

# *Redes de Comunicação de Dados*

## *Tecnologias de Comutação / Comutação de Pacotes*

FEUP/DEEC/CDRC 1 – 2002/03

MPR/JAR

## *Cenários de Comunicação de Dados*

---

- » Os cenários e requisitos de comunicação de dados evoluíram ao longo dos anos acompanhando a evolução dos computadores, a forma como os recursos informáticos são utilizados e geridos e a natureza das aplicações
  1. Comunicação entre terminais (locais / remotos) e um computador central (redes de terminais)
  2. Comunicação entre computadores remotos de uma mesma organização
  3. Comunicação entre computadores de diferentes organizações, geograficamente dispersos (WAN - *Wide Area Network*)
  4. Comunicação entre computadores da mesma organização, geograficamente próximos (LAN - *Local Area Network*)
  5. Comunicação entre redes da mesma ou de diferentes organizações através duma WAN (*internetworking*)
- » Os cenários 1, 2 e 3 correspondem a etapas evolutivas em que os recursos informáticos duma organização estavam centralizados. Com a implantação de LANs (cenário 4) o cenário 3 evoluiu para o cenário 5
- » Nos dois primeiros casos a comunicação entre sistemas remotos começou por utilizar circuitos telefónicos alugados, situação que ainda se mantém, nalguns casos, embora existam actualmente alternativas mais vantajosas e flexíveis

## *Redes de Comunicação de Dados*

---

- » A rede telefónica apresentava limitações (custo, flexibilidade, desempenho, facilidades oferecidas) que não recomendavam a sua utilização para suportar comunicação generalizada e sem restrições entre computadores
  - a rede telefónica oferece circuitos (dedicados ou comutados) de capacidade fixa entre pontos de acesso
  - a reserva / atribuição de recursos é estática, ineficiente para tráfego de dados *bursty*, típico da comunicação entre computadores (impossível reutilizar recursos atribuídos e não utilizados)
- » Tornou-se necessário projectar, instalar e operar redes optimizadas para a comunicação de dados entre computadores, baseadas em paradigmas de gestão de recursos adequados à natureza do tráfego de dados e aos requisitos das aplicações (débitos, atrasos, fiabilidade, disponibilidade)

## *Constituição e Topologias*

---

- » Uma rede que permita oferecer conectividade generalizada e sem restrições entre computadores geograficamente dispersos (rede de computadores) deve ser constituída por nós de comutação interligados por um sistema de transmissão, formando uma sub-rede de comunicação (ou simplesmente sub-rede)
- » Para garantir elevados níveis de fiabilidade, disponibilidade, flexibilidade e robustez da infra-estrutura de comunicações, as redes de computadores de área alargada (WANs) adoptam topologias em malha (*mesh*), que permitem explorar rotas alternativas entre nós
  - garantem continuidade de serviço mesmo em caso de falhas de nós e ligações entre nós
  - permitem distribuir tráfego, explorando a capacidade de ligações menos sobrecarregadas
- » Em redes locais (LANs) é possível simplificar o processo de comutação e explorar topologias mais simples, com elevado grau de conectividade
  - Barramento (*bus*)
  - Anel (*ring*)
  - Estrela (*star*)
  - Árvore (*tree*)

## *Partilha de Recursos*

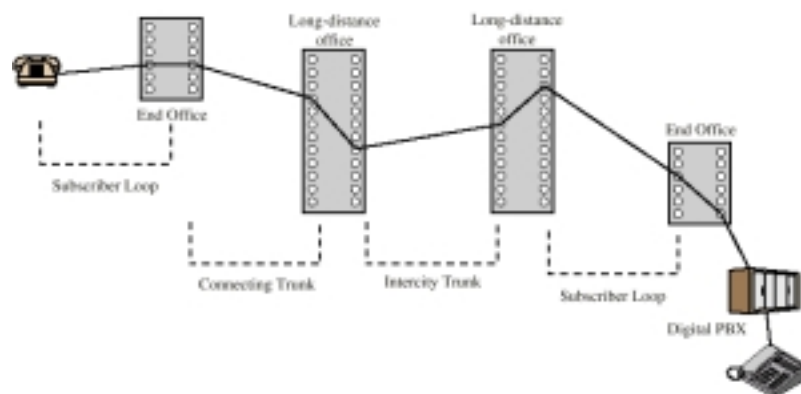
---

- » Uma rede de computadores interliga uma multiplicidade de sistemas autónomos e independentes, permitindo partilha de recursos, com os seguintes objectivos
  - acesso a informação e a recursos de processamento (*hardware / software*)
  - comunicação entre sistemas para troca de vários tipos de informação
  - acesso a múltiplos serviços
  - suporte de aplicações, processamento e controlo distribuídos
  - utilização eficiente de recursos de transmissão e comutação (sub-rede de comunicação)
  - rentabilização de recursos especializados e dispendiosos
  - elevada flexibilidade (recursos diversificados)
  - elevada fiabilidade e disponibilidade (recursos alternativos)
  
- » Uma rede deve permitir acesso a recursos remotos de modo relativamente transparente aos utilizadores e sem degradação perceptível de desempenho
  
- » A gestão dos recursos da sub-rede pode ser de dois tipos
  - Gestão Estática
  - Gestão Dinâmica

## *Gestão Estática de Recursos*

---

- » Os recursos necessários à comunicação entre dois sistemas são previamente reservados e atribuídos em exclusividade pelo período da conversação
- » Este modelo de gestão de recursos é adoptado na rede telefónica, que utiliza técnicas de Multiplexagem Temporal Síncrona e de Comutação de Circuitos
- » Durante o estabelecimento de uma chamada é definido o percurso da informação e são reservados os recursos associados (capacidade do circuito)



## *Comutação de Circuitos - Desempenho*

---

- » Os circuitos telefónicos disponibilizam uma capacidade fixa, reservada para a duração da conversação, garantindo assim débito e atraso constantes
  - A utilização do circuito por tráfego de dados com débito variável caracteriza-se por o débito instantâneo coincidir com a capacidade do circuito (bit/s) quando existem dados a transmitir e ser nulo quando não existe tráfego
  - O débito médio é inferior ao débito máximo instantâneo (capacidade do circuito) e a relação entre ambos mede a utilização efectiva do circuito e depende do grau de *burstiness* do tráfego
  - Recursos não utilizados são desperdiçados, pelo que a comutação de circuitos não é eficiente nem flexível para tráfego de dados *bursty*
- » No caso de circuitos comutados, para além do atraso inerente ao tempo de estabelecimento da chamada (que pode ser significativo face à sua duração), é requerida disponibilidade total de recursos ao longo da rede, sob pena de não ser possível estabelecer a chamada (probabilidade de bloqueio não nula)
- » A rede telefónica é imune a fenómenos de congestionamento - o desempenho de um circuito é garantido, não sendo afectado pelo restante tráfego na rede

