal dedicado
- Endereçamento necessário apenas na conexão
- Retardo de transferência dos dados constante

Comutação de Circuitos - Características

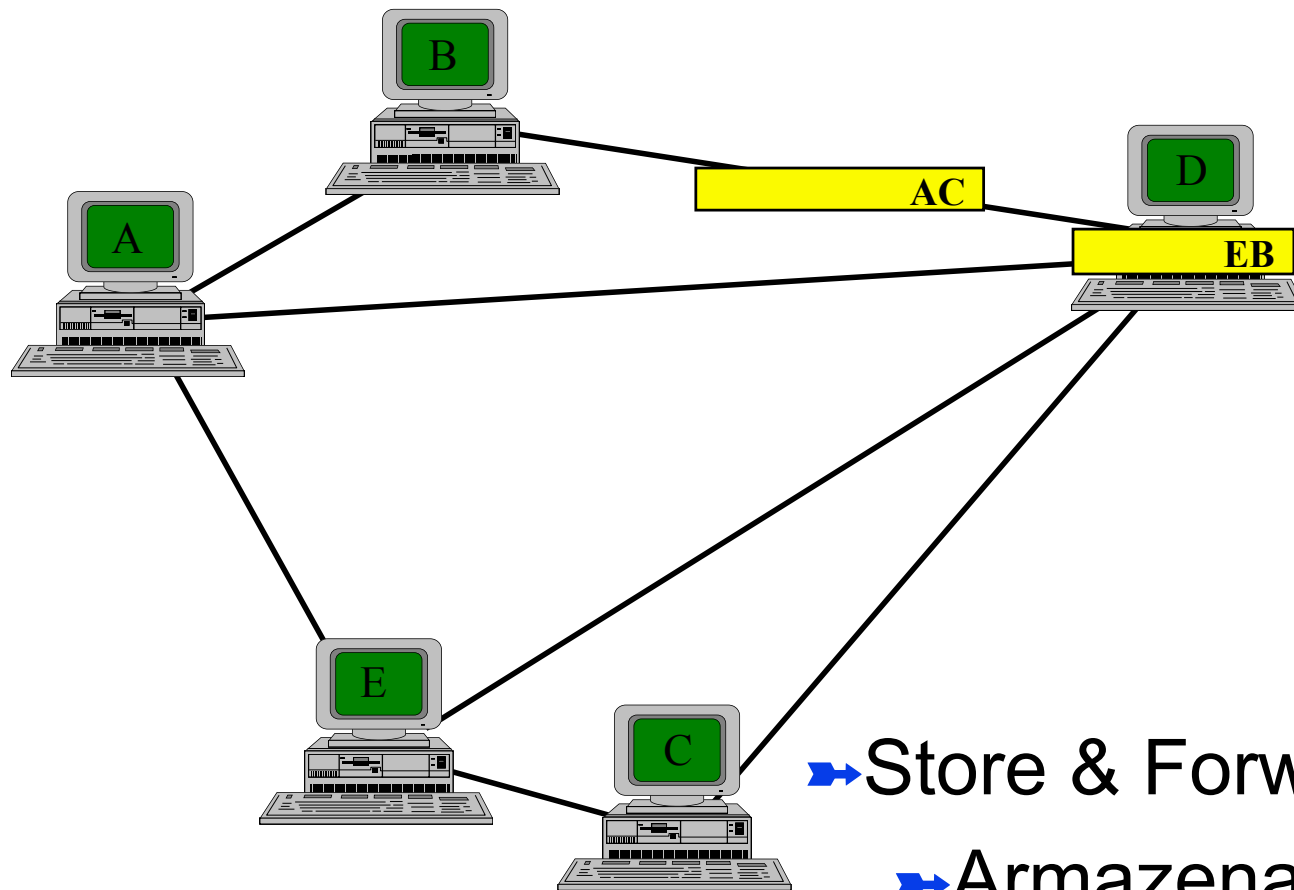
- Possibilidade de bloqueio da comunicação devido à falta de recursos
- Não necessita empacotamento
- Melhor para tráfego contínuo
- Pior para tráfego em rajadas

Comutação de Mensagens



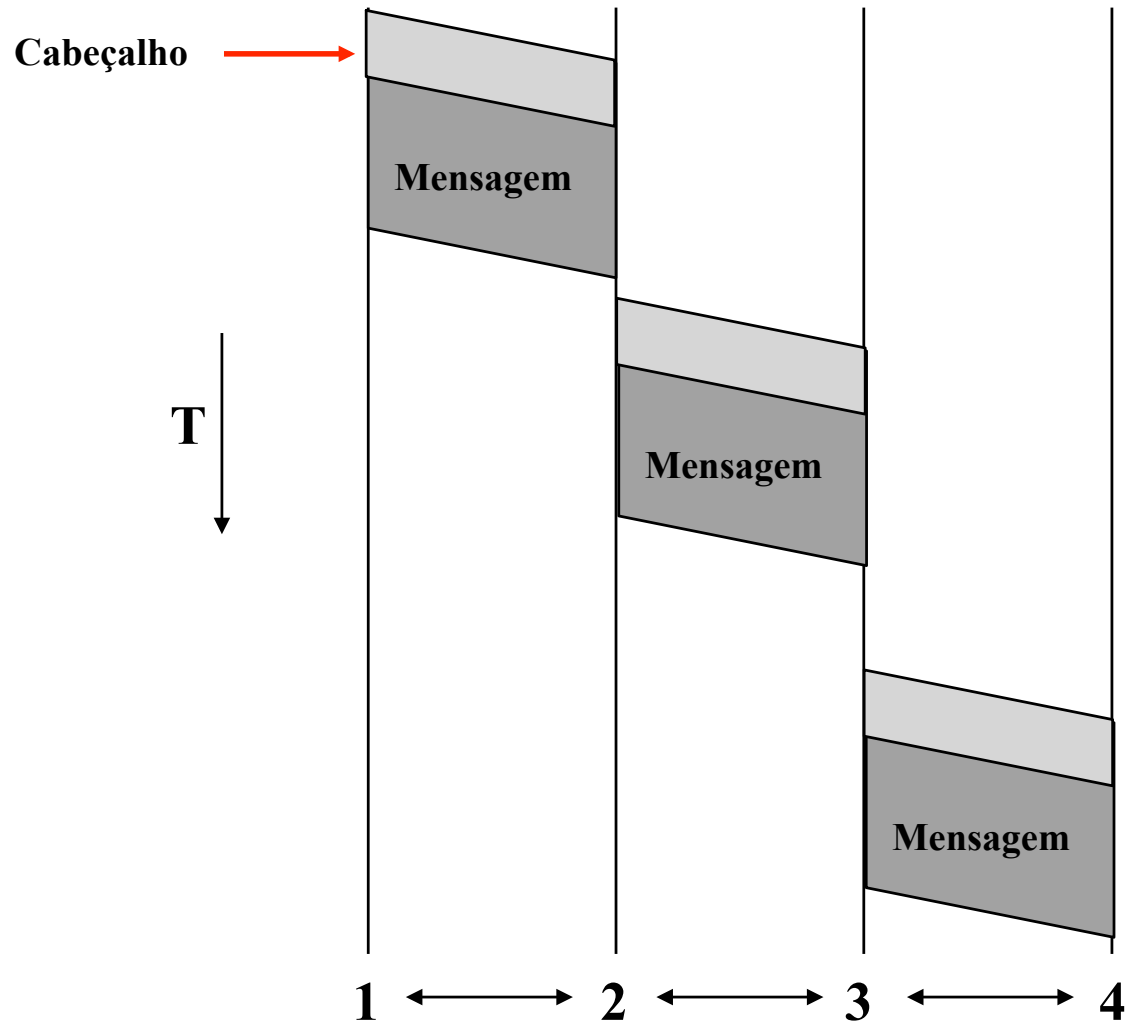
- É necessário um *cabeçalho* em cada mensagem para identificação de endereço de origem e destino

