

---

## *Introdução*

### *Comunicação de Dados e Redes de Computadores*

*FEUP/DEEC  
Redes de Computadores  
MIEIC – 2009/10  
José Ruela*

---

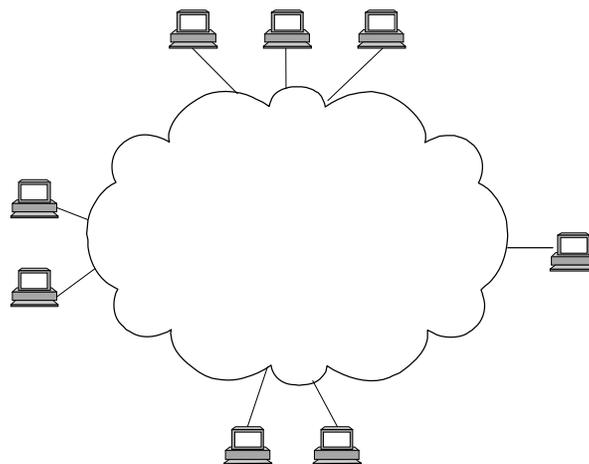
## *Introdução*

- » O objectivo do curso é o estudo de soluções arquitectónicas e tecnológicas que possibilitam a comunicação entre computadores ligados em rede
- » A comunicação entre computadores permite suportar uma grande diversidade de serviços e aplicações distribuídas e requer um conjunto diversificado de funções e a cooperação entre diferentes tipos de sistemas
  - Sistemas finais ou terminais (*end systems*, também designados *hosts*) onde correm as aplicações dos utilizadores e que usam os serviços disponibilizados pela rede para comunicarem entre si
  - Sistemas intermédios (*intermediate systems*), que fazem parte da infraestrutura da rede, e de que são exemplo comutadores (*switches*) e *routers*
- » Em casos simples, os equipamentos terminais podem comunicar directamente entre si mas, no caso geral, a comunicação envolve um ou mais sistemas intermédios
- » O processo de comunicação é normalmente decomposto em vários níveis de abstracção, dependendo das funções suportadas pelos sistemas envolvidos

## *Visão abstracta de uma rede*

---

- » Uma rede é muitas vezes representada como uma nuvem, quando se pretende abstrair da sua constituição interna, das tecnologias e mecanismos que usa e dos serviços disponibilizados aos sistemas que interliga



## *Informação e dados*

---

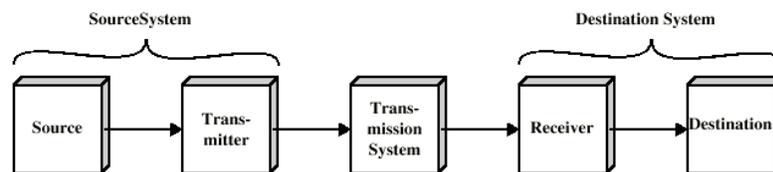
- » A palavra dados é usada, em sentido lato, para designar qualquer forma de representação de informação (texto, voz, vídeo, imagem, gráficos, etc.), independentemente do conteúdo e significado atribuído à informação
- » A informação é representada (codificada) por meio de símbolos ou sinais, podendo revestir formas e formatos diferentes conforme a função específica a realizar (armazenamento, processamento, transmissão, etc.)
  - A informação processada por computadores (e por um grande número de terminais de Telecomunicações) é representada por meio de símbolos digitais (binários)
  - A representação de qualquer tipo de informação sob forma digital favorece a integração de serviços na mesma rede e tira partido dos sistemas de transmissão digital que têm vindo a substituir os sistemas analógicos
  - A revolução digital permitiu a convergência entre Computadores e Comunicações
- » No curso admitimos que a informação trocada entre sistemas é representada sob forma digital (dados digitais), o que pode requerer um processo prévio de conversão analógico-digital (por exemplo, codificação de um sinal de voz)

## *Transmissão e comunicação de dados*

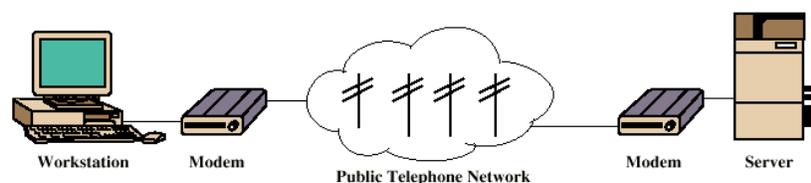
- » A comunicação entre sistemas requer um sistema de transmissão
- » O sistema de transmissão apenas transfere sinais que representam sequências de símbolos binários (*bits*), estando o processo sujeito a diversos tipos de erros que não garantem nem a integridade nem a fidelidade dos dados transmitidos
  - A transmissão é efectuada sob a forma de sinais (eléctricos, ópticos, etc.), que podem ser analógicos ou digitais, e que constituem uma forma de representação dos dados (digitais) adequada para transmissão
  - Num meio físico é possível constituir, por meio de técnicas de multiplexagem, um ou mais canais independentes para a transmissão de informação – um *canal* é um recurso ao qual pode ser associada uma capacidade de transmissão de informação (fixa ou variável)
- » A expressão Comunicação de Dados é habitualmente usada para referir um nível de abstracção mais elevado do processo de comunicação, englobando um conjunto de técnicas que permitem a troca de unidades de dados, de forma controlada e fiável (se tal for possível ou desejável), entre sistemas envolvidos no processo de comunicação

## *Modelo de um sistema de comunicação*

- » *Fonte* – gera a informação (dados) a transmitir
- » *Emissor* – converte os dados em sinais adequados ao sistema de transmissão
- » *Sistema de transmissão* – transporta os dados sob a forma de sinais
- » *Receptor* – converte os sinais recebidos em dados
- » *Destino* – processa os dados recebidos