## *Gestão Dinâmica de Recursos*

---

- » Não existe reserva prévia de recursos
  - Os recursos são partilhados por uma população de utilizadores que individualmente têm um perfil de utilização irregular (assíncrono), com baixo índice de ocupação
  - Os recursos são atribuídos quando necessário e de acordo com a disponibilidade
- » Existe competição pelos recursos partilhados, o que pode originar conflitos
  - a resolução de conflitos de curta duração consegue-se com recurso a *buffers* e gestão de filas de espera (eventualmente com prioridades)
  - a resolução de conflitos de longa duração requer estratégias de controlo complexas
- » O modelo de gestão dinâmica de recursos constitui a base da tecnologia de Comutação de Pacotes que é adoptada numa grande diversidade de redes de comunicação, embora com múltiplas variantes (IP, X.25, *Frame Relay*, ATM)
- » A gestão dinâmica de recursos requer inteligência (processamento e memória) nos nós de comutação da rede; a sua maior complexidade, relativamente à Comutação de Circuitos, justifica-se pelas vantagens quer económicas (utilização eficiente dos recursos da rede com tráfego *bursty*) quer de flexibilidade

## *Comutação de Pacotes - Desempenho*

---

- » As variantes da Comutação de Pacotes têm em comum o facto de a transmissão das unidades de dados se basear em técnicas de Multiplexagem Temporal Assíncrona e portanto ser possível explorar multiplexagem estatística
- » Na sua variante mais elementar não existe reserva prévia de recursos, que são dinamicamente atribuídos; o impacto no desempenho da rede pode caracterizar-se por comparação com a Comutação de Circuitos
  - a rede não oferece garantias relativamente a débitos e atrasos; os atrasos são variáveis e não controlados
  - não existe bloqueio (na acepção da Comutação de Circuitos), uma vez que não é necessário reservar antecipadamente a totalidade dos recursos ao longo da rede
  - a rede é susceptível a fenómenos de congestionamento (com a natural degradação de desempenho e eventual colapso), o que requer mecanismos de controlo apropriados
- » A flexibilidade da Comutação de Pacotes permite explorar várias estratégias de reserva e atribuição de recursos, com diferentes graus de multiplexagem estatística, de acordo com compromissos estabelecidos entre eficiência na utilização de recursos e satisfação de requisitos de Qualidade de Serviço (QoS), o que é particularmente importante em redes que suportam integração de serviços

## *Comunicação de Dados na Rede Telefónica / RDIS*

---

- » A comunicação de dados na rede telefónica (e na RDIS) é suportada em circuitos com capacidade fixa estabelecidos entre dois pontos de acesso
  - O canal de acesso pode ser analógico (requerendo o uso de modems) ou digital
- » Os circuitos podem ser estabelecidos por meio de procedimentos de sinalização (circuitos comutados) tal como para chamadas de voz
  - Esta opção poderá justificar-se para comunicações esporádicas e de curta duração entre dois pontos ou quando o volume de tráfego (mensal, anual) não justificar o aluguer de circuitos
  - A taxação é realizada com base na duração da chamada (“impulsos”)
  - Flexibilidade limitada e qualidade do circuito nem sempre garantida
  - Acesso não instantâneo (requer estabelecimento de chamada) e disponibilidade não garantida
- » Os circuitos podem ser estabelecidos (alugados) por períodos contratualmente negociados (circuitos dedicados)
  - Disponibilidade permanente e qualidade do circuito garantida
  - A taxação é independente da utilização efectiva do circuito
  - Capacidade do circuito pode ser negociada ( $N * 64$  kbit/s em acessos digitais)
  - Flexibilidade de utilização - possíveis várias configurações para interligar equipamentos

## *Circuitos dedicados*

---

- » Para garantir conectividade permanente entre equipamentos remotos de uma empresa podem ser usados circuitos dedicados (alugados) da rede telefónica para interligar
  - computadores
  - terminais e computadores
  - LANs (interligação de *routers*)
  
- » Tipicamente será necessário suportar múltiplos fluxos de dados entre dois locais, o que permite explorar a partilha da capacidade dos circuitos com o objectivo de tornar a sua utilização mais eficiente e reduzir custos; esta partilha é da responsabilidade do utilizador e não do operador
  
- » Actualmente existem alternativas mais vantajosas à utilização de circuitos dedicados, nomeadamente o serviço *Frame Relay*

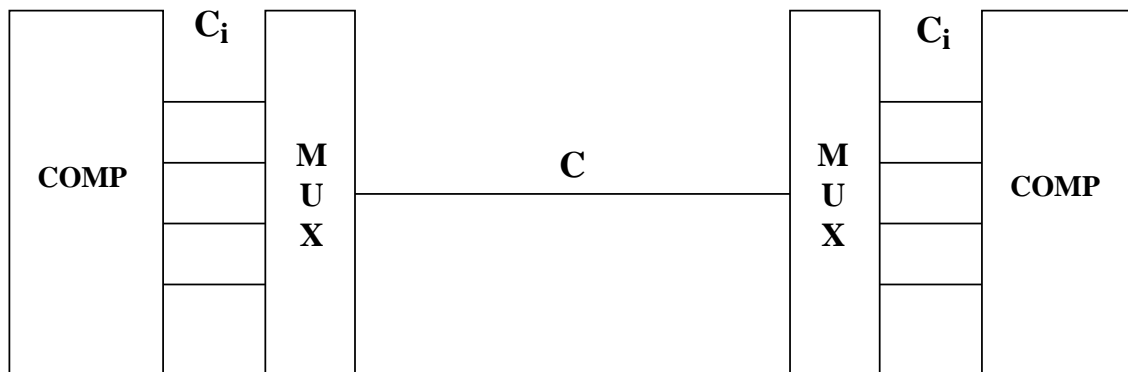
## *Circuitos dedicados - configurações físicas*