Comutação de Mensagens



- Store & Forward:
- Armazenamento
- Encaminhamento

Comutação de Mensagens



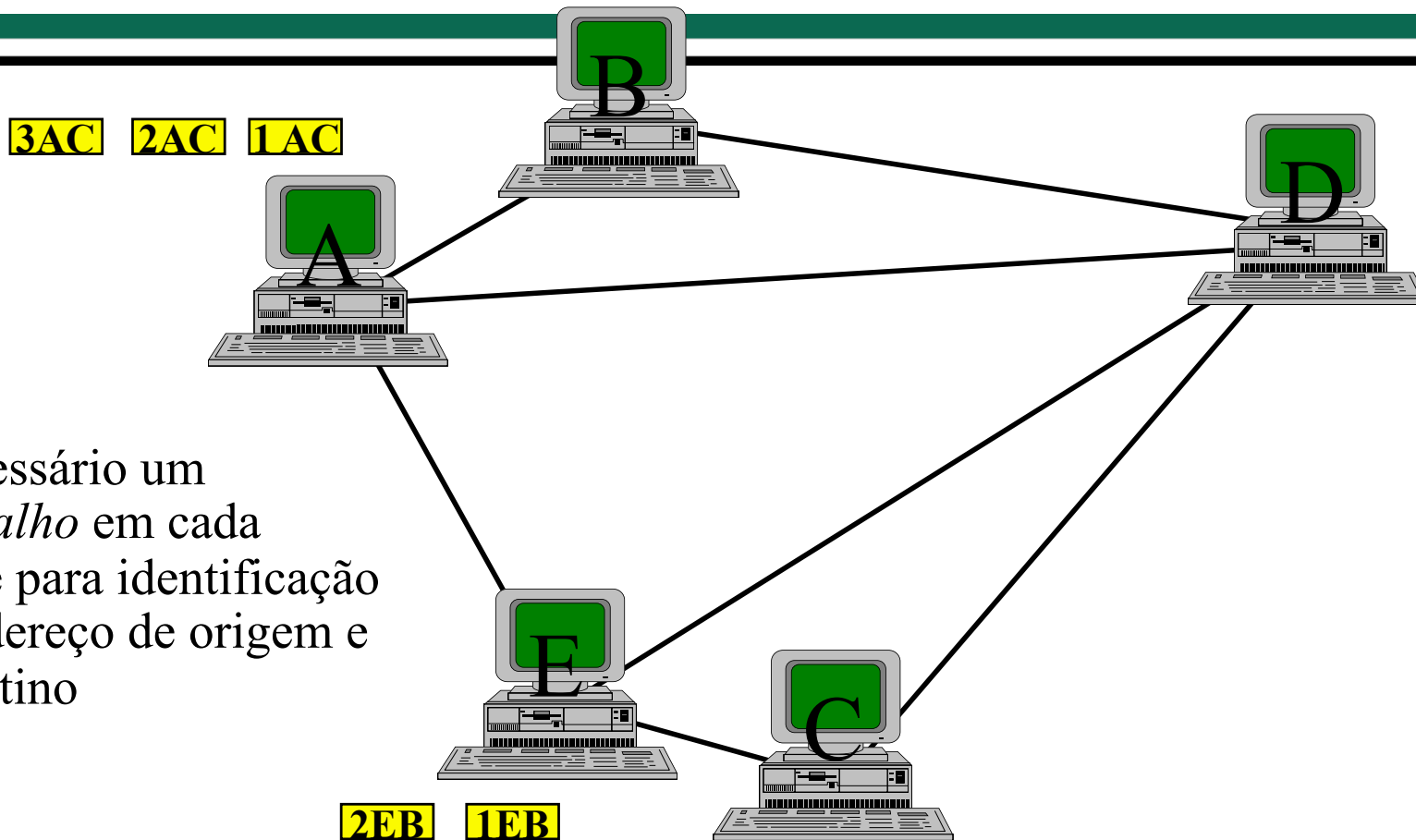
Comutação de Mensagens

Características

- Não existe fase de estabelecimento de conexão nem de desconexão
- *Store-and-Forward*
- Cada mensagem possui cabeçalho com informações necessárias ao seu encaminhamento
- Introduz grandes atrasos nas mensagens



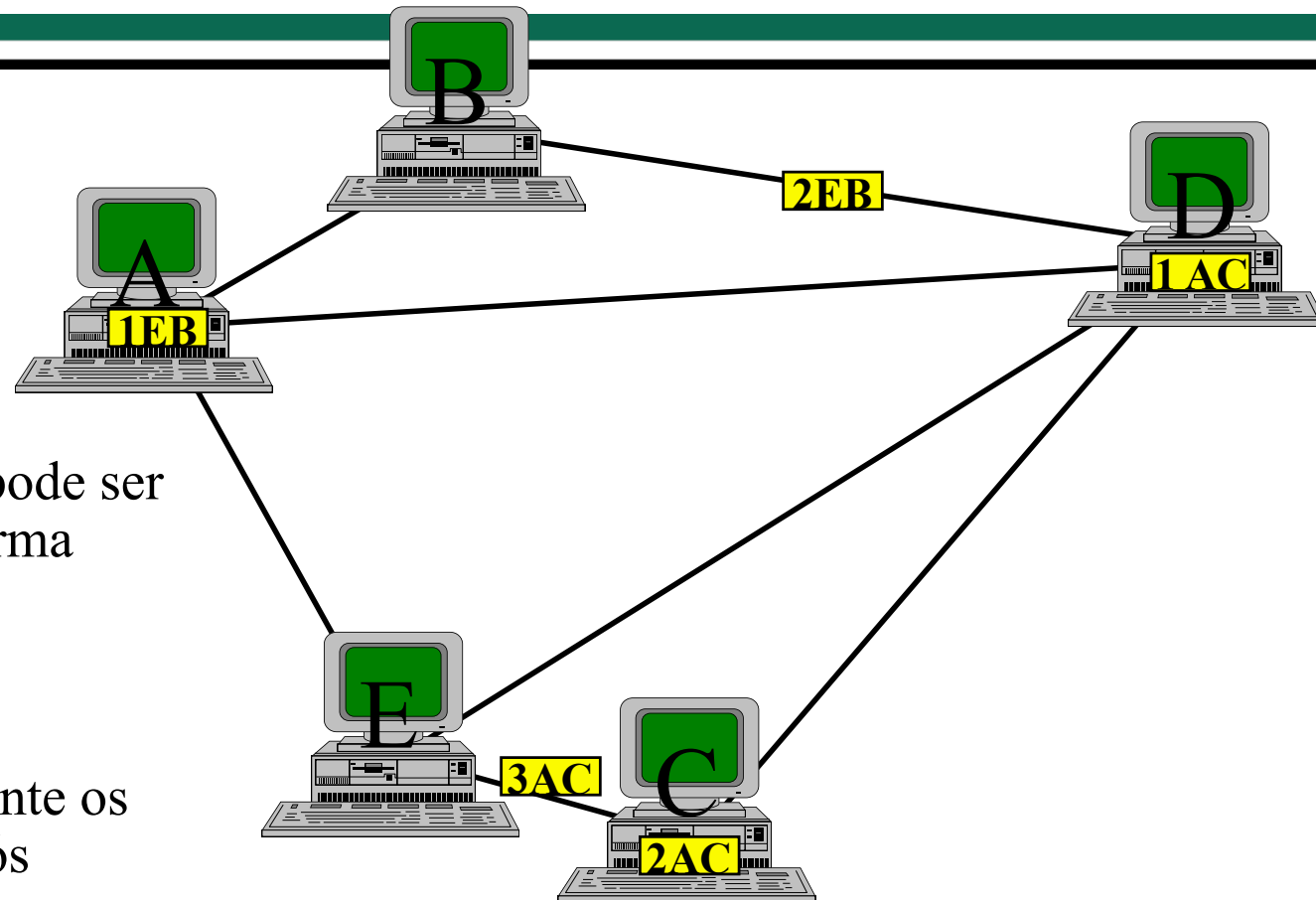
Comutação de Pacotes



➔ É necessário um *cabeçalho* em cada pacote para identificação de endereço de origem e de destino

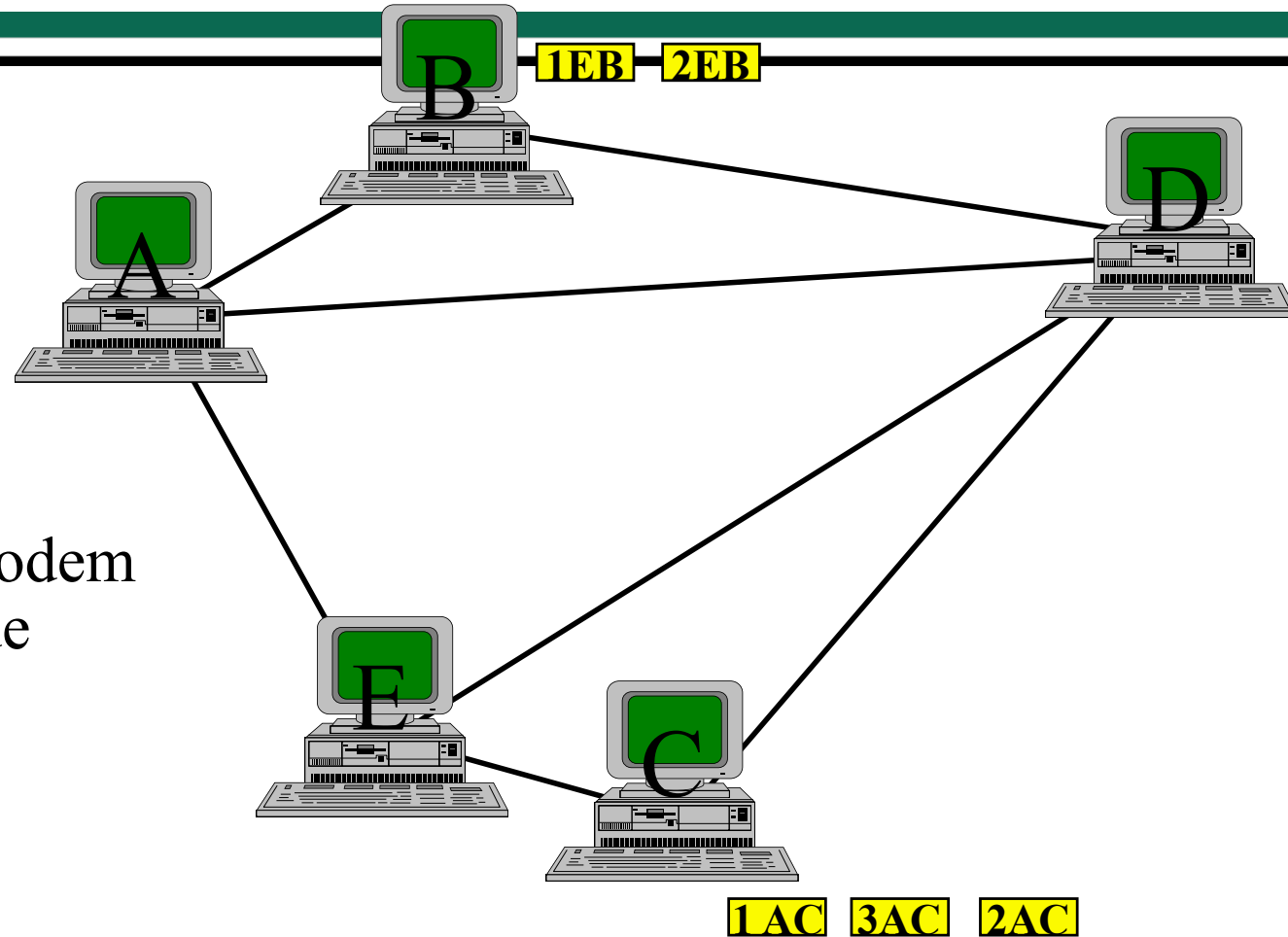
➔ Store & Forward:
➔ Armazenamento
➔ Encaminhamento

