

Rede Fixa de Telecomunicações

- **Modos de transferência da informação**
- **Arquitetura da rede**
- **Áreas funcionais da rede**
- **Evolução da rede**

Sistemas de Telecomunicações

Rui Lopes Campos, Mário Jorge Leitão

Neste capítulo, começa-se por discutir os **modos de transferência** de informação utilizados em redes de comunicação eletrónica.

Seguidamente, apresenta-se e justifica-se a **topologia da rede fixa de telecomunicações**, resultante inicialmente do desenvolvimento da **rede telefónica**, para finalmente convergir para uma **rede de dados universal**.

Procura-se dar uma **visão global dos elementos que a constituem**, pondo em destaque quer o **papel** que cada um deles desempenha, quer a sua **articulação**. Neste sentido, identificam-se e caracterizam-se as áreas funcionais de **equipamento terminal** de utilizador, **rede de acesso**, **rede de transporte**, **rede de comutação** e **redes auxiliares**. Esta abordagem sintética do conjunto da rede fixa de telecomunicações tornará possível a exploração detalhada efectuada em cada um dos capítulos seguintes, tendo sempre presente a visão global da rede.

Finalmente, perspetiva-se a **evolução da rede fixa de telecomunicações**, desde a **rede analógica**, passando pela fase de **digitalização** e posterior **integração de serviços**, até à fase atual de oferta diversificada de redes e serviços e **convergência com as redes de dados**.

Modos de transferência da informação

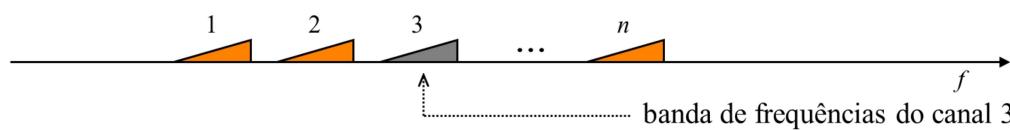
Modo de circuito

modo fundamental utilizado na rede pública telefônica comutada
PSTN – Public Switched Telephone Network

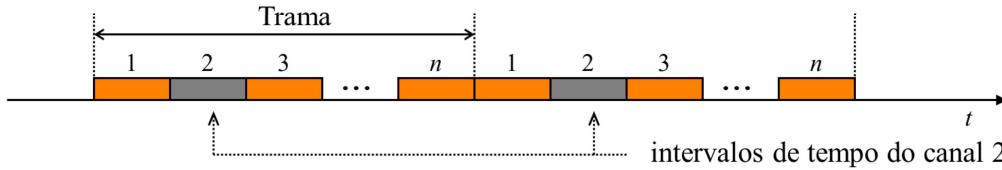
Multiplexagem

- são utilizadas técnicas de **multiplexagem determinística**
- cada canal ocupa
 - uma **banda fixa** ou ←
 - **intervalos de tempo** cíclicos em tramas sucessivas ←

débito constante
atraso constante



Multiplexagem de frequências em modo circuito – Frequency Division Multiplexing (FDM)



Multiplexagem temporal em modo circuito – Time Division Multiplexing (TDM)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O **modo de circuito** é uma técnica utilizável tanto em redes **análogicas** como em **digitais**. Neste estudo, concentra-se a **análise no caso digital**, pela sua importância dominante.

Um **circuito** pode ser suportado diretamente sobre um **canal físico** de comunicação dedicado (referiremos indistintamente o circuito ou o próprio canal físico dedicado).

No caso da **multiplexagem de frequência**, um canal físico suporta múltiplos circuitos. Cada um deles dispõe de uma largura de banda pré-definida, adequada ao débito e codificação do sinal a transmitir. São necessárias ainda **bandas de guarda adicionais para reduzir as interferências entre canais adjacentes**.

De forma análoga, no caso da **multiplexagem temporal**, um canal físico suporta múltiplos circuitos, sendo cada um deles caracterizado por um débito binário constante (pré-definido), embora, como veremos a seguir, possa ser alterado dinamicamente.

Em qualquer dos casos, o atraso de transmissão é constante.