(a) General block diagram



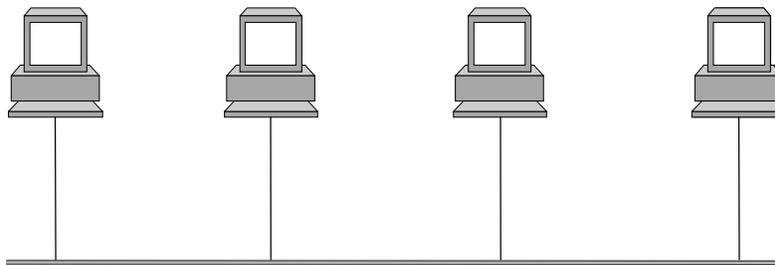
(b) Example

## Canais de comunicação

- » Um canal físico pode ser usado de forma dedicada para comunicação entre dois sistemas – ligação ponto-a-ponto

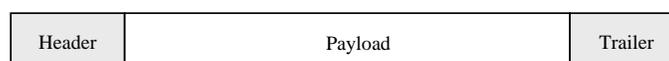


- » Um canal físico pode ser partilhado por múltiplos sistemas que, no caso mais geral, podem enviar e receber informação – ligação multiponto
  - » Casos particulares: um emissor e múltiplos receptores ou múltiplos emissores e um receptor



## Comunicação de dados

- » O processo de comunicação de dados inclui a organização e estruturação de uma sequência arbitrária de bits transferida através de um canal (sistema) de transmissão, bem como outras funções necessárias à comunicação (por exemplo, controlo de erros ou de fluxo)
  - A unidade básica de comunicação de dados designa-se por trama (*frame*)
    - Uma trama é transferida entre sistemas logicamente adjacentes (no sentido de estarem ligados por um canal que não processa nem modifica a sequência de bits transmitidos)
  - Uma trama é delimitada por um cabeçalho (*header*) e um terminador (*trailer*), que permitem executar as funções necessárias ao processo de comunicação e que encapsulam um campo de dados (*payload*), nos casos em que este campo existe
  - Uma trama constitui assim o suporte para a transferência de unidades de dados, de forma organizada, entre sistemas logicamente adjacentes
  - O suporte de algumas funções pode requerer o estabelecimento de associações lógicas entre sistemas, pelo que se criou o conceito de ligação de dados (suportada numa ligação física, mas diferente desta) – várias ligações de dados podem partilhar uma ligação física

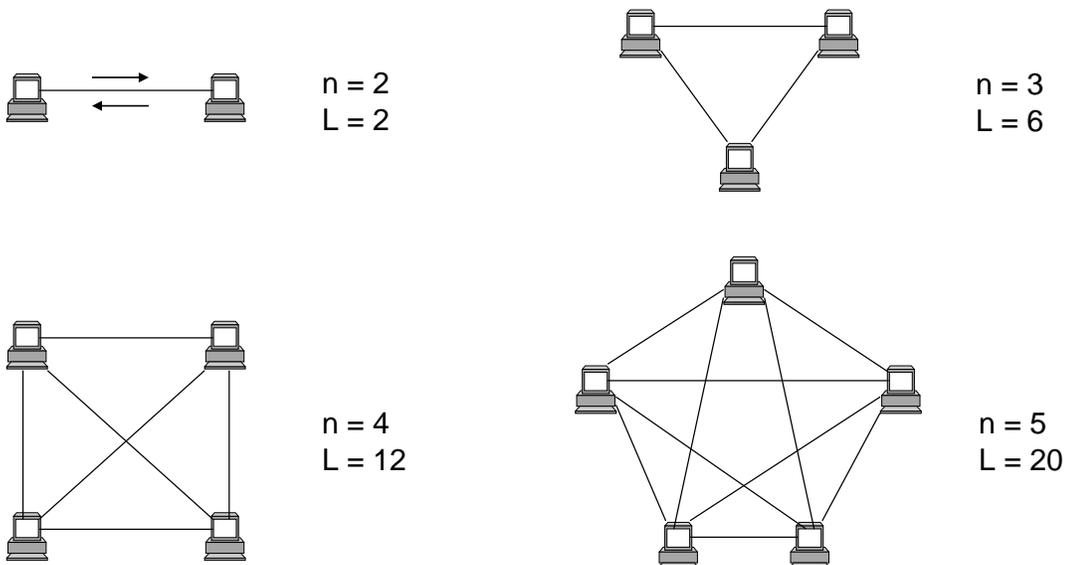


## Comunicação entre computadores

- » Nos casos mais simples, dois computadores podem comunicar directamente sobre uma canal (ligação física) ponto-a-ponto, usando recursos dedicados
- » A ligação directa entre pares de computadores não é prática nem viável quando:
  - O número de computadores é muito elevado, visto que o número de ligações cresce com o quadrado do número de computadores –  $n * (n - 1)$ , considerando ligações nos dois sentidos para cada par de computadores
  - Os computadores estão geograficamente afastados e dispersos (o que agrava o custo de comunicações)
  - Os requisitos de conectividade são desconhecidos com antecedência (mas a conectividade não deve ser restringida à partida)
  - O padrão de tráfego é irregular e com débito variável (*bursty*), típico do tráfego de dados entre computadores, o que levanta problemas de eficiência na utilização da capacidade instalada (no caso de não ser partilhada) e de dimensionamento da capacidade das ligações (custo vs. desempenho)
- » Para garantir conectividade geral e sem restrições entre computadores é necessária uma rede (e, portanto, alguma forma de comutação), o que requer funções adicionais

## Conectividade total – ligações directas

- » Número de ligações  $L = n * (n - 1)$ , considerando que existem duas ligações entre qualquer par de computadores (uma em cada sentido)