Comutação de Pacotes



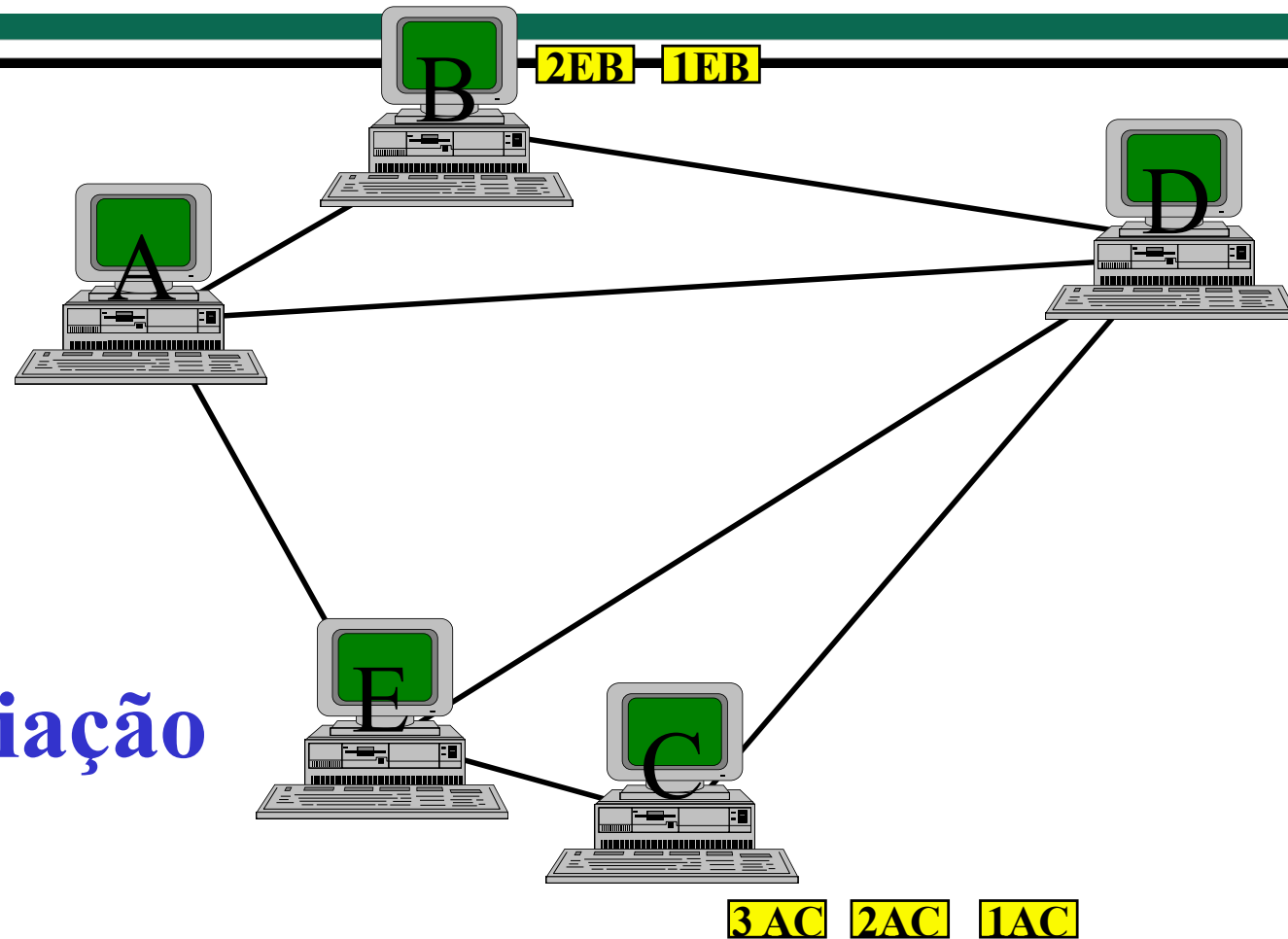
- ➔ Cada pacote pode ser roteado de forma independente
- ➔ É necessário armazenar temporariamente os pacotes em nós intermediários

Comutação de Pacotes



➔ Os pacotes podem chegar fora de *sequência* no destino

Comutação de Pacotes



Sequenciação

Comutação de Pacotes - Características

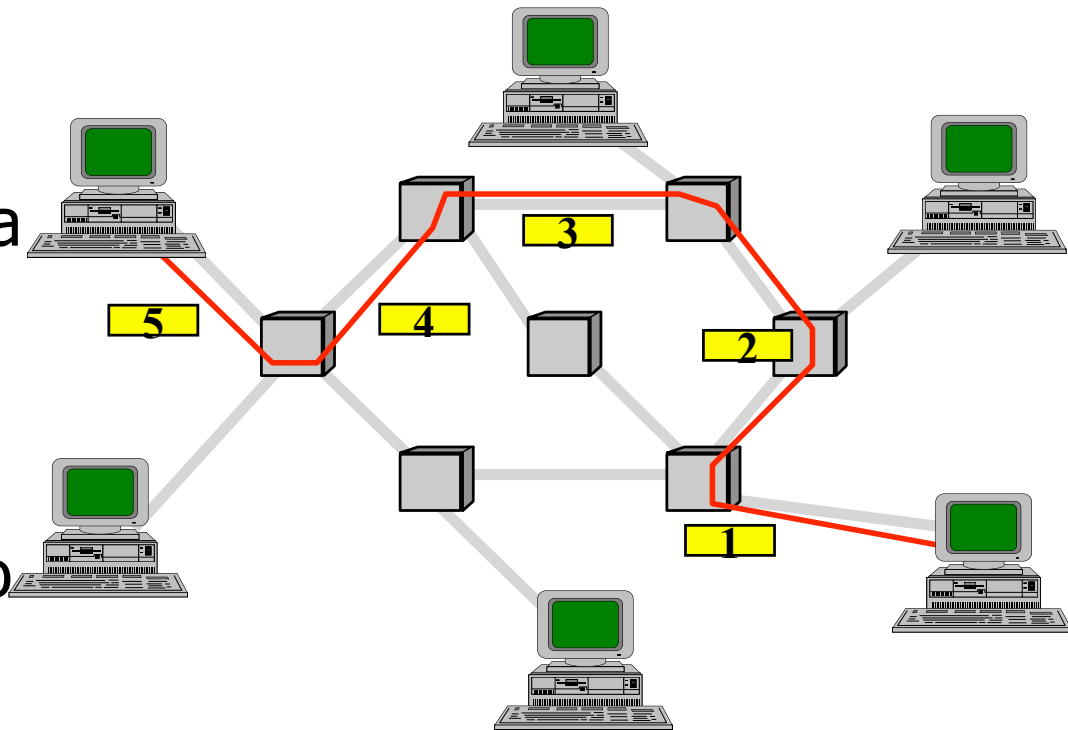
- Mensagens divididas em pacotes
- Não há necessidade de estabelecimento de conexão
- Canal compartilhado
- Endereçamento necessário em todos os pacotes
- Retardo de transferência dos dados é uma variável aleatória

Comutação de Pacotes - Características

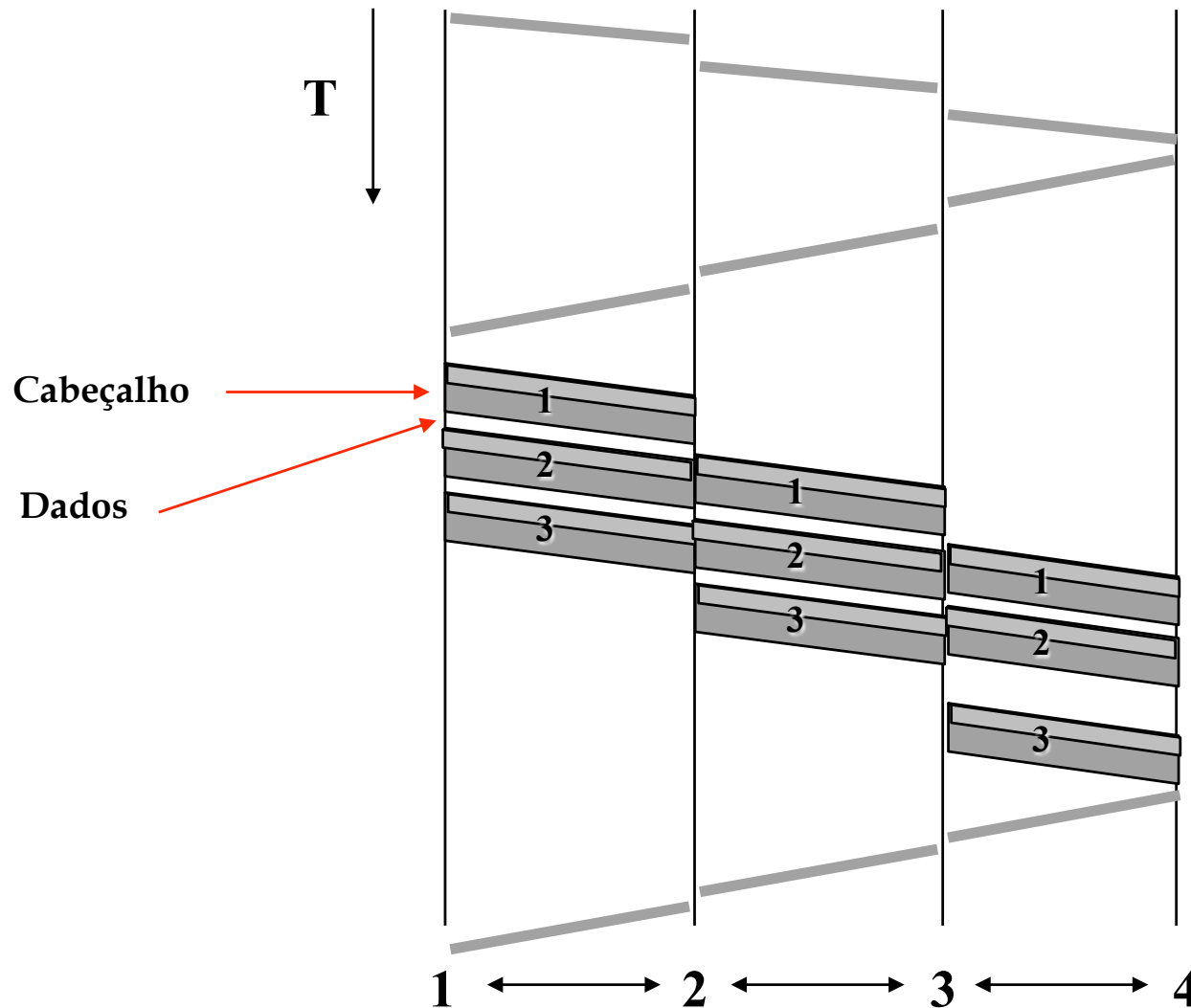
- Store-and-Forward
- Pacotes são sempre aceitos para transmissão (possibilidade de congestionamento da rede)
- Melhor para tráfego em rajada
- Pior para tráfego contínuo
- *Circuito Virtual x Datagrama*

Comutação de Pacotes – Circuito Virtual

- Estabelecimento de conexão
- Rota única determinada durante a conexão
- Cabeçalho necessário em cada pacote para identificação do circuito virtual
- Sequência de transmissão preservada