O **modo de circuito** é, por isso, **especialmente adequado a serviços de débito constante** (serviços CBR, Constant Bit Rate).

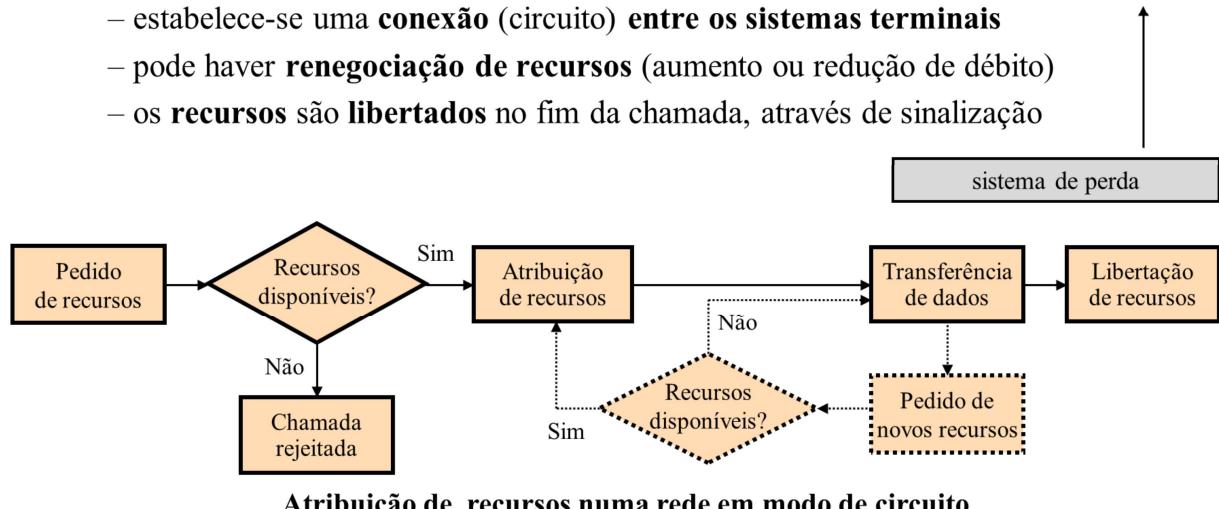
Como veremos mais tarde, na multiplexagem temporal a estruturação da informação em tramas exige um pequeno acréscimo (*overhead*) para sincronização geral da trama, e, consequentemente, do conjunto de canais.

Modos de transferência da informação

Modo de circuito

Acesso aos recursos

- os **recursos são solicitados à rede**, no início da chamada, através de sinalização
- se a rede tiver disponibilidade, são **atribuídos**; caso contrário a chamada é **rejeitada**
- estabelece-se uma **conexão (círculo) entre os sistemas terminais**
- pode haver **renegociação de recursos** (aumento ou redução de débito)
- os **recursos são libertados** no fim da chamada, através de sinalização



Atribuição de recursos numa rede em modo de circuito

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Uma das características do **modo circuito** é a necessidade de uma **fase prévia de estabelecimento de conexões**.

Só nesta fase de atribuição de recursos é que há competição: uma vez atribuído, o **círculo é utilizado em exclusivo pelos sistemas terminais** até à sua libertação.

A possibilidade de **renegociação dinâmica de circuitos** em certos sistemas ultrapassa uma das maiores limitações do modo circuito: o débito pode ser adaptado a requisitos variáveis das fontes.

Modos de transferência da informação

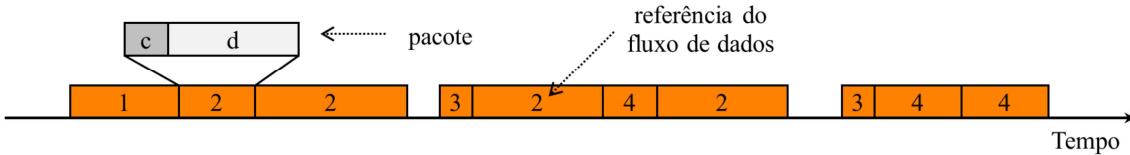
modo de pacote

modo com origem nas redes de dados

Multiplexagem

- são utilizadas técnicas de **multiplexagem temporal estatística**
- os dados a enviar são inseridos em estruturas autónomas designadas de **pacotes**
- a identificação dos **canais** é feita pelo **conteúdo do cabeçalho**
- cada fonte pode transmitir mais ou menos informação

débito variável



c – campo do **cabeçalho** (ou etiqueta)