## *Necessidade de comutação*

---

- » Em geral os computadores devem comunicar através duma rede comutada, com uma topologia definida pelo padrão de interligação dos respectivos nós
  - Num meio partilhado (ligação multiponto), os computadores estão directamente ligados por um canal físico, mas é necessário um mecanismo para arbitrar o acesso ao meio sem conflitos (o meio partilhado oferece uma forma inerente de comutação distribuída)
  - Numa rede constituída por nós de comutação são usadas ligações ponto-a-ponto entre comutadores, formando uma topologia em malha (total ou parcial)
  
- » Coloca-se naturalmente a questão de seleccionar um modo de comutação adequado para comunicação de dados entre computadores (ou, numa visão mais geral, numa rede que suporte integração de múltiplos serviços), tendo em atenção a natureza e as características do tráfego a transportar, requisitos de desempenho e a necessidade de garantir, tanto quanto possível, uma utilização eficiente dos recursos da rede

## *Comutação de Circuitos e de Pacotes*

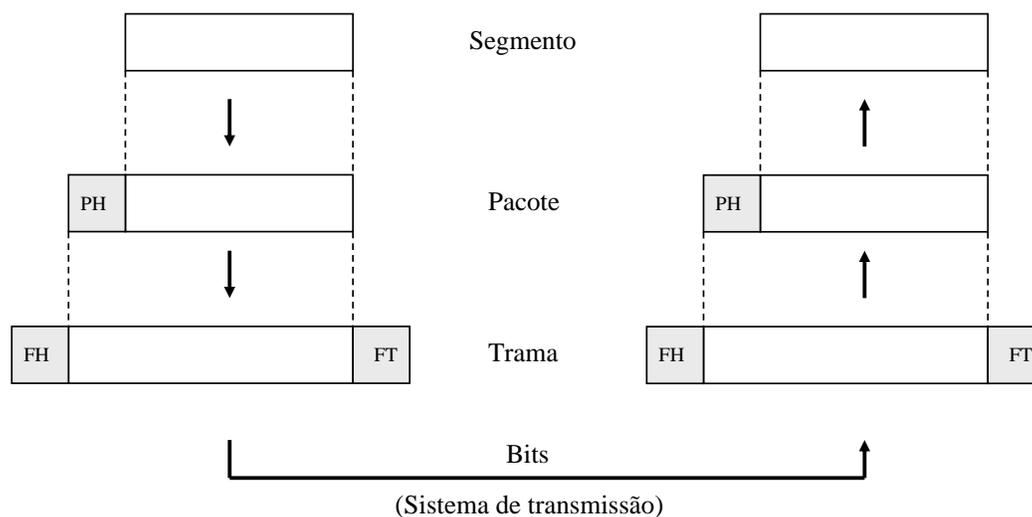
---

- » Quer a rede telefónica quer as redes de computadores (incluindo a Internet) requerem uma infraestrutura de transmissão e de comutação e uma característica essencial em qualquer tipo de rede é a forma como os seus recursos são partilhados
  - A partilha de recursos pode ser estática ou dinâmica
- » A partilha de recursos de transmissão é feita com base em técnicas de multiplexagem
- » O modo de transferência de uma rede caracteriza-se pela combinação das técnicas de multiplexagem e comutação que adopta (e que estão relacionadas)
- » A rede telefónica tradicional (POTS – *Plain Old Telephone Service*) e as redes de computadores baseiam-se em técnicas de comutação muito diferentes e que são caracterizadas por modelos distintos de partilha de recursos (determinados pelo tipo de serviço para que foram concebidas) – Comutação de Circuitos e Comutação de Pacotes, respectivamente
  - A Comutação de Circuitos é baseada na atribuição estática de recursos
  - A Comutação de Pacotes é baseada na partilha dinâmica de recursos

## *Transporte de pacotes numa rede*

- » Assim como é necessário distinguir (em níveis de abstração diferentes) os processos de transmissão e de comunicação de dados (a que podemos associar os conceitos de ligação física e ligação de dados), é igualmente necessário considerar um processo responsável pelo transporte de dados através de uma rede (a que corresponde um nível de abstração mais elevado)
- » Este processo requer funções adicionais, nomeadamente o encaminhamento de unidades de dados, designadas por pacotes (*packets*) ao longo de um percurso no interior da rede, entre nós periféricos de entrada e saída
  - Os pacotes são transportados (encapsulados) em tramas, sendo estas as unidades de comunicação entre sistemas logicamente adjacentes na cadeia de comunicação
  - Os pacotes contêm igualmente um cabeçalho, com informação que permite o seu transporte pela rede (através de uma cadeia de nós) e a sua entrega no destino
  - Os pacotes por sua vez transportam (encapsulam) segmentos de dados resultantes da fragmentação dos dados das aplicações (os segmentos incluem igualmente um cabeçalho, cujo conteúdo é irrelevante do ponto de vista da rede)
- » De facto, dependendo da organização lógica de uma rede, podem existir dois níveis de comutação (trama e pacote), a que correspondem dois tipos de sistemas intermédios (genericamente designados por comutadores e *routers*)

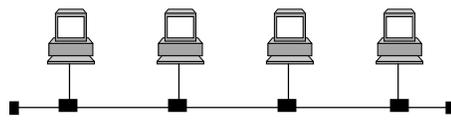
## *Tramas e pacotes*



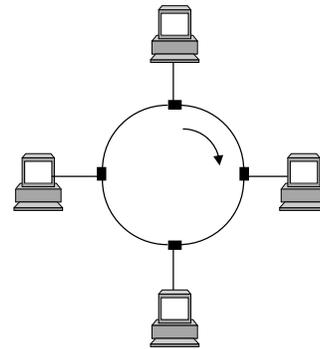
PH – *Packet Header*  
 FH – *Frame Header*  
 FT – *Frame Trailer*