---

- ◆ Ponto a ponto
  - » Um circuito é usado exclusivamente para ligar dois sistemas remotos (duas interfaces físicas)
    - Pode ser realizado directamente ou usando *Multiplexers* (no caso em que seja necessário suportar múltiplas ligações ponto a ponto independentes)
    - Justifica-se quando o volume de tráfego é elevado ou crítico (requerendo disponibilidade permanente da capacidade do circuito); um exemplo com interesse é a interligação de *routers* com o objectivo de criar uma rede privada constituída por LANs remotas
  
- ◆ Multiponto
  - » Um circuito é partilhado para ligar múltiplos sistemas a um sistema remoto
    - Fisicamente a configuração é multiponto a ponto, mas as ligações lógicas são tipicamente ponto a ponto
    - Pode ser realizado através de *Multidrop* (derivações em vários pontos do circuito) ou recorrendo a Concentradores

## Multiplexagem

---



- » Aplicação: ligação entre dois computadores ou ligação de terminais a portas individuais de um computador (ou de um processador frontal)

## Multiplexagem Temporal Síncrona

---

- » A transmissão entre *Multiplexers* é organizada em tramas que se repetem periodicamente e que são constituídas por *slots* temporais; a ocupação de um *slot* na mesma posição relativa em tramas sucessivas constitui um canal de comunicação de capacidade fixa (multiplexagem de posição)
  - É possível constituir canais com diferentes capacidades por agregação de *slots*
  - A cada porta do *Multiplexer* corresponde um canal
- » Num único circuito com capacidade  $C$  são multiplexados  $N$  canais dedicados com capacidade  $C_i$ , sendo  $C = \sum C_i$  (ignorando *overheads* para sincronismo da trama física)
- » Equivalente a  $N$  ligações ponto a ponto, mas com um único circuito e um par de modems
  - A capacidade não utilizada por uma ligação não pode ser reutilizada por outra, o que torna este processo ineficiente com tráfego *bursty*
  - A existência dos *Multiplexers* é transparente aos sistemas em comunicação

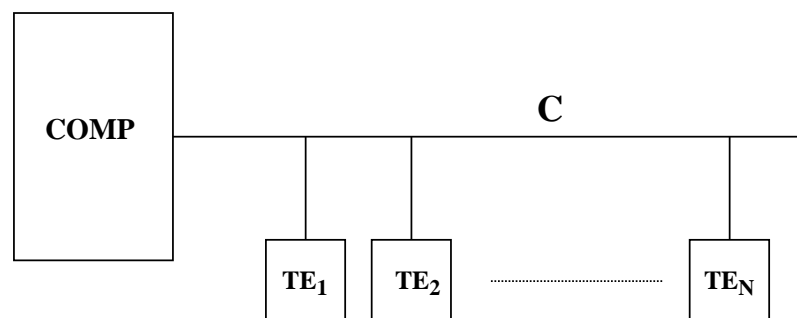
## Multiplexagem Temporal Assíncrona

---

- » A capacidade disponível no circuito é dinamicamente atribuída a fluxos activos presentes nas portas de acesso ( $C < \sum C_i$ )
- » Os fluxos activos ocupam canais lógicos com débitos instantâneos variáveis numa trama física, isto é, a capacidade não utilizada por um fluxo pode ser disponibilizada a outro(s)
  - melhora a utilização do circuito
  - é necessário utilizar *buffers* associados às portas de acesso
- » Os *Multiplexers* têm necessidade de identificar fluxos (*overhead* adicional), associando-os às respectivas portas de acesso, mas este processo é transparente aos sistemas em comunicação
- » Pode haver necessidade de controlo de fluxo nos circuitos (portas) de acesso aos *Multiplexers*

## Multidrop

---



- » Aplicação: ligação de terminais a um computador remoto; não usado para comunicação entre terminais
- » Vários terminais partilham um circuito e uma porta (interface) do computador
  - multiplexagem temporal assíncrona (capacidade do circuito partilhada por canais lógicos correspondentes à ocupação variável do circuito pelos vários fluxos de dados)
  - transmissão síncrona, organizada em tramas, pois a transmissão assíncrona seria muito ineficiente



## Multidrop

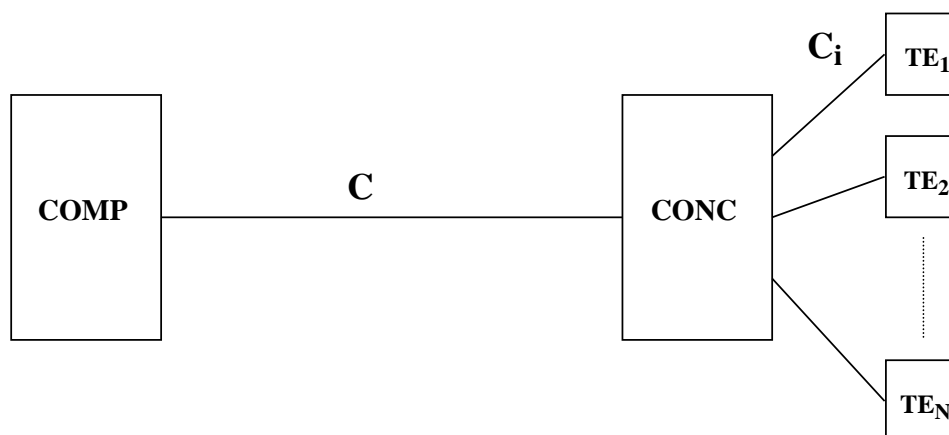
---

Controlo de acesso centralizado: computador realiza *Polling* ou *Selecting*

- » apenas um terminal pode transmitir ou receber em cada momento
  - quando um terminal é seleccionado para transmitir (*Polling*) ou para receber (*Selecting*), é enviada uma trama, sendo a transmissão efectuada à velocidade máxima permitida pela capacidade  $C$  (bit/s) do circuito
- » tempo de acesso variável (depende da duração de um ciclo de *polling*)
- » necessário identificação (endereçamento) dos terminais
- » *overhead* significativo se existirem muitos terminais ligados ao circuito e a actividade for reduzida
- » variantes
  - *roll-call polling* - o computador faz *polling* a cada um dos terminais, por uma ordem e frequência que pode ser variável
  - *hub polling* - o computador faz *polling* ao terminal mais afastado; o controlo é depois passado ao terminal adjacente, repetindo-se o processo até que o controlo é devolvido ao computador

## Concentração

---



- » Aplicação: ligação de terminais a um computador remoto ou concentração de acessos de vários computadores a uma rede (nó de comutação)