- identifica a fonte e o destino ou a conexão a que pertence o pacote
- inclui outros elementos de controlo (de acordo com o tipo de rede)

d – campo de **dados**

- contém os dados do utilizador

Multiplexagem temporal em modo pacote

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Pela sua natureza, o **modo de pacote** é aplicável apenas a **comunicações digitais**.

Neste caso, o canal de comunicação assenta num **fluxo de pacotes**, suportando serviços de débito variável (serviços VBR, *Variable Bit Rate*) da seguinte forma:

- o comprimento de cada pacote pode variar;
- a frequência de pacotes pode também variar;
- no limite, se não houver dados a transmitir, não são transmitidos pacotes (não é utilizada qualquer banda por uma fonte inativa).

Como o cabeçalho representa um acréscimo (*overhead*) por pacote, o acréscimo total é geralmente superior ao existente nas redes em modo de circuito. No entanto, esta perda de eficiência das redes em modo de pacote é rapidamente recuperada no caso de serviços de débito variável (VBR):

- se fosse utilizado o **modo de circuito**, o débito do canal deveria ser o débito máximo da fonte para não haver perda de informação – consequentemente, em grande parte do tempo, o **canal estaria subutilizado**;
- com o **modo de pacote**, é apenas utilizado, em cada momento, o débito requerido pela fonte, ficando o excedente disponível para os outros canais.

A forma como o identificador do campo do cabeçalho referencia o pacote depende do tipo de rede:

- nas redes que suportam **serviços sem conexões**, os pacotes são completamente autónomos, contendo por isso necessariamente a identificação da fonte e do destinatário (e.g., pacotes IP);
- nas redes que suportam **serviços orientados às conexões**, ocorre previamente uma fase de estabelecimento de conexões, pelo que os pacotes transmitidos são referenciados à conexão a que pertencem através de um simples identificador (e.g., ligação TCP).

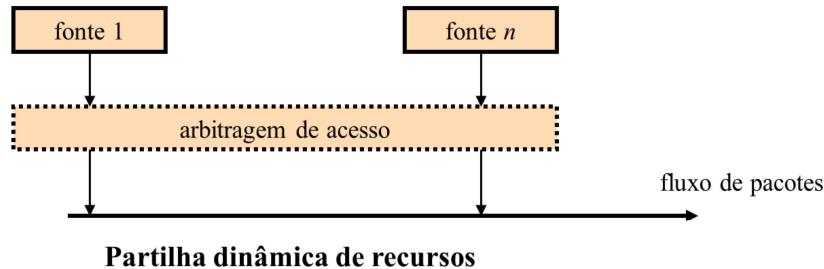
Modos de transferência da informação

Modo de pacote

Acesso aos recursos

- duas ou mais fontes podem tentar enviar simultaneamente pacotes
- um protocolo adequado resolve o conflito de acesso aos recursos
 - só uma fonte pode transmitir o respetivo pacote
 - os pacotes das outras fontes são memorizados
 - repete-se o processo até se esgotarem os pacotes a transmitir
- ocasionalmente poderá haver sobrecarga nos nós da rede
- as fontes poderão ter de reduzir o débito, para minimizar a perda de pacotes

atraso variável
sistema de atraso



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O principal problema das redes de pacotes resulta do **processo de competição pelos recursos**, já que numa rede em sobrecarga podem resultar **atrasos** e eventualmente **perdas de pacotes**.

No entanto, o aumento de eficiência compensa largamente estes inconvenientes, de tal forma que este modo, tendo a sua génese nas redes de dados, tem vindo a ser igualmente adotado no transporte de informação nas redes públicas de telecomunicações.