## *Conectividade total – meio partilhado*

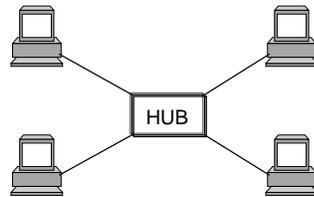
---



Barramento



Anel



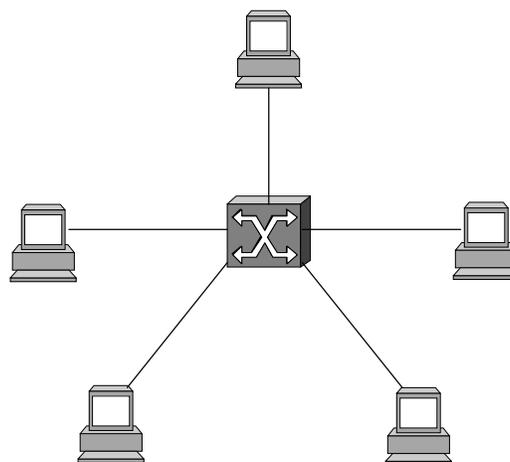
Estrela

- » *Hub* (repetidor multiporta) – difunde nas portas de saída o sinal recebido em cada porta de entrada (logicamente equivalente a um barramento partilhado)

## *Conectividade total – um comutador*

---

- » Comutador central – o comutador transfere dados entre portas de entrada e de saída, de acordo com o conteúdo de uma tabela de comutação (não confundir com um *hub* que apenas faz difusão de sinal ao nível físico)

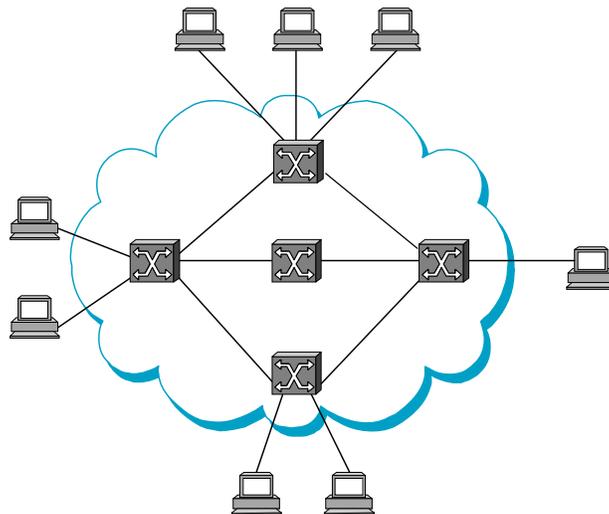


Estrela

## *Conectividade total – rede em malha*

---

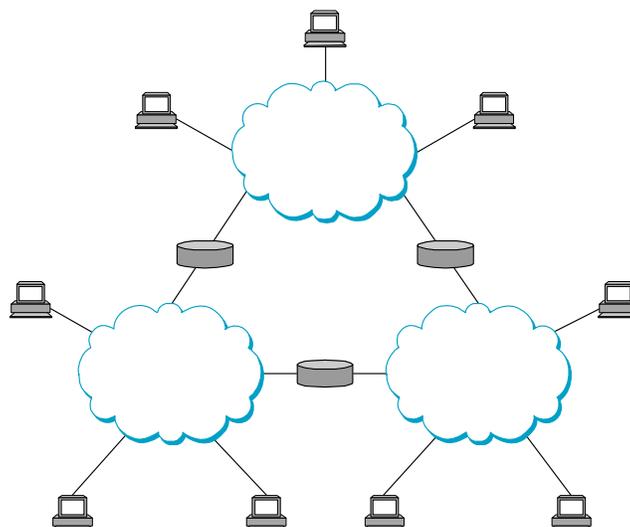
- » A rede pode ser constituída por vários comutadores numa topologia em malha, o que permite providenciar rotas alternativas entre os nós periféricos da rede (pontos de entrada e saída)



## *Interligação de redes – internets*

---

- » Várias redes interligadas por *routers* constituem uma *internet*
- » A Internet é uma *internet* global, que adopta uma arquitectura baseada na família de protocolos conhecida por TCP/IP



## *Wide Area Network – WAN*

---

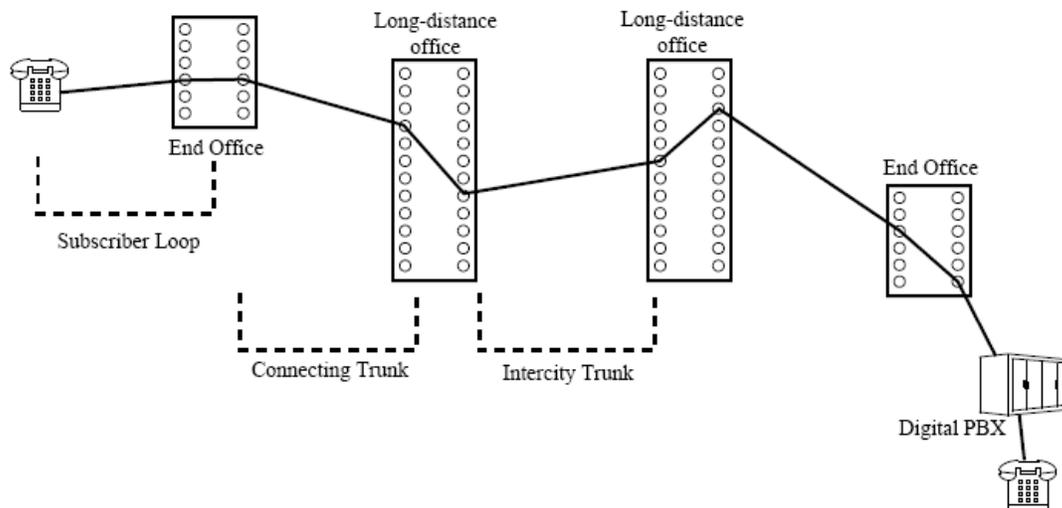
- » As WANs cobrem grandes áreas geográficas
- » São, em geral, geridas por operadores de Telecomunicações
- » Os recursos de transmissão podem ser dedicados ou partilhados
- » Utilizam diversas tecnologias de transporte (modos de transferência)
  - Comutação de circuitos (POTS, RDIS)
  - Comutação de pacotes (X.25, IP)
  - Comutação de tramas (*Frame Relay*)
  - Comutação de células (ATM – *Asynchronous Transfer Mode*)
  - Comutação de etiquetas (MPLS – *Multiprotocol Label Switching*)
- » X.25 e IP (Internet Protocol) representam dois paradigmas clássicos de comutação de pacotes, a que correspondem dois modos de operação (e de serviços) – Circuitos Virtuais e Datagramas, respectivamente
- » *Frame Relay* e ATM são formas simplificadas de comutação de pacotes, que adoptam o modelo de comutação de Circuitos Virtuais
- » MPLS combina técnicas de encaminhamento adoptadas nas redes IP com o modelo de comutação de Circuitos Virtuais (baseado em identificadores ou etiquetas – *labels*)