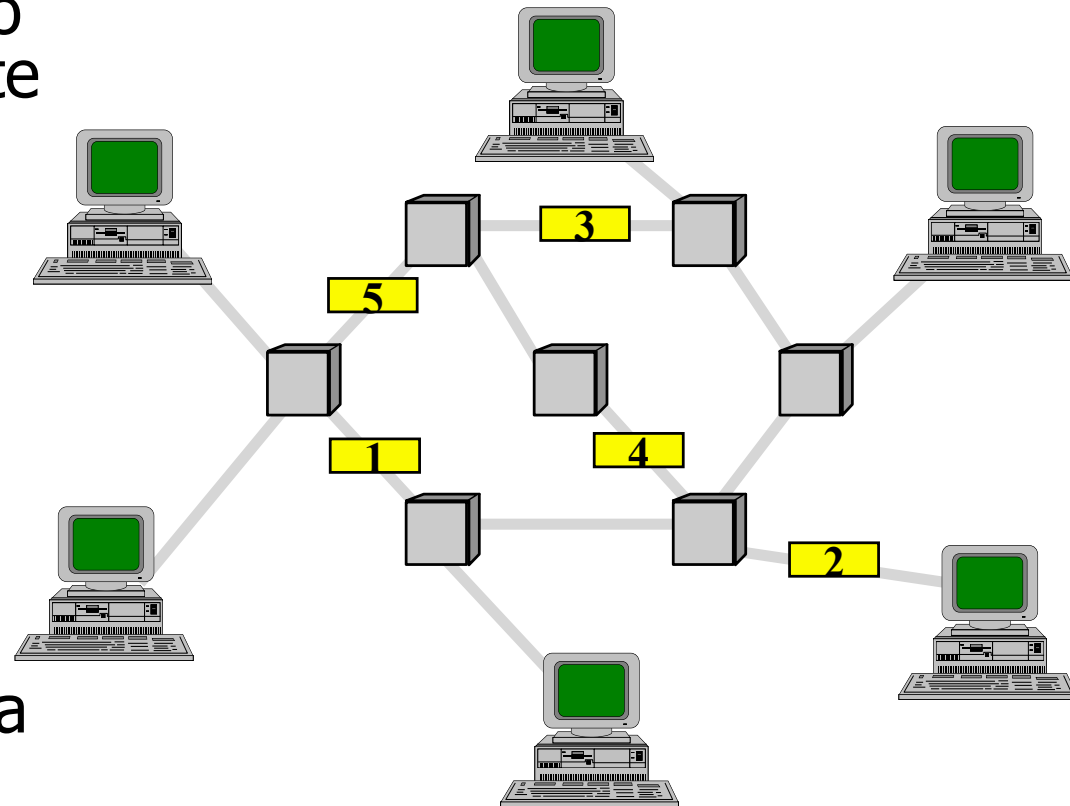


Comutação de Pacotes – Circuito Virtual

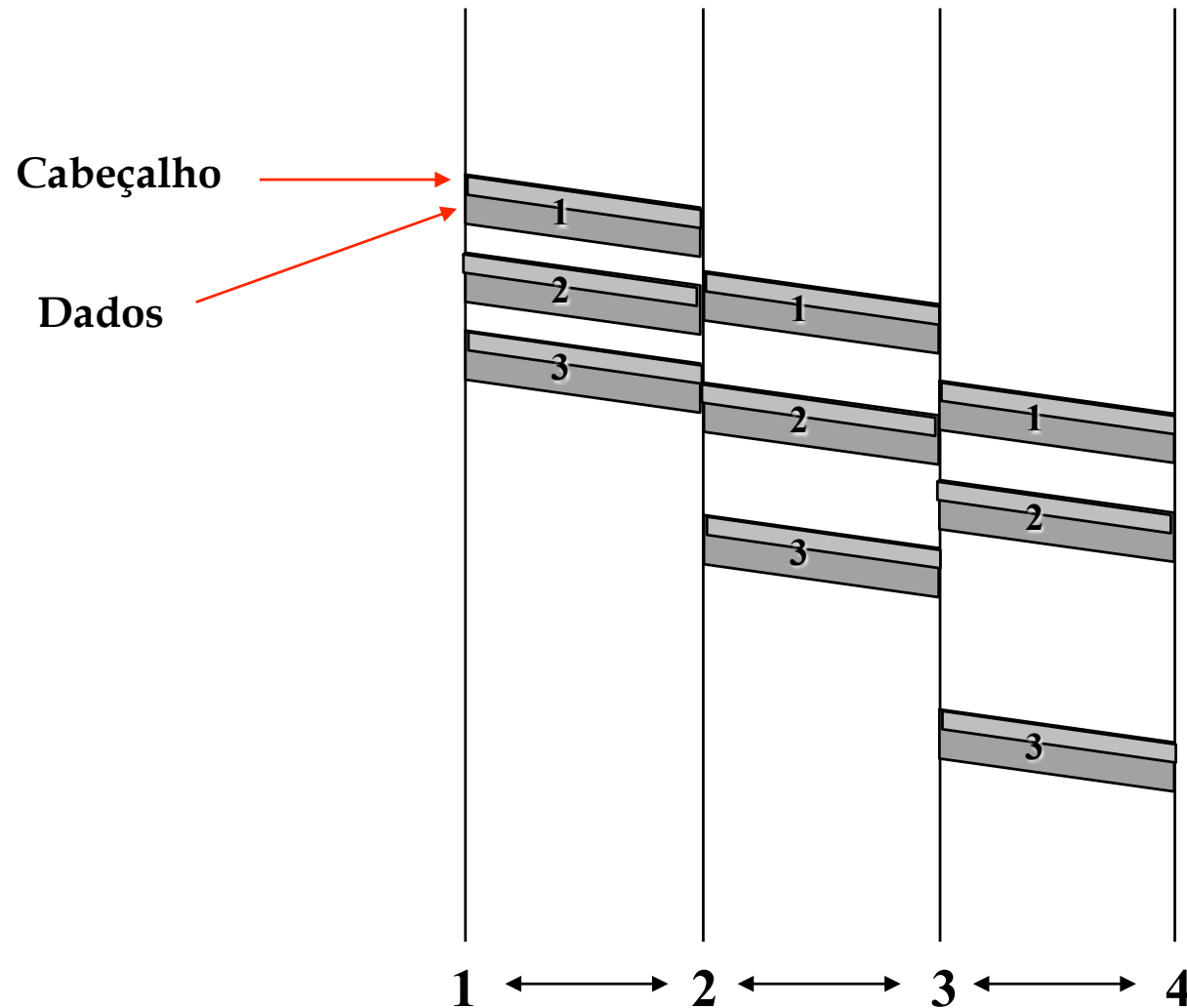


Comutação de Pacotes - Datagrama

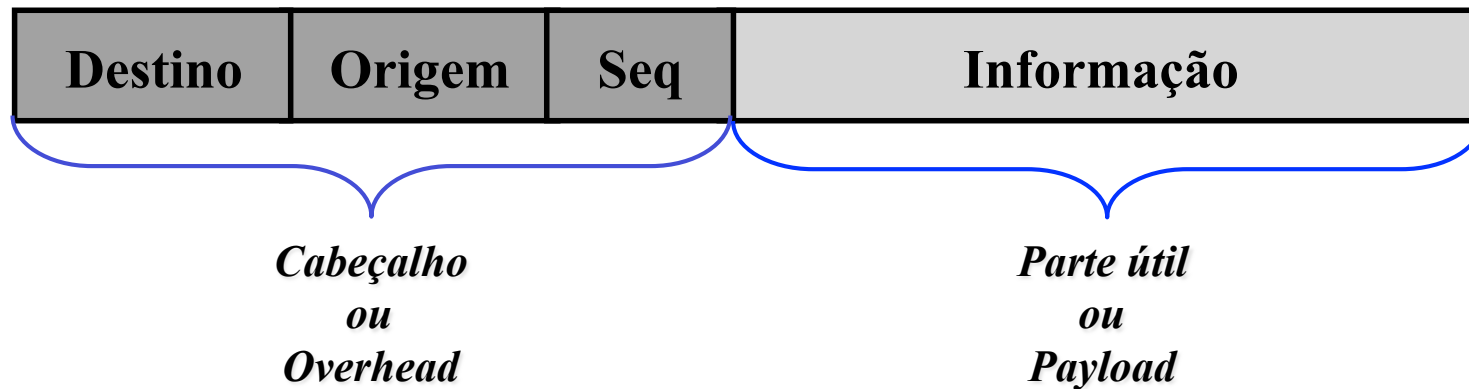
- Cada pacote é roteado de forma independente
- Cabeçalho necessário em cada pacote para identificação de endereço de origem e destino
- Possibilidade dos pacotes chegarem fora de ordem no destino



Comutação de Pacotes - Datagrama



Formato do Pacote



***Podem existir mais overheads:
Prioridade, detecção e correção de erros, segurança***

Comparação

Item	Circuit-switched	Packet-switched
Call setup	Required	Not needed
Dedicated physical path	Yes	No
Each packet follows the same route	Yes	No
Packets arrive in order	Yes	No
Is a switch crash fatal	Yes	No
Bandwidth available	Fixed	Dynamic
When can congestion occur	At setup time	On every packet
Potentially wasted bandwidth	Yes	No
Store-and-forward transmission	No	Yes
Transparency	Yes	No
Charging	Per minute	Per packet