Modos de transferência da informação

Modo de pacote

Redes sem conexões

- não requerem o estabelecimento de conexões
- transferem pacotes de forma autónoma: ***datagramas***

exemplos de protocolos:
Ethernet LAN
IP

Princípios de comunicação

- *Operação sem conexões*

- não é necessária a fase de estabelecimento e libertação de conexões
- em contrapartida, todos os pacotes têm de ter endereços de origem e destino (ex: endereço IP)

- *Transferência de dados*

- cada pacote é enviado logo que disponível e é tratado autonomamente pela rede
- os pacotes podem seguir trajetos diferentes e chegar fora da ordem pela qual foram enviados
- não são disponibilizados pela rede deteção/correção de pacotes perdidos nem controlo de fluxo
- passa a ser responsabilidade do equipamento sistema terminal tratar estas situações de erro
- não é necessário dispor de informação nos nós sobre as comunicações em curso (informação de estado)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Neste caso, cada pacote tem o endereço completo e é encaminhado de forma independente dos outros. A possibilidade de haver **pacotes perdidos** ou **fora de ordem** requer que o emissor os numere antes de os enviar; que o receptor faça, se necessário, a sua reordenação, e que peça o reenvio no caso de algum pacote não chegar dentro de um certo intervalo de tempo expectável.

Devido à semelhança com os telegramas, como unidades transferidas autonomamente numa rede postal, os pacotes deste tipo de redes recebem a designação de "**datagramas**".

Modos de transferência da informação

Modo de pacote

Redes com conexões

- requerem o estabelecimento de conexões
- disponibilizam **circuitos virtuais**

exemplos protocolos:
Frame Relay
ATM
MPLS

Princípios de comunicação

- Estabelecimento da conexão através de sinalização
 - dois sistemas terminais em cada extremo negoceiam as características da conexão
 - os endereços de origem e destino só são enviados nesta fase (tipicamente até 56 bits cada, no máximo)
 - estabelecem-se identificadores de conexão para permitir o encaminhamento nos nós de comutação
- Transferência de dados
 - os pacotes transportam apenas o identificador de conexão, de reduzido comprimento (redes ATM=28 bits)
 - os pacotes seguem sempre o mesmo trajeto e chegam pela ordem em que foram enviados
 - é suportada a deteção e, eventualmente, a correção de pacotes perdidos
 - pode ser suportado o controlo de fluxo por circuito virtual
- Liberização da conexão através de sinalização
 - os identificadores de conexão são libertados, podendo vir a ser utilizados por novas conexões

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Estes serviços apresentam **muitas semelhanças** com os serviços que operam em **modo de circuito**, por incluírem as fases de **estabelecimento** e **libertação de conexões**. O aspeto distintivo de uma conexão é o seu funcionamento como um “**tubo**”: o emissor envia os pacotes de um extremo e o receptor retira-os pela mesma ordem de emissão.

As semelhanças com as redes em modo de circuito levaram a designar este tipo de serviço de “**circuito virtual**”. Não está efetivamente estabelecido um circuito com **débito constante** e **garantido**, como em modo de circuito, mas estabelece-se, da mesma forma, um caminho pré-definido (o tal “tubo”) para a transferência de dados.

Modos de transferência da informação

Critério de comparação	Modo de circuito	Modo de pacote	
		Datagramas	Circuitos virtuais
Estabelecimento de conexões	S	N	S
Reserva de recursos	S	N	Parcial/Estatística
Canal físico dedicado	S		N
Partilha dinâmica de recursos	N		S
Atraso transmissão constante	S		N
Eficiência para serviços CBR	+	--	-
Eficiência para serviços VBR	-	+	+
Encaminhamento fixo	S	N	S
Endereçamento do destino	apenas no estabelecimento da conexão	endereço completo em todos os pacotes	referência do circuito virtual em todos os pacotes
Informação de estado nos nós	S	N	S
Controlo de congestionamento	no estabelecimento da conexão	difícil	no estabelecimento e durante a conexão
Tarifas	por tempo	por quantidade de informação	

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O **modo circuito** é indiscutivelmente o **mais adequado ao transporte de serviços CBR**. Contudo, num cenário de integração que adiante discutiremos, mesmo os serviços CBR terão tendência a ser suportados no modo de pacote, existindo duas opções, sem e com conexões.