## *WAN – Comutação de Circuitos*

---

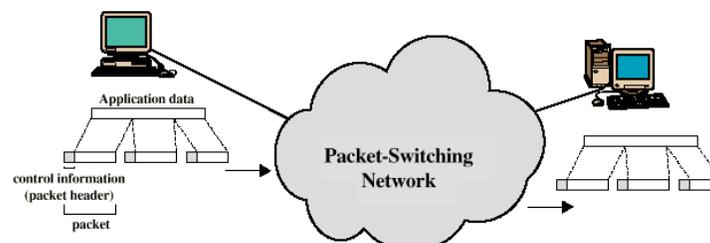
- » Os recursos são reservados antecipadamente para a duração da conversação (“chamada”)
- » Fases da chamada: estabelecimento, transferência de informação e terminação (conclusão)
- » Durante o estabelecimento da chamada é definido o percurso dos dados e são reservados os recursos necessários (nós de comutação e canais de comunicação)
  - Os recursos estão permanentemente disponíveis durante a fase de transferência de informação (circuito físico)
  - A reserva estática (fixa) de recursos não é adequada para suportar comunicação de dados *bursty* entre computadores
- » Exemplo – rede telefónica (POTS)

## WAN – Comutação de Circuitos

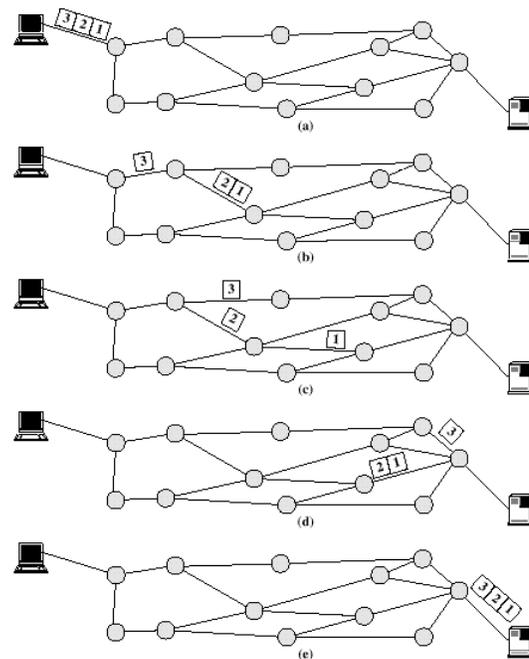


## WAN – Comutação de Pacotes

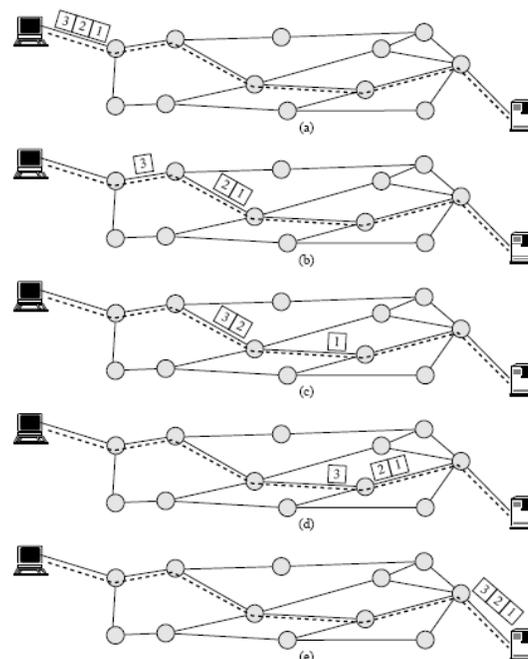
- » Modelo semelhante ao do serviço postal; a informação é enviada em unidades de dados (pacotes) que competem pelos recursos da rede (partilha dinâmica)
- » Cada pacote contém um cabeçalho com informação que permite o seu encaminhamento pela rede; os pacotes são comutados individualmente e enviados de nó para nó entre a origem e o destino (*store and forward*)
- » A rede pode desordenar os pacotes (se estes forem enviados por percursos diferentes) e pode eventualmente dispor de mecanismos para:
  - Manter os pacotes ordenados (nó a nó)
  - Reordenar os pacotes antes da entrega
  - Detectar e, eventualmente, recuperar erros