## Concentração

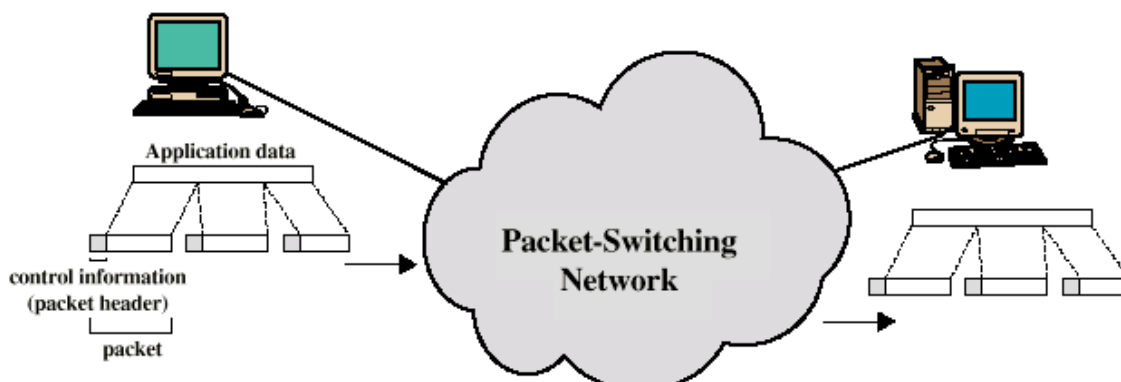
---

- » O tráfego de várias linhas de acesso é concentrado num único circuito de mais alta capacidade
  - Multiplexagem temporal assíncrona - a cada fluxo corresponde um canal lógico (com débito variável) multiplexado no circuito de interligação ( $C < \sum C_i$ )
  - Circuitos de acesso: transmissão assíncrona ou síncrona
  - Circuito de interligação: transmissão síncrona, organizada em tramas, ocupando cada trama toda a capacidade do circuito durante a respectiva transmissão
  
- » O Concentrador gere o acesso dos terminais ao circuito partilhado
  - Organiza as tramas com os dados provenientes de cada terminal e transmite-as sequencialmente
  - Selecciona a transmissão de um terminal, se vários activos, e gere *buffers* e fila de espera (introduz atrasos variáveis)
  - Converte velocidades e formatos e realiza controlo de fluxo, se necessário
  
- » O Computador e o Concentrador têm de identificar os terminais (canais lógicos)

## Comutação de Pacotes

---

- » As unidades de dados transportadas e comutadas pela rede designam-se por pacotes que são constituídos por
  - um cabeçalho com informação que permite à rede encaminhar os pacotes
  - um campo de dados com informação de camadas protocolares superiores, que pode ter de ser previamente fragmentada se exceder o tamanho máximo permitido pelo pacote (a fragmentação e reconstituição de "mensagens" é realizada na camada de Transporte)



## *Comutação de Pacotes em WANs*

---

- » Em WANs (topologia em malha) os pacotes são enviados pelos *hosts* para a rede, onde evoluem de nó em nó, competindo pelos recursos da rede
- » Em cada nó os pacotes recebidos numa porta de entrada são processados: é consultada uma tabela de encaminhamento e identificado o nó seguinte (porta de saída) para onde deve ser enviado. O pacote é transferido (comutado) para a porta de saída, aguardando em memória pela disponibilidade de recursos de transmissão (*store and forward*)
- » Existem duas variantes de comutação de pacotes - Datagramas e Circuitos Virtuais, que se baseiam em modelos de comunicação diferentes
  - A constituição e a forma como são construídas e actualizadas as tabelas de encaminhamento dos nós são diferentes neste dois modos de operação da rede
- » Uma rede de Comutação de Pacotes disponibiliza nas interfaces de acesso um Serviço aos seus utilizadores (*hosts*)
  - As características do Serviço dependem do modo interno de operação e de eventuais funções adicionais realizadas pelos nós de comutação

## *Datagramas*

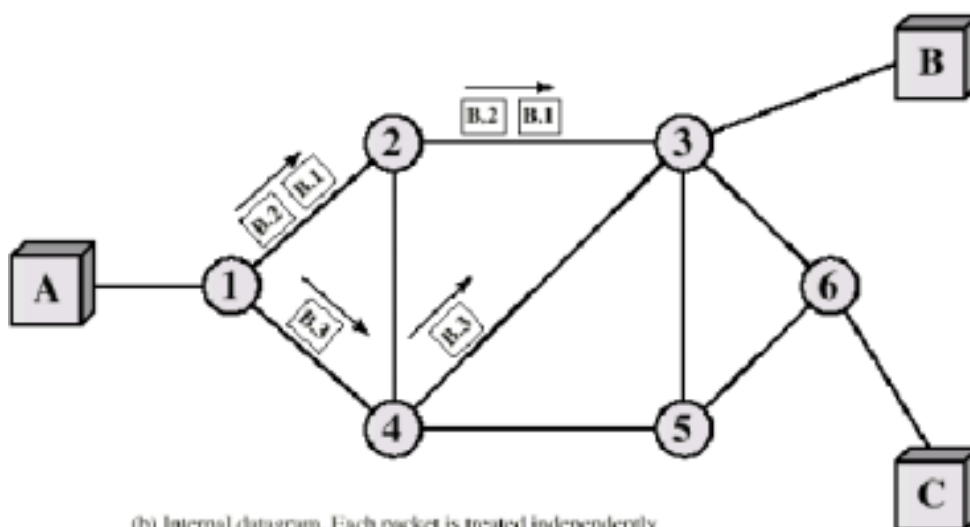
---

- » A palavra Datagrama designa um pacote que é tratado pela rede como uma unidade autónoma e independente de outros pacotes (mesmo que pertençam a uma mesma mensagem ou a um mesmo fluxo de mensagens)
- » Os datagramas são encapsulados em tramas para transmissão entre dois nós
- » Os datagramas são encaminhados com base no endereço de destino presente no respectivo cabeçalho (que igualmente contém o endereço de origem), mas a rede não usa qualquer informação para relacionar datagramas entre si
  - os endereços de origem e destino não são suficientes para a rede poder relacionar datagramas (mesmo que essa relação exista numa camada protocolar superior)
  - por comparação com a Comutação de Circuitos, não existe na rede o conceito de chamada ou conexão - não existe negociação prévia entre os utilizadores e a rede, não é estabelecida qualquer associação lógica entre os sistemas envolvidos na comunicação nem é mantida informação de estado nos nós da rede
  - este modo de operação designa-se por *connectionless*, isto é, sem conexão