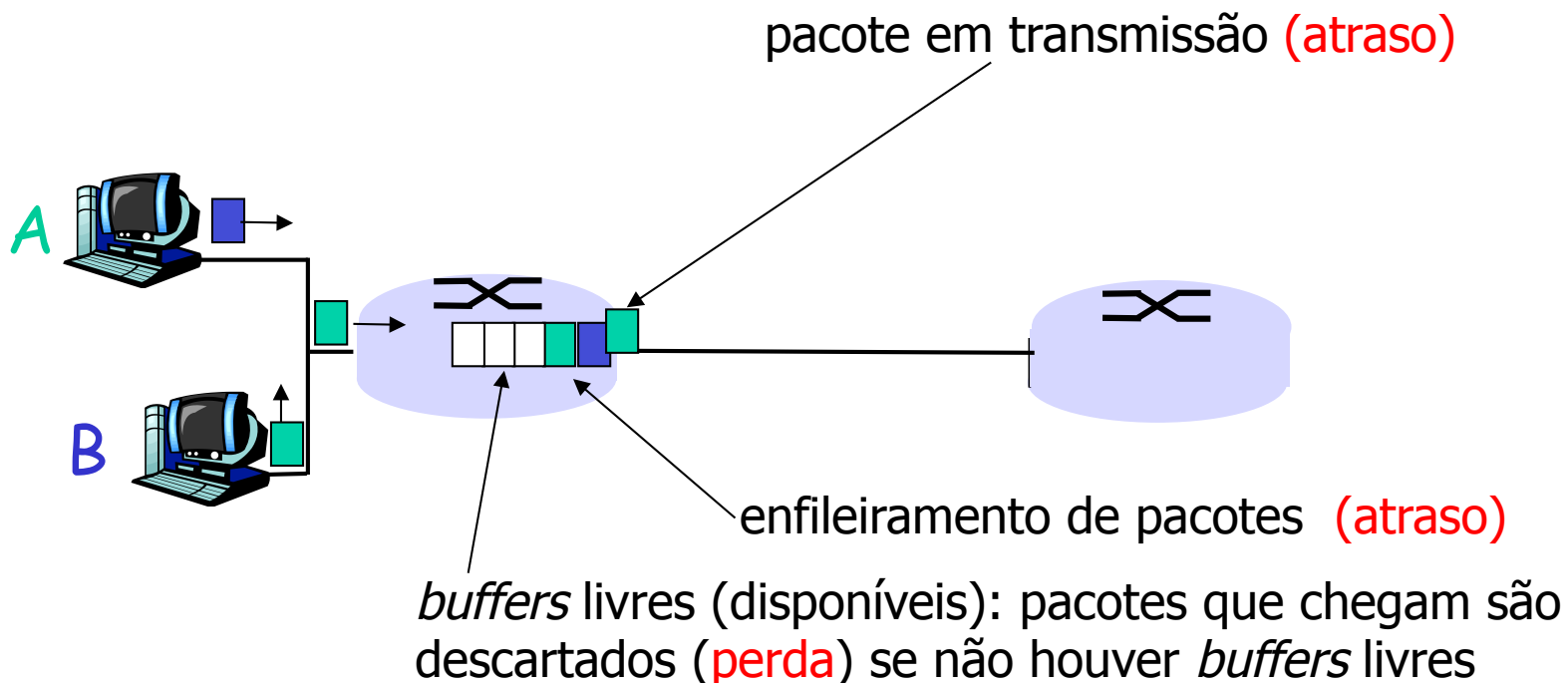
Comutação de Circuitos x Comutação de Pacotes

Métricas

Atraso, Perda e Vazão

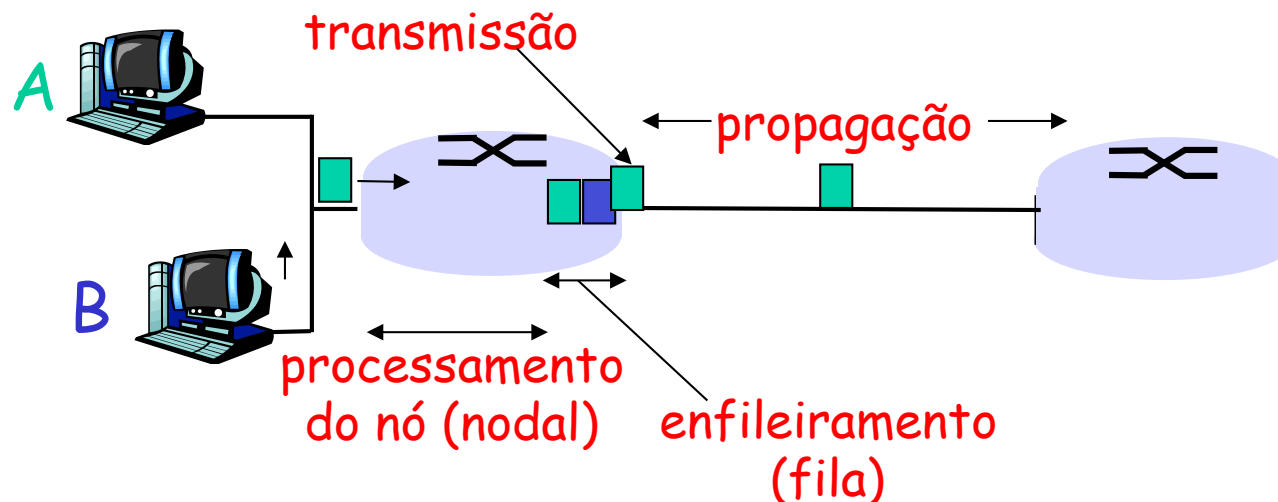
Como Ocorrem as Perdas e Atrasos?

- 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 dos 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



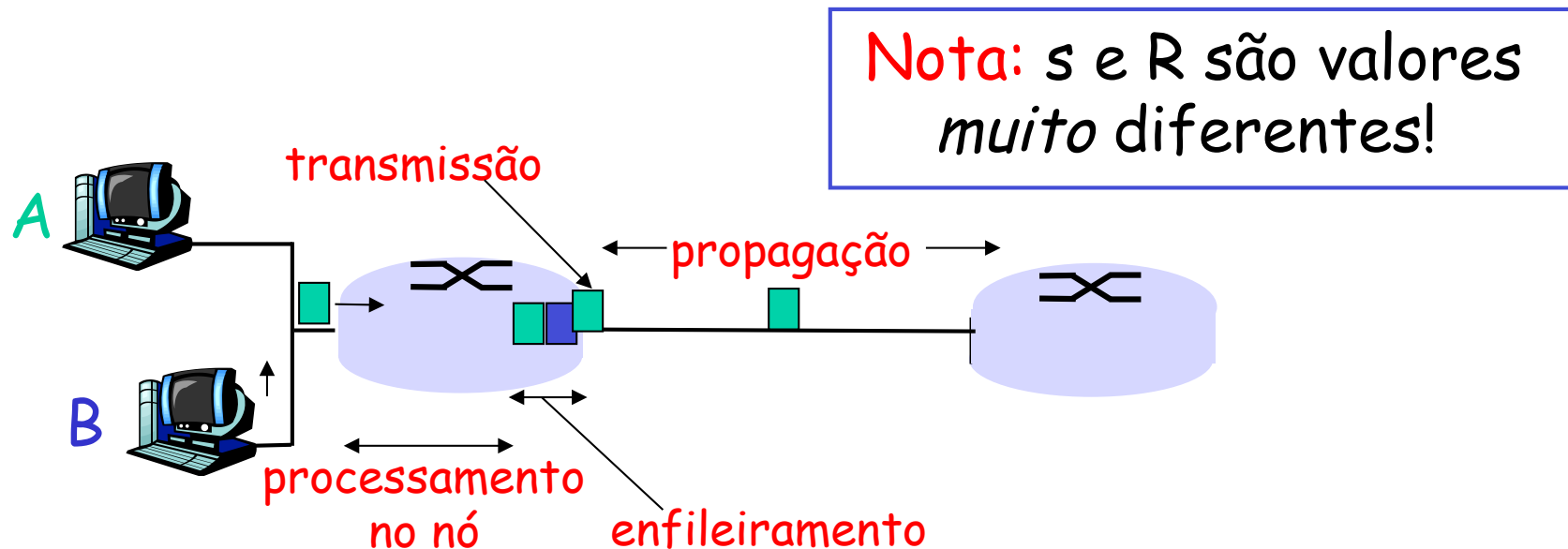
Quatro Fontes de Atraso dos Pacotes

3. Atraso de transmissão

- R = largura de banda do enlace (bps)
- L = tamanho do pacote (bits)
- tempo para enviar os bits no enlace = L/R

4. Atraso de propagação:

- d = comprimento do enlace (m)
- s = velocidade de propagação no meio ($\sim 2 \times 10^8$ m/seg)
- atraso de propagação = d/s