## WAN – Comutação de Datagramas



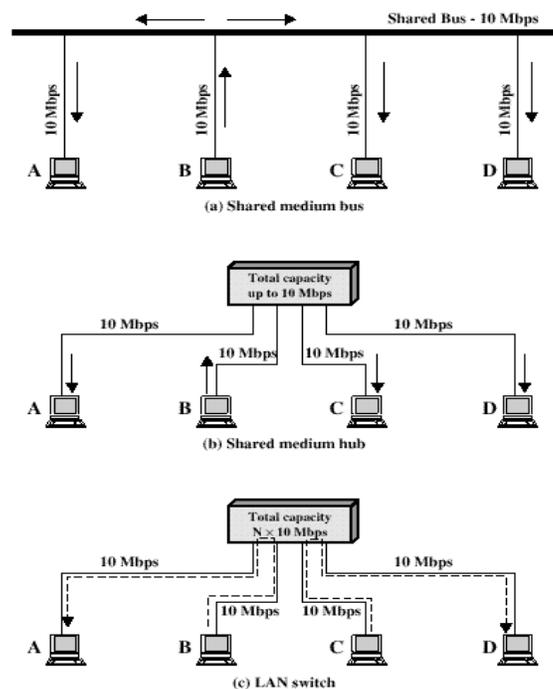
## WAN – Comutação de Circuitos Virtuais



## Local Area Network – LAN

- » As LANs cobrem uma área geográfica restrita (edifício, campus, etc.)
- » São redes privadas – todos os recursos (incluindo a infraestrutura da rede) pertencem à mesma entidade
- » Suportam débitos elevados (de alguns Mbit/s até 1 / 10 Gbit/s)
- » Inicialmente desenvolveram-se soluções baseadas na partilha do meio de transmissão, tipicamente um barramento (*bus*) ou um anel (*ring*), sendo necessários mecanismos para arbitrar o acesso ao meio
  - A tecnologia Ethernet tornou-se dominante, tendo evoluído de soluções baseadas na partilha do meio para soluções comutadas
  - A Ethernet “partilhada” baseia-se na difusão (*broadcast*) de tramas no meio, tendo evoluído de uma topologia em barramento para uma topologia em estrela / árvore, com recurso a repetidores multiporta (*hubs*)
- » Actualmente predominam soluções baseadas em comutadores
  - LAN *switching* (Ethernet “comutada”) / LANs virtuais (VLANs)
  - ATM / LANs emuladas (ELANs) – solução actualmente obsoleta

## LAN – evolução



## *Funções a suportar numa rede*

---

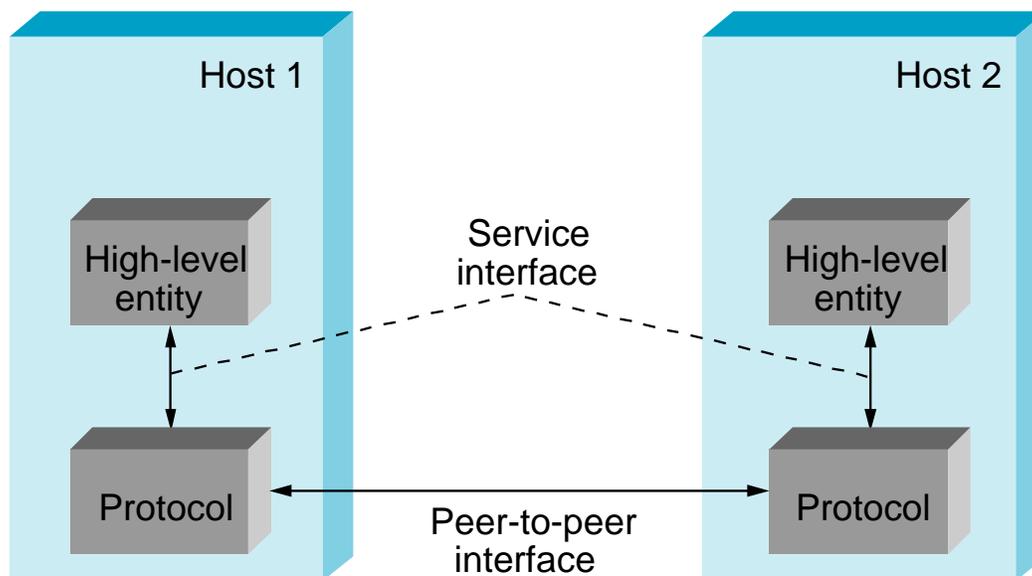
- » Utilização eficiente do sistema de transmissão
- » Interface com o sistema de transmissão
- » Geração de sinais a transmitir
- » Sincronização
- » Gestão da comunicação
- » Detecção e recuperação de erros (controlo de erros)
- » Controlo de fluxo
- » Endereçamento
- » Encaminhamento
- » Recuperação de anomalias
- » Representação da informação (código e formato dos dados)
- » Segurança
- » Gestão da rede

## *Regras de comunicação – protocolos*

---

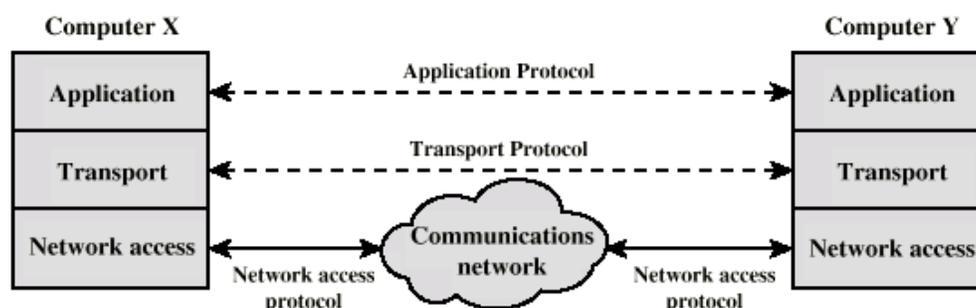
- » Conceito de protocolo
  - Conjunto de regras e formatos que regulam a comunicação entre entidades homólogas (*peer entities*) que residem (normalmente) em sistemas diferentes e que cooperam na realização de funções de suporte ao processo de comunicação
  - A execução de um protocolo permite fornecer um serviço (a entidades de um nível superior) através de uma interface (*service interface*)
- » Elementos de um protocolo
  - Um protocolo inclui elementos de natureza sintática, semântica e temporal
  - Um protocolo deve definir a sintaxe (formatos) e a semântica (significado) das mensagens trocadas entre as entidades protocolares, fornecer mecanismos de sincronização (que permitam garantir um determinado comportamento temporal) e especificar as acções (procedimentos) a executar aquando da ocorrência de acontecimentos, tendo em atenção o estado do sistema (um protocolo pode ser descrito por uma máquina de estados)