## Comutação de Datagramas

- » Os datagramas são encaminhados pela rede de forma independente, podendo eventualmente usar percursos diferentes - cada datagrama segue o “melhor” percurso possível no momento (de acordo com um determinado critério e com a informação disponível em cada nó)
- » A informação usada para encaminhar datagramas (mantida em tabelas de encaminhamento) é obtida com recurso a protocolos de encaminhamento executados pelos nós de comutação; é necessário distinguir as funções de encaminhamento (*routing*) e de comutação (*switching / forwarding*)
  - as entradas das tabelas de encaminhamento relacionam o endereço de destino (de facto, grupos de endereços de máquinas servidas por cada nó da rede) com o próximo nó no percurso até ao nó final na rede
- » Podem ser adoptados algoritmos de encaminhamento dinâmicos - as tabelas de encaminhamento são alteradas quando necessário de modo a reflectir possíveis alterações do estado da rede (operacionalidade de nós e ligações entre nós, nível local ou global de tráfego, etc.)

## Comutação de Datagramas



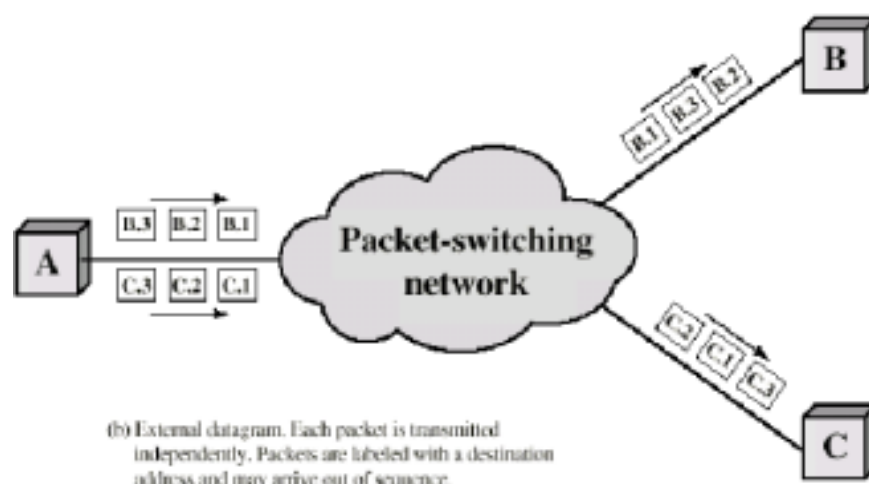
(b) Internal datagram. Each packet is treated independently by the network. Packets are labeled with a destination address and may arrive at the destination node out of sequence.

## Comutação de Datagramas - características

- » Os datagramas podem chegar ao nó de destino por uma ordem diferente daquela pela qual foram submetidos à rede
- » Admite-se que, em certas circunstâncias, a rede pode originar duplicados de datagramas, não detectáveis pela própria rede
  - tal poderia ocorrer se uma trama aceite num nó ficasse por confirmar devido a uma falha subsequente da ligação e fosse decidido transmitir para outro nó uma nova trama, contendo o mesmo datagrama (esta opção é de interesse discutível; é preferível não retransmitir, assumindo-se uma eventual perda do datagrama)
  - estes duplicados não devem ser confundidos com duplicados originados na camada de Transporte (e igualmente não detectáveis pela rede)
- » A rede pode perder datagramas, devido a erros não recuperáveis pelo protocolo de ligação de dados, a *overflow* de *buffers* ou a descarte determinado pelo algoritmo de controlo de congestionamento; não existe qualquer mecanismo de recuperação (retransmissão) de datagramas por parte da rede
- » A Comutação de Datagramas caracteriza-se por apresentar um *overhead* elevado no cabeçalho (importante com pacotes pequenos) e por obrigar a processamento intenso nos nós de comutação por cada pacote recebido

## Serviço de Datagramas

- » A rede oferece directamente um serviço que não garante a entrega de datagramas (nem um tempo máximo de entrega) nem a sua ordenação e que pode originar duplicados - serviço *best effort*
- » Uma vez que não existe qualquer conexão na rede, este serviço designa-se por Serviço de Datagramas ou Serviço sem Conexão (*Connectionless - CL*)



## *Circuitos Virtuais*

---

- » A Comutação de Pacotes pode explorar o conceito de chamada, como em Comutação de Circuitos, mas sem necessariamente reservar recursos para a comunicação - o que justifica a designação de Chamada Virtual
- » Um Chamada Virtual pressupõe a existência de uma relação entre pacotes de um mesmo fluxo (chamada) e que essa relação seja conhecida da rede
- » Os pacotes de uma Chamada Virtual devem possuir um identificador comum que permita o seu reconhecimento pelos nós da rede, beneficiando assim de tratamento idêntico e de mecanismos de controlo aplicados ao fluxo de pacotes - o que, por outro lado, abre a possibilidade de tratar de forma diferenciada diferentes fluxos de pacotes (chamadas)
- » Uma Chamada Virtual é suportada num Circuito Virtual, isto é, numa associação lógica estabelecida e mantida pelos nós da rede, com informação de estado associada