As **redes orientadas a serviços sem conexão**, como as LAN Ethernet e as redes IP, têm menores funcionalidades, mas podem ser mais rápidas, pois fazem apenas o “melhor esforço possível”, sem garantia total de entrega de pacotes nem de entrega ordenada. Neste caso, **transfere-se da rede para os sistemas terminais a responsabilidade e o peso das funções de controlo de erro**, o que não arrasta problemas de maior, dado o grande desenvolvimento, a um custo diminuto, da capacidade de processamento dos computadores e outros equipamentos terminais, incluindo mesmo os de utilização pessoal.

As **redes orientadas a serviços com conexão**, e, em especial as de primeira geração, como a rede X.25, tinham maior complexidade, sendo por isso mais lentas, uma vez que têm de suportar mecanismos para assegurar a integridade da transmissão de dados e o controlo de fluxo por circuito virtual; além disso, como não pode haver garantia absoluta de a rede ser capaz de cumprir esses objetivos, os sistemas terminais suportam adicionalmente protocolos de controlo de erro que, operando extremo-a-extremo, duplicam algumas funções da rede.

Para ultrapassar estas dificuldades, e aproveitando a evolução tecnológica no sentido de redes mais fiáveis e com menores erros, surgiram mais tarde as redes *Frame Relay*, que retiraram muita da complexidade e redundância existente nas redes X.25: não é suportado controlo de fluxo nem correção de pacotes perdidos. Foi durante um certo tempo uma opção atrativa que competiu com linhas dedicadas e com as próprias redes X.25.

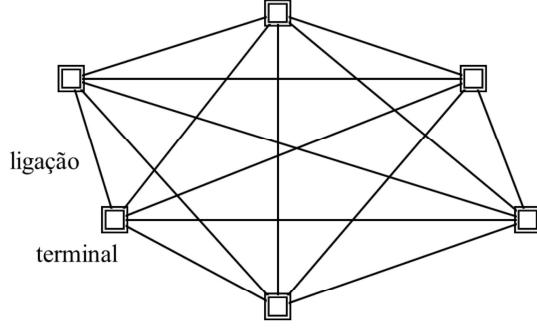
Na rede de banda larga ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) optou-se igualmente por uma versão muito simplificada de transferência em modo de pacote: não é suportado controlo de fluxo nem correção de pacotes perdidos, adotando-se ainda pacotes de comprimento fixo (células) para permitir a operação a grande velocidade.

A utilização de **IP sobre Ethernet** veio a impor-se como a **opção dominante em todos os tipos de rede**, num cenário de convergência, tornando obsoletas as tecnologias anteriormente referidas.

Topologia com interligação total

Características

- um par de terminais e um circuito dedicado por cada possível ligação
- comutação local em cada utilizador
- alimentação local de cada terminal (bateria local)



Topologia com interligação total de terminais

Análise crítica

- Eficiência baixa
 - muitos pares de utilizadores provavelmente nunca comunicarão entre si
- Crescimento incompatível
 - a introdução de um novo utilizador ($N+1$) iria requerer uma ligação a todos os outros (N)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Uma vez que a **rede fixa de telecomunicações** resultou do desenvolvimento da **rede telefónica**, é natural que tenha igualmente herdado a sua topologia.

Desde a sua criação, as redes telefónicas foram estruturadas de várias formas:

- rede com **interligação total**;
- rede em **estrela**;
- rede **hierárquica**.

A primeira solução tem apenas interesse histórico, pois foi a utilizada nos primórdios da telefonia.

Quando é utilizada a interligação total entre N utilizadores, são necessários:

- $N(N-1)/2$ circuitos;
- $N(N-1)$ pontos de cruzamento.

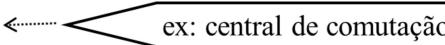
Cada novo utilizador obriga à instalação de N circuitos que deverão ser ligados a cada comutador local, obrigando à sua substituição se tiver sido excedida a sua capacidade.