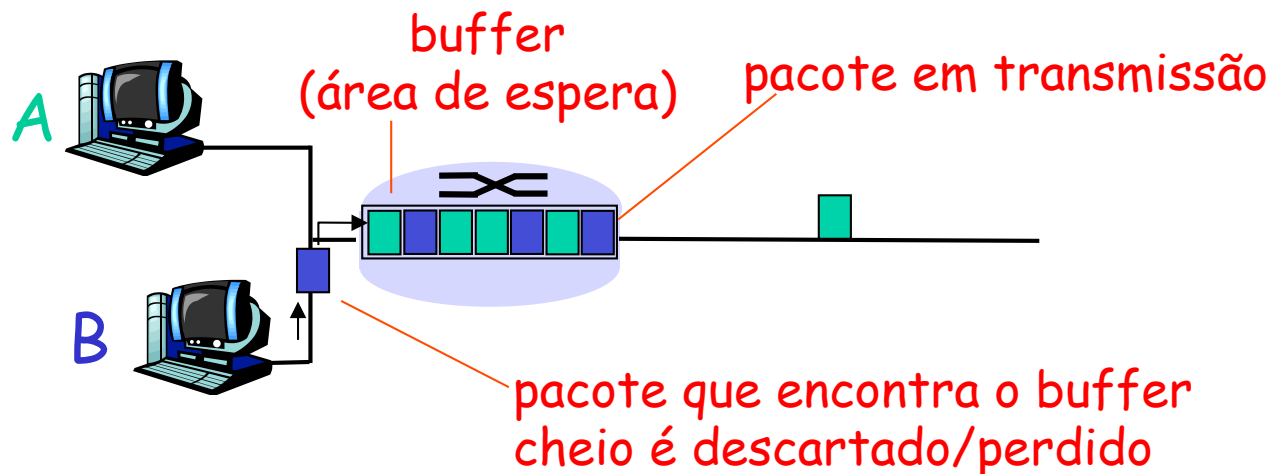
Atraso por Nó

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

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

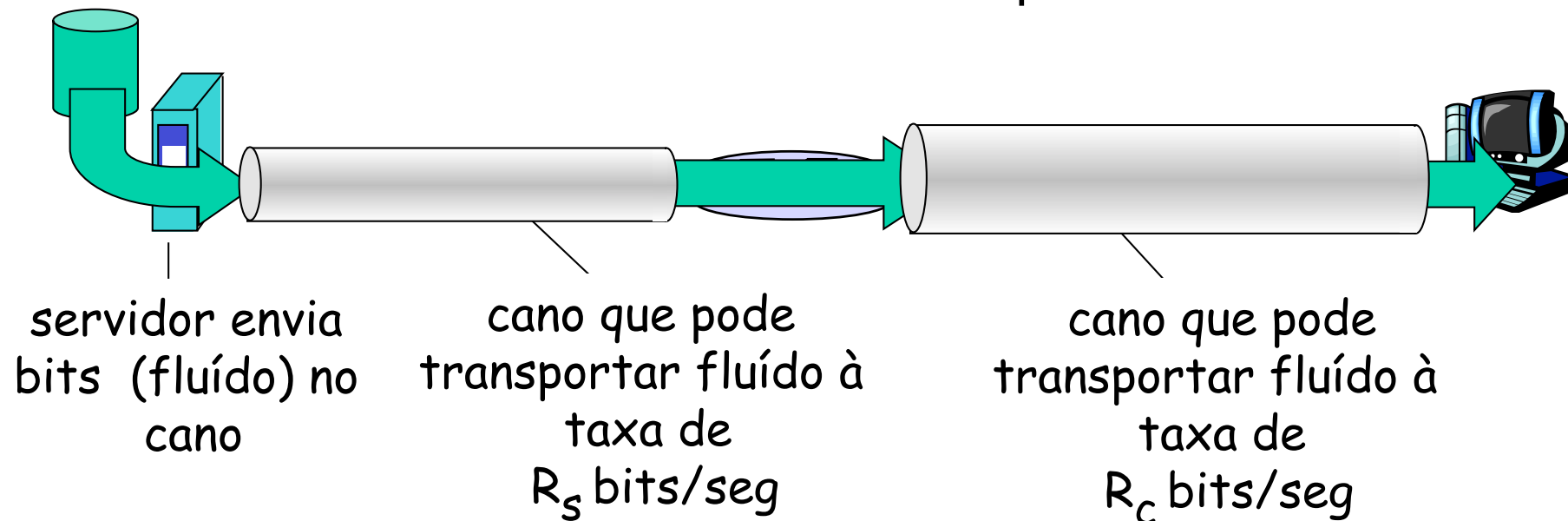
Perda de pacotes

- 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



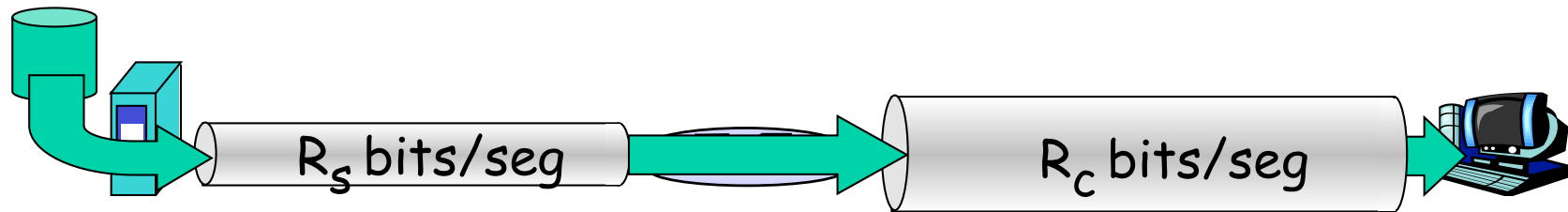
Vazão (*Throughput*)

- 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

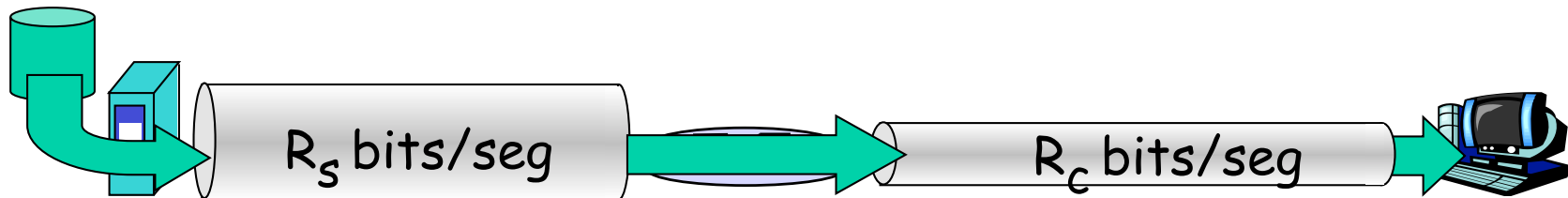


Vazão

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



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

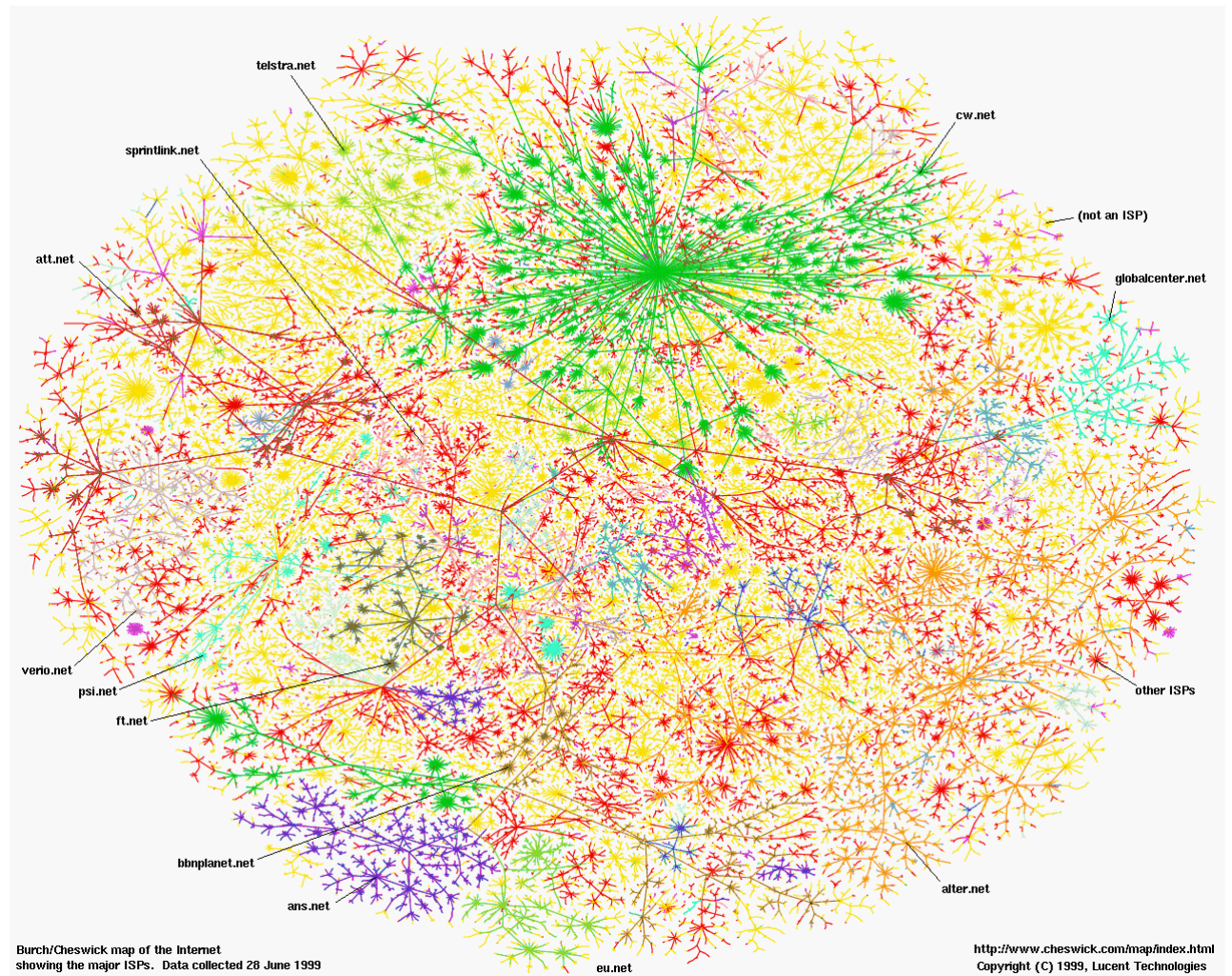


Gargalo:
enlace no caminho fim-a-fim que
restringe a vazão fim-a-fim

Introdução à Internet

Internet

- Anos 2000
 - Mais de 100 mil roteadores



Disponível em <http://www.cheswick.com/ches/map/gallery/>

- É uma rede que interconecta **TUDO**
 - Computadores pessoais
 - Mainframes
 - Computadores portáteis
 - Celulares
 - Sensores
 - Eletrodomésticos (!?)
 - Etc.
- **Internet das Coisas**