## *Identificação de Circuitos Virtuais*

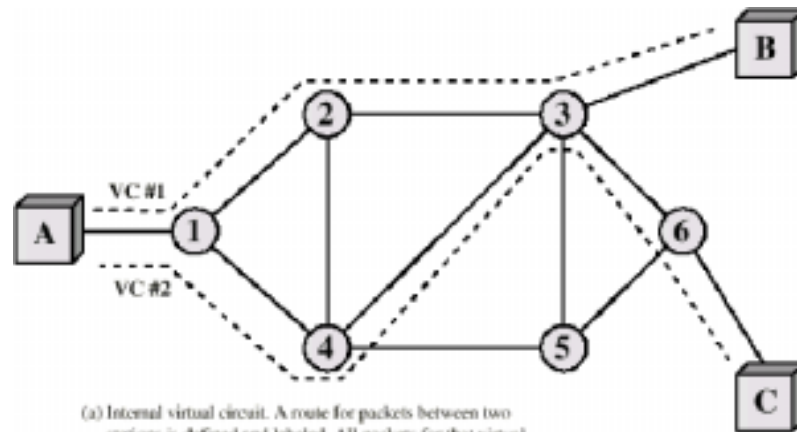
---

- » Um Circuito Virtual é estabelecido previamente ao envio de pacotes de dados
- » Um Circuito Virtual consiste numa concatenação de canais virtuais (lógicos) entre nós adjacentes, segundo um percurso seleccionado durante o respectivo estabelecimento e que fica memorizado nas tabelas de encaminhamento
- » Aos canais virtuais são atribuídos identificadores (VCI - *Virtual Channel Identifier*) que permitem aos nós reconstituir o percurso dos pacotes
  - Os VCIs são atribuídos durante o estabelecimento de um Circuito Virtual
  - Os VCIs são administrados em cada interface entre dois nós, tendo portanto significado local (a administração global seria extremamente complexa)
  - Por cada Circuito Virtual, a relação entre (porta de entrada,  $VCI_e$ ) e (porta de saída,  $VCI_s$ ) é mantida na tabela de encaminhamento (*forwarding table*)
  - A comutação consiste em processar o cabeçalho do pacote, ler o conteúdo da entrada da tabela indexada por (porta de entrada,  $VCI_e$ ), transferir o pacote para a porta de saída indicada e trocar  $VCI_e$  por  $VCI_s$  no cabeçalho do pacote
- » Pacotes transmitidos num Circuito Virtual mantêm-se ordenados durante o transporte na rede (são obrigados a seguir o mesmo percurso)

## Comutação de Circuitos Virtuais

Os Circuitos Virtuais podem ser de dois tipos

- » **Comutados** (SVC - *Switched Virtual Circuits*) - estabelecidos e terminados por meio de procedimentos de sinalização
- » **Permanentes** (PVC - *Permanent Virtual Circuits*) - estabelecidos por meio de procedimentos de gestão e mantidos durante um período contratual



## Propriedades dos Circuitos Virtuais

- » A Comutação de Circuitos Virtuais permite
  - encaminhar os pacotes de cada Circuito Virtual por um percurso pré-definido, usando exclusivamente o VCI (sem necessidade de recorrer a endereços)
    - ◆ reduz o *overhead* do cabeçalho (um VCI consome menos bits que os endereços)
    - ◆ a comutação é mais simples e mais rápida que a Comutação de Datagramas
    - ◆ garante que a rede mantém os pacotes ordenados
  - numerar os pacotes enviados no Circuito Virtual com o objectivo de realizar confirmação de pacotes, controlo de erros e controlo de fluxo, se necessário
    - ◆ permite recuperar perdas e eliminar duplicados, se for usado controlo de erros
    - ◆ permite fazer controlo de fluxo por Circuito Virtual (nó a nó ou entre entrada e saída)
  - decidir pela aceitação ou rejeição de um pedido de estabelecimento de uma Chamada Virtual ou pela sua conclusão prematura (com base no estado da rede)
  - adoptar estratégias diversas de reserva de recursos de transmissão (no limite ausência de qualquer reserva) ou de recursos nos nós (por exemplo reserva de um número mínimo de *buffers* por Circuito Virtual, associada a um mecanismo de janela) - essas diferenças manifestam-se em X.25, *Frame Relay* e ATM

## *Circuitos Virtuais X.25*

---

- » Os pacotes X.25 são encapsulados em tramas HDLC (LAPB) e o fluxo de pacotes é multiplexado numa única ligação de dados LAPB
- » Os Circuitos Virtuais (SVC) são estabelecidos por procedimentos de sinalização *inband* - pacotes de controlo e de dados partilham o mesmo Circuito Virtual
- » X.25 baseia-se na comutação de pacotes (de comprimento variável); os Circuitos Virtuais são identificados no cabeçalho dos pacotes (12 bits)
- » A ligação de dados suporta controlo de erros e controlo de fluxo (global)
- » Existe controlo de fluxo (mas não controlo de erros) por Circuito Virtual

## *Circuitos Virtuais Frame Relay e ATM*

---

- » Os Circuitos Virtuais (SVC) são estabelecidos por procedimentos de sinalização *out of band* - é usado um canal lógico para sinalização separado dos canais usados para transporte de dados
- » Não existem mecanismos de controlo de erros e de controlo de fluxo na rede (embora existam outros mecanismos de controlo de tráfego)
- » *Frame Relay* baseia-se na comutação de tramas (de comprimento variável); os Circuitos Virtuais são identificados no cabeçalho das tramas (opções: 10, 16 ou 23 bits)
- » *ATM* baseia-se na comutação de células (de comprimento fixo); os Circuitos Virtuais são identificados no cabeçalho das células (24 bits nas interfaces de acesso à rede e 28 bits nas interfaces entre comutadores)

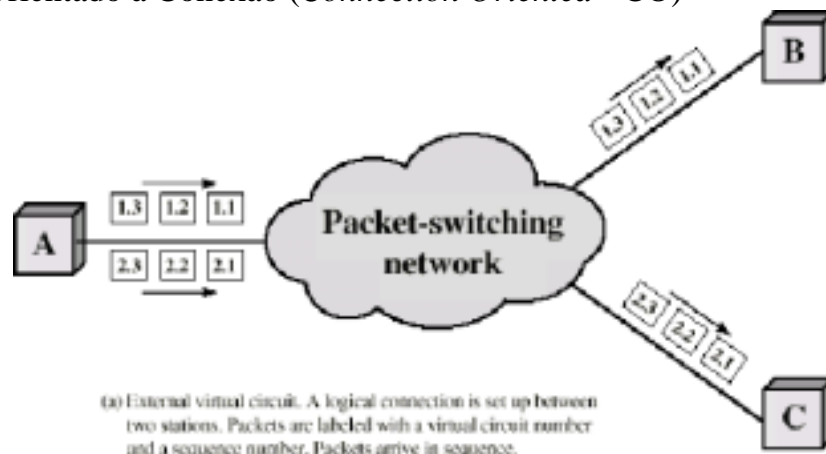


## Comutação de Circuitos Virtuais - características

- » Os pacotes chegam ao nó de destino na rede na mesma ordem pela qual foram submetidos à rede
- » A rede pode, se necessário, recuperar eventuais perdas de pacotes, por meio de retransmissão - mas em X.25, *Frame Relay* e ATM não há retransmissão de pacotes pelos nós da rede
  - Em X.25 o controlo de erros é realizado pelo protocolo de ligação de dados, enquanto o controlo de fluxo por Circuito Virtual reduz a probabilidade de perda de pacotes
  - Em *Frame Relay* e ATM não há controlo de erros na rede - as retransmissões são realizadas extremo a extremo, quando necessário
- » A rede não origina duplicados (se existir um mecanismo de retransmissão, os duplicados são identificados e eliminados)
- » A Comutação de Circuitos Virtuais caracteriza-se pela simplicidade do processo de comutação, por apresentar pequeno *overhead* por pacote e por introduzir *overhead* de processamento associado à gestão de Circuitos Virtuais (estabelecimento, conclusão e mecanismos de controlo)