## *Protocolo, interface e serviço*



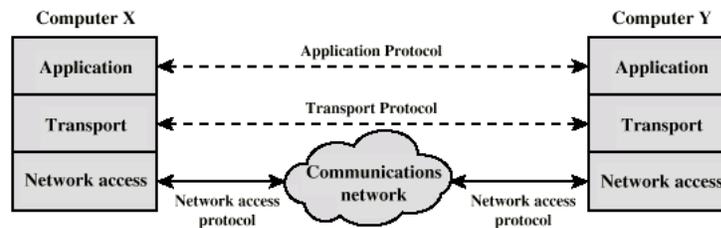
## *Modelo arquitectónico simplificado*

- » Princípio fundamental: as funções necessárias à cooperação entre sistemas são decompostas e organizadas em módulos independentes
- » A estrutura e relação entre módulos define uma arquitectura protocolar
  - As arquitecturas tradicionais baseiam-se numa estruturação dos módulos em camadas
- » Modelo simplificado de 3 camadas (a refinar posteriormente)
  - Acesso à rede
  - Transporte
  - Aplicação (serviços)

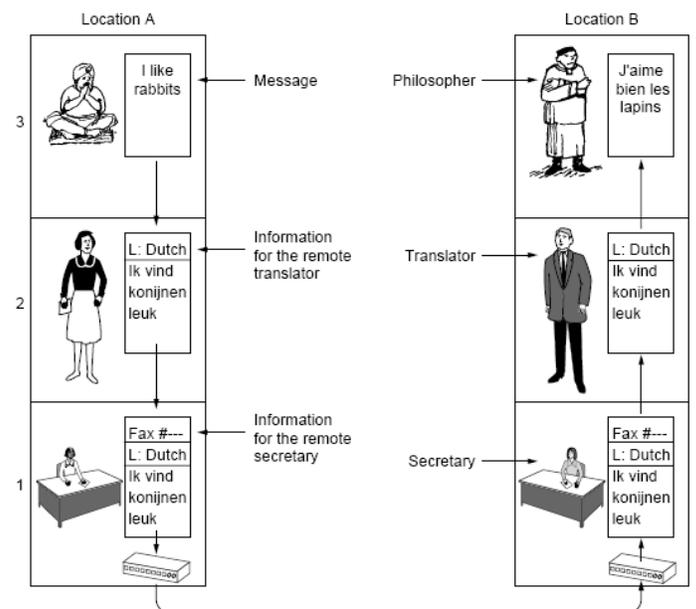


## *Modelo simplificado – funções das camadas*

- » Acesso à rede
  - Troca de dados entre um computador e a rede (acesso ao serviço disponibilizado pela rede)
  - O computador origem fornece à rede o endereço do computador de destino (ou informação equivalente), o que permite à rede encaminhar os pacotes até ao nó de destino
  - As funções dependem do tipo de rede (LAN, WAN), da tecnologia de comutação e do serviço oferecido pela rede
- » Transporte
  - Transferência de dados extremo-a-extremo (pretende-se em muitos casos que seja ordenada e fiável)
  - Fornece às aplicações um serviço independente da rede
- » Aplicação
  - Exemplo: transferência de ficheiros, correio electrónico, acesso a computador remoto

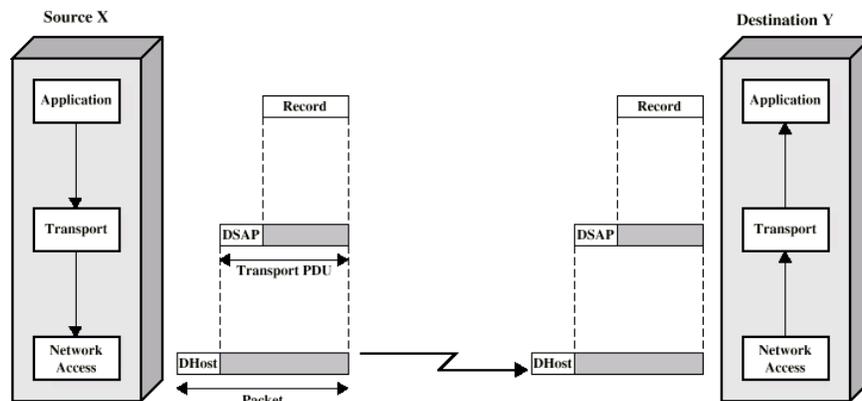


## *Analogia*



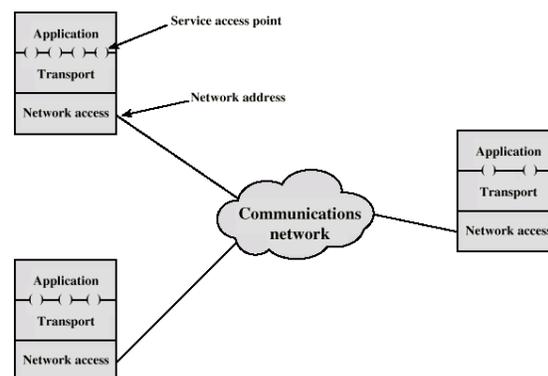
## Unidade Protocolar de Dados

- » Unidade Protocolar de Dados (PDU – *Protocol Data Unit*) – informação trocada entre entidades protocolares da mesma camada
  - Ficheiros, pacotes, tramas e células ATM são exemplos de PDUs
- » Um PDU é transportado usando os serviços da camada inferior
- » Cada camada adiciona informação de controlo ao PDU da camada superior (encapsulamento)