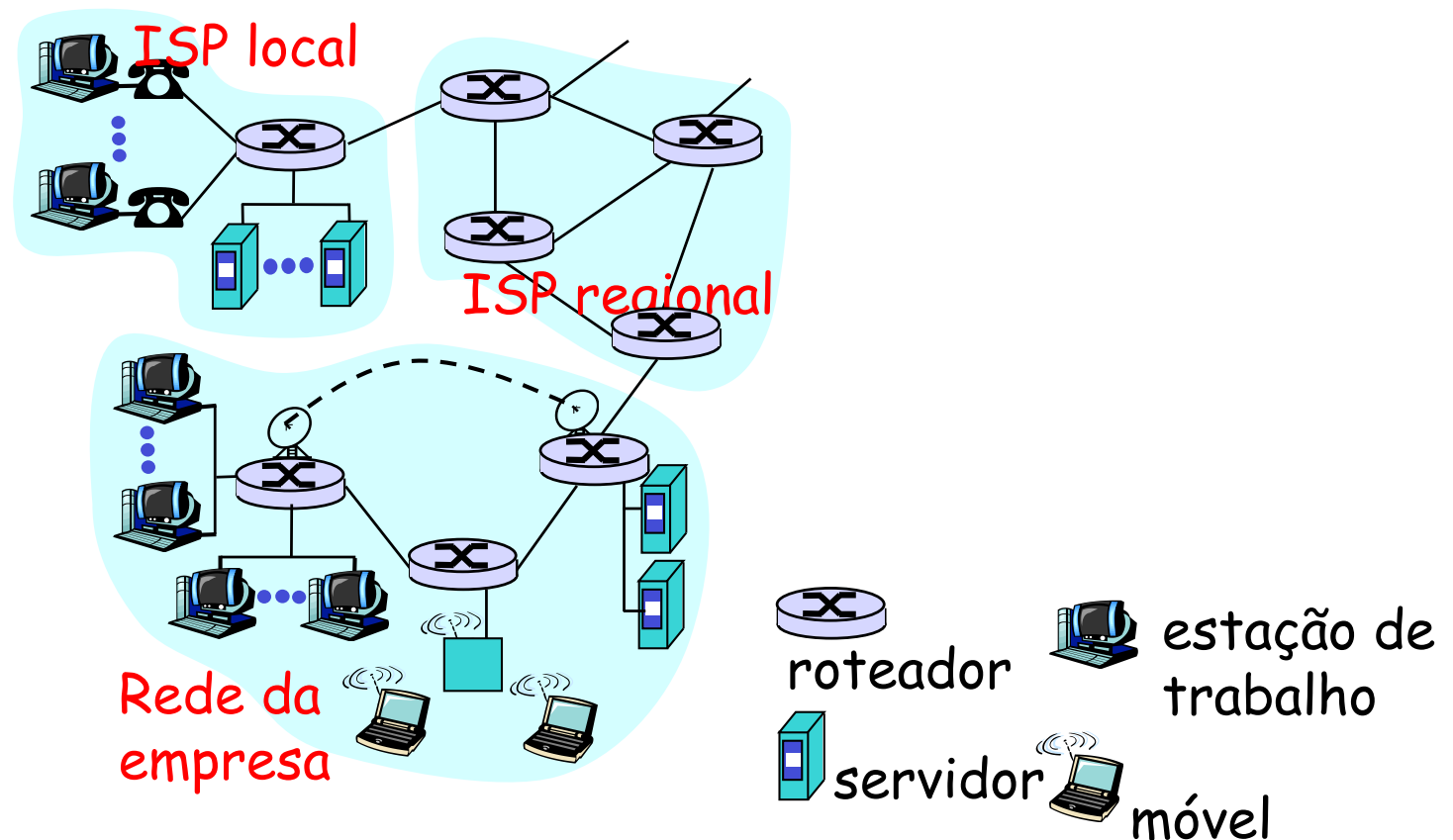
Geladeira Conectada



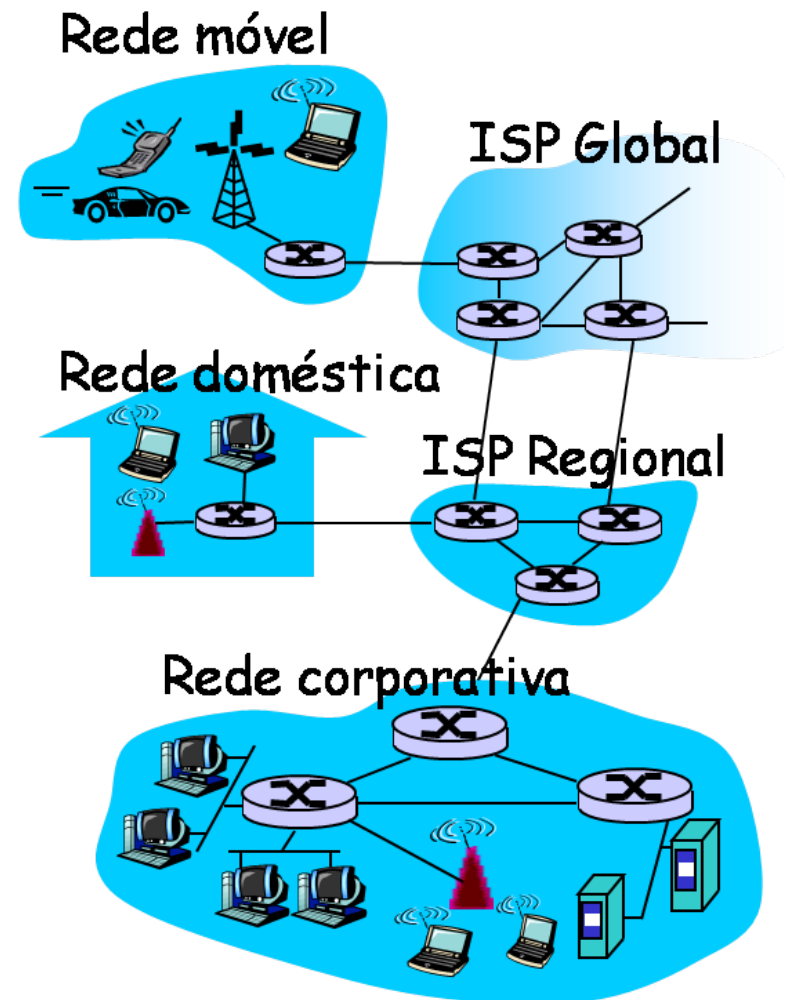
Visão dos Componentes

- Estações (*hosts*) ou sistemas finais
 - Rodam aplicações de rede
- Enlaces (*links*) de comunicação
 - Fibra, cobre, rádio, satélite
 - Taxa de transmissão ou largura de banda (*bandwidth*)
- Roteadores (comutadores de pacotes)
 - Encaminham pacotes através da rede
- Provedores de Serviço
 - ISP (*Internet Service Providers*)

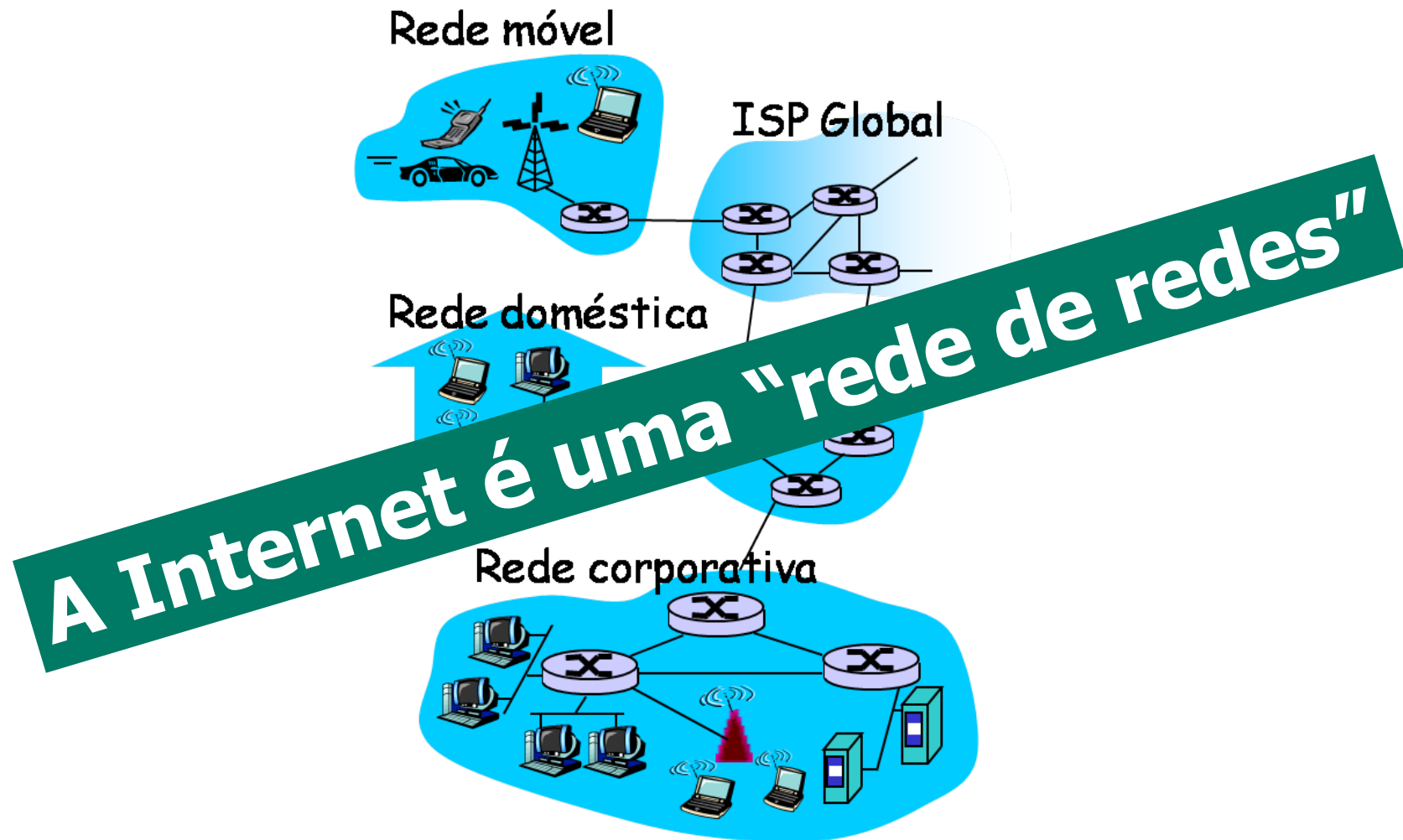
Visão dos Componentes



Visão dos Componentes



Visão dos Componentes

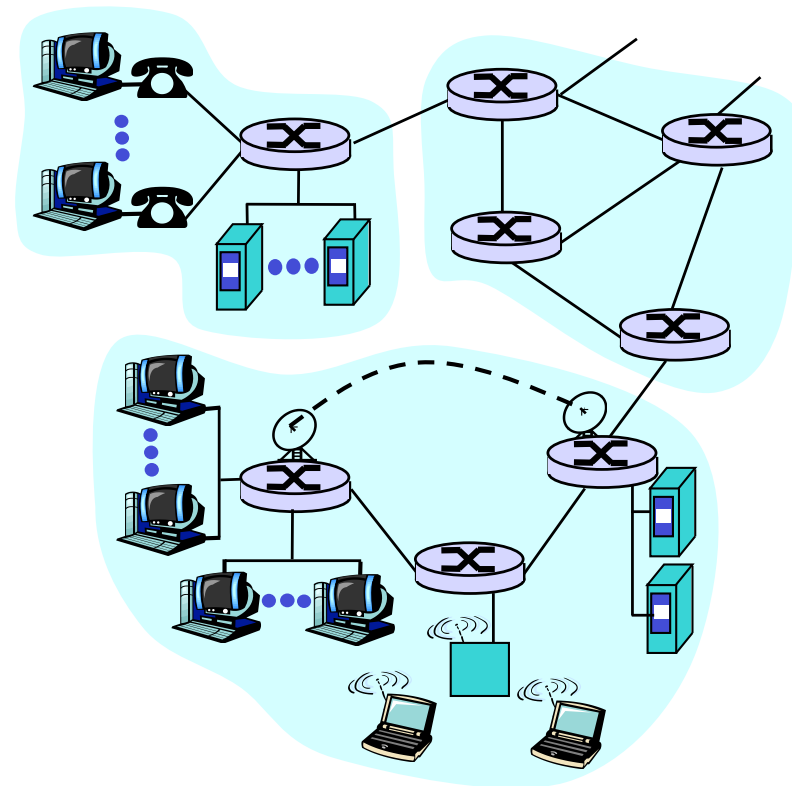


Visão dos Serviços

- 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 disponibilizados
 - Transferência confiável de dados da origem até o destino
 - Transferência de dados “melhor esforço” (não confiável)