## Serviço de Circuito Virtual

- » A rede oferece directamente um serviço que garante uma elevada probabilidade na entrega dos pacotes, preservando a sua ordenação e sem originar duplicados; pode ainda oferecer diferentes garantias de QoS (débitos e atrasos), conforme a estratégia de reserva e atribuição de recursos
- » Uma vez que este serviço se baseia no estabelecimento de uma conexão na rede, designa-se por Serviço de Circuito Virtual (dito Circuito Virtual Externo) ou Serviço Orientado à Conexão (*Connection Oriented - CO*)



## *Modo de Comutação e Serviço - alternativas*

---

- » Da Comutação de Datagramas e de Circuitos Virtuais decorrem directamente dois serviços “nativos” (CO e CL), mas são possíveis outras combinações
- » É possível oferecer um serviço CO numa rede que comuta datagramas (CL)
  - o nó de entrada e o nó de saída suportam externamente uma interface de Circuito Virtual e internamente garantem a continuidade do Circuito Virtual através dum canal virtual estabelecido entre ambos, transparente aos restantes nós da rede
  - pacotes submetidos à rede num Circuito Virtual são encapsulados em datagramas para transporte na rede - só os nós de entrada e saída processam o pacote encapsulado
  - um protocolo entre os nós de entrada e saída (no canal virtual interno) permite ao nó de saída reordenar pacotes e solicitar ao nó de entrada retransmissão de pacotes, se necessário
  - algumas redes X.25 funcionam deste modo
- » Uma rede que comuta datagramas (e oferece um serviço CL) pode usar um serviço CO (X.25, *Frame Relay* ou ATM) para interligar os seus nós
  - o serviço orientado à conexão constitui apenas o substituto de um circuito dedicado, sem qualquer impacto nos protocolos de comunicação e no serviço da rede que usa o serviço CO
  - *routers* IP podem ser interligados recorrendo a um serviço *Frame Relay* ou ATM (PVCs)
- » O serviço disponibilizado às Aplicações é independente do serviço da rede

## *Circuitos Virtuais vs Datagramas - Comutação*

---

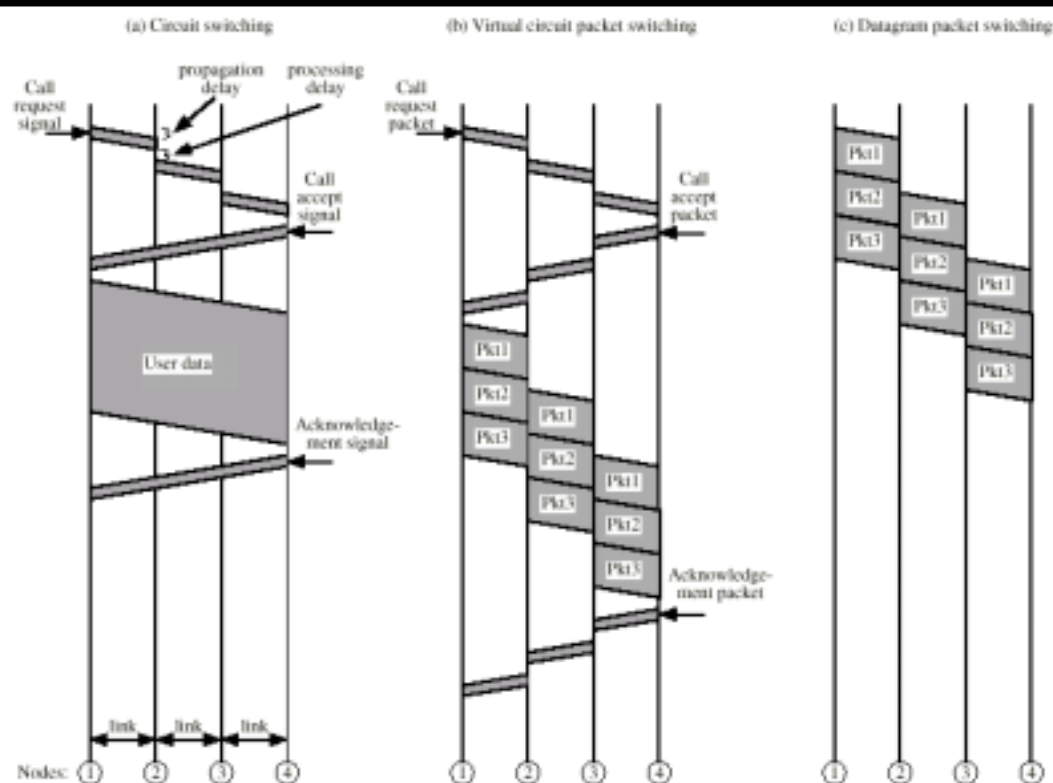
- » Comutação de Circuitos Virtuais (Circuitos Virtuais Internos)
  - Permite oferecer directamente um serviço com elevado grau de fiabilidade
    - ◆ importante em aplicações que exigem fiabilidade mas não toleram atrasos inerentes a retransmissões
    - ◆ reduz a necessidade de retransmissões extremo a extremo que podem degradar seriamente o desempenho se a taxa de perda de pacotes na rede for elevada, devido a erros de transmissão ou descarte em situações de congestionamento
  - Permite realizar Controlo de Fluxo selectivo, por Circuito Virtual
  - Introduce pequeno *overhead* por pacote
  - Comutação simples e rápida (podendo mesmo ser feita em *hardware*, como em redes ATM)
  - Introduce *overhead* associado ao estabelecimento e conclusão da chamada - não só consome recursos de transmissão e recursos de processamento nos nós como introduz atrasos que são significativos em transacções de curta duração e envolvendo um pequeno número de pacotes
  - É necessário manter informação de estado por cada Circuito Virtual activo
  - As tabelas de encaminhamento têm de ser dimensionadas de modo a existir uma entrada por cada Circuito Virtual potencial (activo ou não)
  - Em caso de falha de um nó ou de uma ligação entre nós é necessário estabelecer um novo Circuito Virtual