## Endereçamento

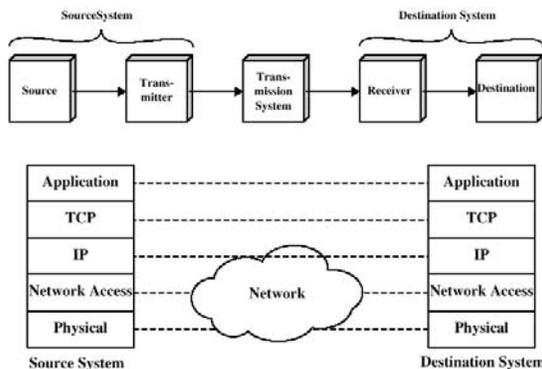
- ♦ Cada computador precisa de um endereço que o identifique numa rede ou subrede
  - » Exemplo – endereço IP (192.35.246.18)
- ♦ Cada aplicação precisa de um identificador dentro do computador
  - » Exemplo – servidor de HTTP (porta 80)



## *Pilha protocolar TCP/IP*

### Camadas protocolares

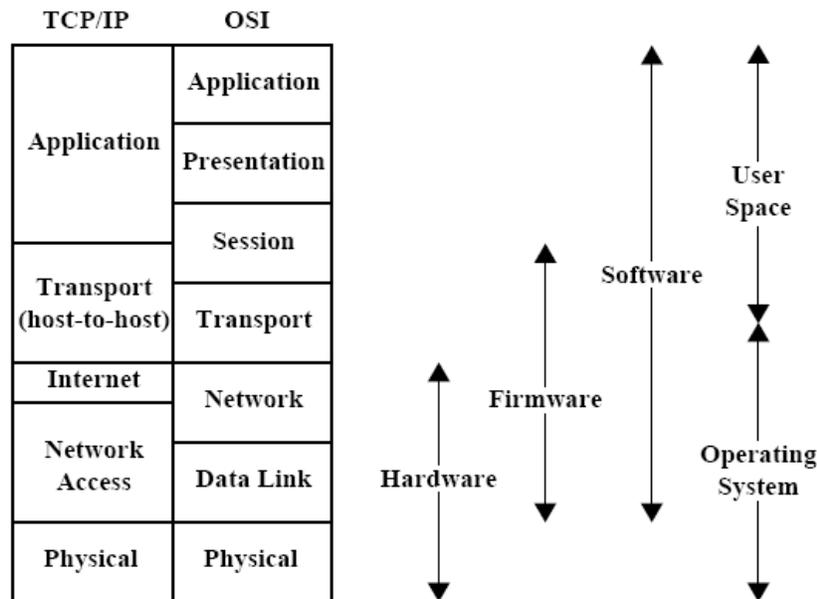
- » Aplicação – serviços de utilizador
  - HTTP, FTP, telnet
- » Transporte
  - Extremo-a-extremo
  - **TCP** – transmissão fiável e ordenada de dados
  - **UDP** – transmissão não fiável e eventualmente desordenada de dados
- » Internet
  - **IP** – encaminhamento através de múltiplas (sub)redes interligadas (*internetworking*)
  - Implementado em computadores (*hosts*) e nós intermédios (*routers*)
- » Acesso à (sub)rede
  - Acesso à (sub)rede e comunicação entre estações (*hosts / routers*) ligadas à mesma (sub)rede
- » Física
  - Características eléctricas e mecânicas da ligação física ao meio de transmissão (níveis de sinal, débitos de transmissão, conectores, etc.)



## *Modelo de Referência OSI (Open Systems Interconnection)*

- » Aplicação
  - Acesso ao ambiente OSI, gestão, serviços de informação distribuídos
- » Apresentação
  - Negociação da sintaxe de transferência, transformação da representação de dados
- » Sessão
  - Controlo de diálogos, sincronização entre processos
- » Transporte
  - Transferência de dados extremo-a-extremo
- » Rede
  - Comutação e encaminhamento de pacotes numa rede e entre redes
- » Ligação de dados
  - Controlo da ligação lógica (confirmação, controlo de erros e de fluxo)
- » Físico
  - Características eléctricas e mecânicas da ligação física ao meio de transmissão

## TCP/IP vs. OSI



## Evolução das redes de Telecomunicações

- » No passado as redes foram projectadas e optimizadas para serviços específicos
  - A rede telefónica para o serviço de voz (POTS – *Plain Old Telephone Service*)
  - Redes de difusão (*broadcast*) para distribuição de programas de rádio e televisão
  - Redes de computadores (*Computer Networks*) para suporte de aplicações entre computadores (acesso remoto, transferência de ficheiros, correio electrónico, etc.)
- » A tendência actual é no sentido de transportar tráfego de diferentes aplicações ou serviços, com características e requisitos muito diferentes, na mesma infra-estrutura de rede
  - O conceito de integração de serviços começou com a RDIS (Rede Digital com Integração de Serviços), como uma evolução da rede telefónica digital
  - A tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) desenvolveu-se para suportar um novo conceito de rede capaz de suportar (integrar) qualquer tipo de serviço
  - A Internet foi concebida para o transporte de dados entre computadores (segundo um modelo de serviço dito *best effort*, não adequado para tráfego com requisitos de tempo real), mas está a tornar-se na infra-estrutura universal para o transporte de tráfego de múltiplos serviços, por exemplo VoIP (*Voice over IP*), *streaming* de vídeo, etc., o que requer extensões ao modelo tradicional