Estrutura da Rede

- Borda
 - Aplicações e sistemas finais
 - Redes de acesso
- Núcleo
 - Roteadores
 - Rede de redes



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



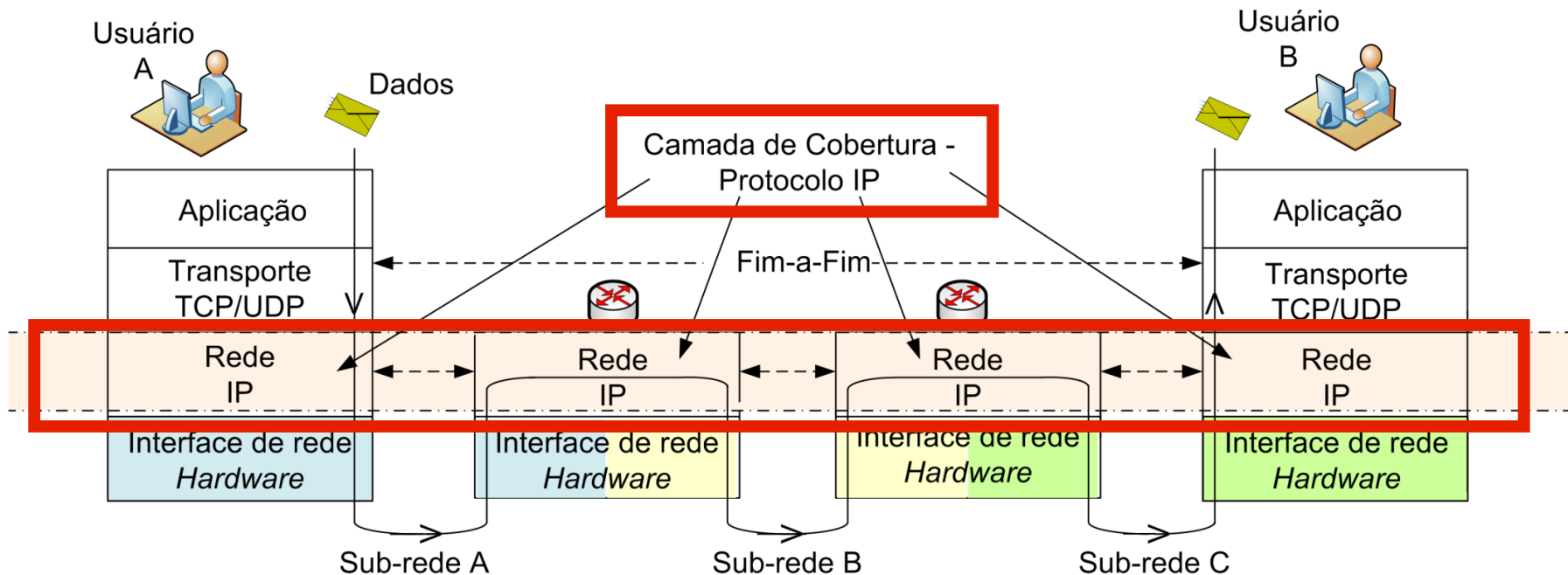
Tais requisitos deviam ser atendidos independente da aplicação e da tecnologia de acesso ao meio utilizada

Internet – Modelo TCP/IP

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



O que garante
esses objetivos?



Sucesso da Internet

- **Rádio** 38 anos para chegar a 50 milhões de usuários
- **Televisão** 13 anos para chegar a 50 milhões de usuários
- **Internet** pública 4 anos para chegar a 50 milhões de usuários

Princípio Fim-a-Fim

- Princípio FUNDAMENTAL da Internet

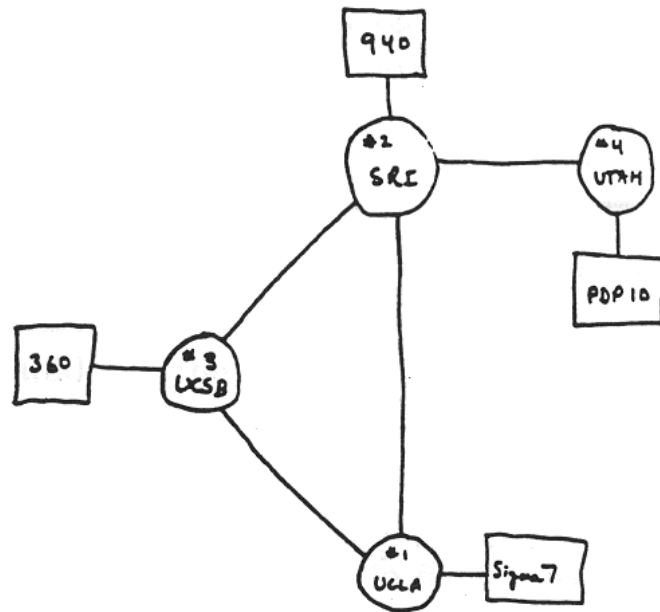
Funções específicas de nível de aplicação devem estar presentes apenas nas extremidades

- Motivação
 - **Só com o conhecimento da aplicação** (nas extremidades) as funções específicas pode ser implementadas de forma correta e completa

núcleo simples e inteligência nas extremidades

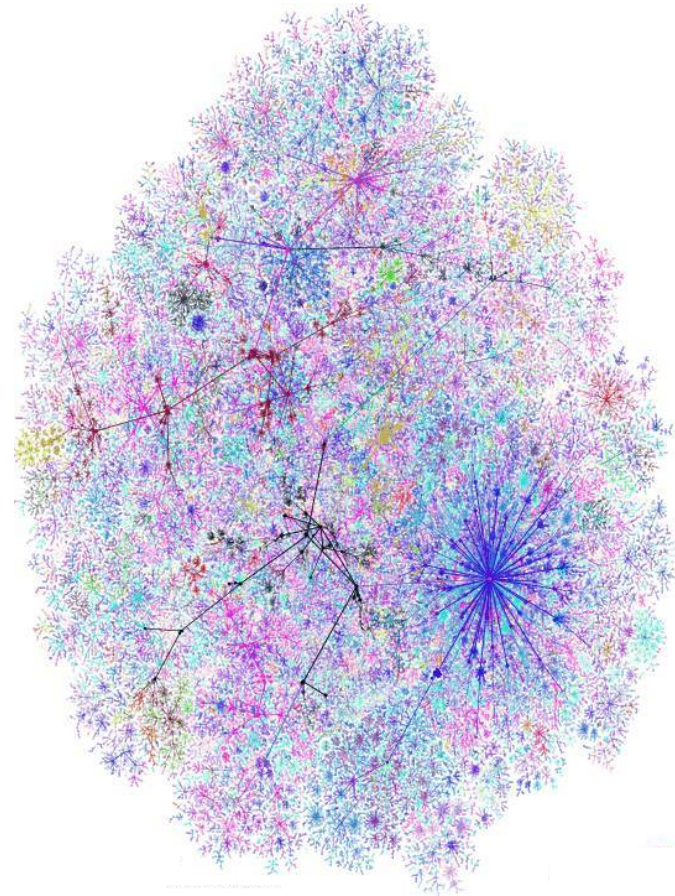
O Que Mudou?

- Número de nós e usuários: cerca de 1,5 bilhões hoje



THE ARPA NETWORK

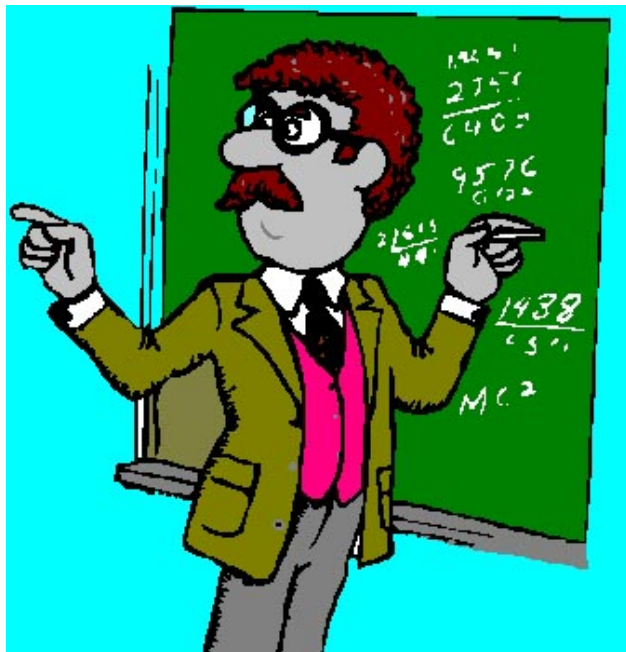
1969



1999

O Que Mudou?

- Perfil dos usuários
 - Especializados → maioria não especializada



Pesquisadores de universidades e centros de pesquisa



Original Artist
Reproduction rights obtainable from
www.CartoonStock.com



search ID: aton560

Usuários de diferentes idades e com diferentes habilidades técnicas

O Que Mudou?

- Número e características das aplicações
 - Poucas → muitas e com diferentes requisitos



O Que Mudou?

Sem fins lucrativos → Lucro

- Operadores e prestadores de serviço visam lucro
- Operadores devem ser capazes de “gerenciar”
 - Configurar
 - Resolver problemas
 - Implementar elementos intermediários (*Middleboxes*)
 - *Proxies, firewalls, NATs* etc.
 - Implementar políticas
 - roteamento, controle de acesso, prioridade etc.

Evolução da Internet

- Princípios básicos da Internet
 - Definidos nos anos 70
 - Responsáveis pelo grande sucesso
- No entanto, a Internet precisou se adaptar ao seu crescimento e às suas aplicações

**Evolução através de
“remendos”**

Internet: Colcha de Retalhos



**Será que é preciso uma nova
Internet?**

Internet do Futuro!!