## Circuitos Virtuais vs Datagramas - Comutação

### » Comutação de Datagramas

- Flexível - não condiciona o serviço oferecido pela rede nem o serviço disponibilizado às aplicações
- Robusta - o encaminhamento dinâmico permite adaptação automática a falhas em nós e ligações entre nós
- Inexistência de *overhead* inerente à gestão de conexões (que consome tempo e recursos), o que é vantajoso em aplicações caracterizadas por transacções de curta duração
- Não necessário manter informação de estado na rede
- As tabelas de encaminhamento são organizadas com base em endereços (grupos de endereços de *hosts* servidos pelo mesmo nó da rede e que normalmente fazem parte duma mesma sub-rede - por exemplo sub-rede IP)
- Introduce elevado *overhead* por pacote (importante em WANs, em que os pacotes são relativamente pequenos)
- Processamento exigente nos nós (encaminhamento dos pacotes e execução de protocolos de encaminhamento) responsável por uma latência superior à da Comutação de Circuitos Virtuais (pode ser um factor limitativo em redes de alta velocidade)
- Impossível regular selectivamente fluxos individuais de tráfego
- Datagramas são normalmente descartados no caso de congestionamento

## Circuitos, Circuitos Virtuais, Datagramas



## *Circuitos Virtuais vs Datagramas - Serviço*

---

### » Serviço de Datagramas

- Serviço básico (primitivo) - pode ser adequado para algumas aplicações; caso contrário os *hosts* podem construir um serviço fiável (protocolo de Transporte)
  - ◆ Aplicações que não requerem entrega ordenada de pacotes e/ou controlo de erros (ou que preferem realizar o seu próprio controlo de erros) não tiram partido de serviços orientados à conexão (mais caros)
  - ◆ Em redes IP existem dois protocolos de Transporte - UDP (*User Datagram Protocol*), não fiável, e TCP (*Transmission Control Protocol*), fiável
- Adequado para Aplicações transaccionais que são fortemente penalizadas pelo estabelecimento de conexões
- Serviço independente da tecnologia - alterações tecnológicas na rede não obrigam a alterações significativas nos *hosts* (e.g., redes TCP/IP)

### » Serviço de Circuito Virtual (Circuito Virtual Externo)

- Aplicações com requisitos de fiabilidade e/ou de QoS controlada beneficiam de um serviço de Circuito Virtual oferecido pela rede
- Adequado para Aplicações conversacionais (duração prolongada e envolvendo um número elevado de pacotes), menos penalizadas pelo estabelecimento de conexões

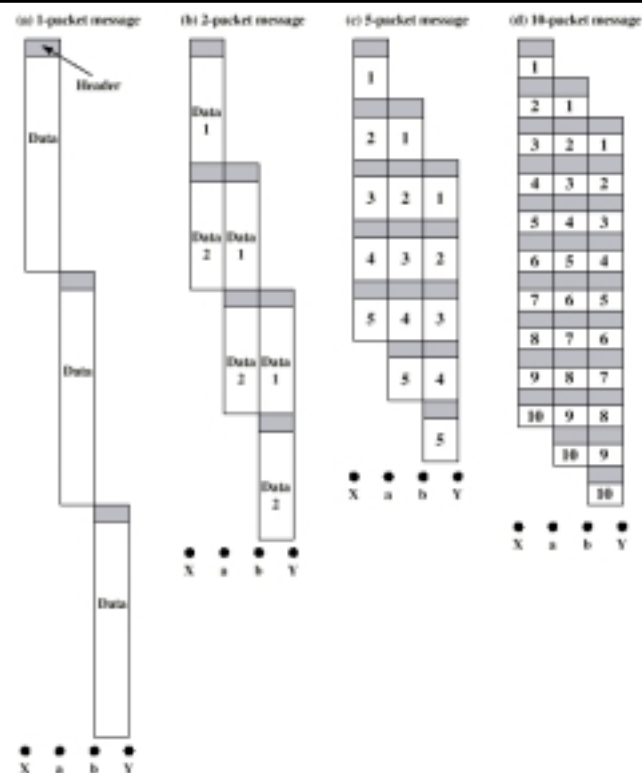
## *Exemplos*

---

Modo de operação	Serviço da rede	Serviço para aplicação	Exemplo
DG	CL	CL	UDP/IP
DG	CL	CO	TCP/IP
CV sobre DG	CO	CL/CO	X.25
CV	CO	CL/CO	X.25, FR ATM
DG sobre CV	CL	CL/CO	IP sobre FR/ATM

## Influência do Comprimento dos Pacotes

- ◆ A Comutação de Pacotes *Store and Forward* permite vários pacotes em trânsito na rede (*pipelining*)
- ◆ A fragmentação da informação em pacotes pequenos permite reduzir o tempo de trânsito dos pacotes na rede e minimizar a quantidade de informação a retransmitir no caso de erros (importante em WANs)
- ◆ Esta vantagem é perdida se os pacotes forem muito pequenos pois o *overhead* aumenta proporcionalmente ao número de pacotes
- ◆ Pacotes pequenos requerem cabeçalhos pequenos, o que é mais fácil de conseguir com Circuitos Virtuais (e.g., ATM)



## Comutação de Pacotes em LANs

- » A Comutação de Pacotes em LANs é influenciada por vários aspectos
  - topologias simples e distâncias curtas entre sistemas
    - ◆ em meios partilhados as estações estão directamente ligadas entre si
  - elevada fiabilidade do sistema de transmissão (taxas de erro muito baixas)
  - elevada velocidade de transmissão (da ordem de Mbit/s ou Gbit/s)
  - aplicações com requisitos de pequena latência (tempos de resposta curtos)
- » Estes aspectos determinaram as seguintes opções
  - protocolos de acesso ao meio distribuídos (no caso de barramentos e anéis)
  - comutação de datagramas
    - ◆ a unidade de comutação é a trama (camada de ligação de dados)
    - ◆ as tramas contêm os endereços físicos (*hardware*) das estações de origem e de destino
  - serviço da rede sem conexão (CL)
    - ◆ ausência de mecanismos de controlo de erros (ausência de retransmissões / duplicados)
    - ◆ as tramas são descartadas em caso de congestionamento
    - ◆ as tramas são mantidas em sequência (imposto pela topologia física ou lógica)
  - os datagramas podem ter comprimento máximo muito superior ao adoptado em WANs