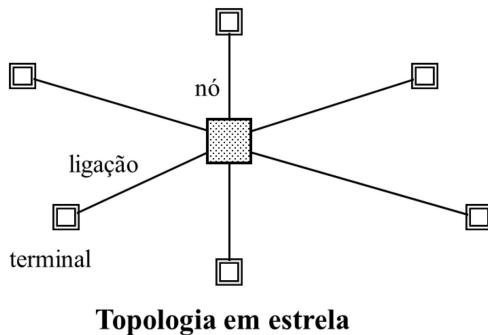
Os recursos necessários são assim elevados e a expansão é complexa.

Arquitetura da rede

Topologia em estrela

Características

- um único terminal e uma única ligação por cada utilizador
- um nó de comutação para todos os utilizadores  ex: central de comutação
 - efetua ligações temporárias entre terminais
 - troca informação de controlo (sinalização) com os terminais
- alimentação de todos os terminais a partir da central (bateria central)



Análise crítica

- Eficiência superior
 - cada ligação tem agora uma ocupação aceitável
- Crescimento suave com limitações
 - introdução de um novo utilizador requer apenas uma ligação ao nó de comutação
 - único nó de comutação só é viável em áreas geográficas reduzidas

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Na **rede em estrela** são introduzidos **nós de comutação** para aumentar a **eficiência** e facilitar o **crescimento**.

Neste caso, para N utilizadores, são necessários:

- N circuitos;
- N^2 pontos de cruzamento, ou menos, como veremos mais tarde, tendo em conta que nem todas as ligações se fazem simultaneamente.

A inclusão de um novo utilizador obriga à instalação de apenas uma linha que deverá ser ligada ao comutador, o qual terá que ser expandido se tiver sido excedida a sua capacidade.

Globalmente, é uma topologia mais rentável e com crescimento mais suave. A ocupação de cada ligação corresponde à ocupação do utilizador, isto é, tipicamente entre 10% e 20% nos períodos de maior tráfego. Contudo, esta topologia só é aplicável a redes de reduzida dimensão geográfica.

Poderão referir-se ainda as seguintes características suplementares:

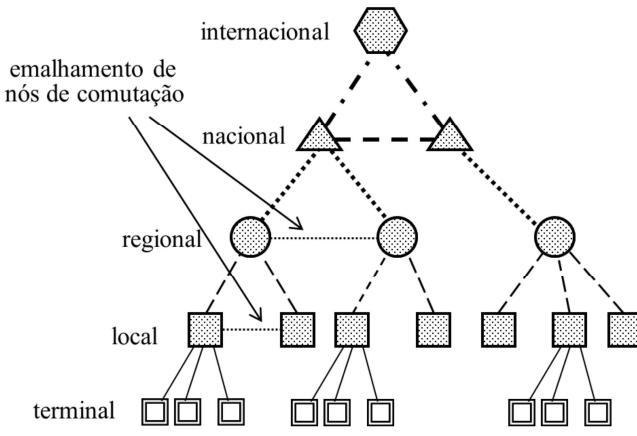
- é necessário trocar informações entre o terminal e a central (sinalização);
- permite o **controlo e manutenção centralizados da rede**.

Topologia hierárquica

solução clássica da rede fixa telefónica nacional

Características

- introduz vários níveis de comutação
- Central local → Central regional → Central nacional → Central internacional
- permite elevado número de utilizadores com grande **dispersão geográfica**



Análise crítica

- **Eficiência maximizada**
 - densidade de nós dependente da concentração de utilizadores
 - nós e ligações optimizados para o tráfego que suportam
 - possibilidade de emalhamento, proporcionando maior eficiência e fiabilidade
- **Crescimento suave**
 - a introdução de um novo utilizador requerer apenas uma ligação a um nó próximo
 - ligações entre nós e capacidade destes cresce em função do aumento de tráfego

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A **interligação** entre utilizadores nas redes telefónicas clássicas faz-se através de uma **central de comutação**, numa topologia em estrela. Contudo, numa rede desenvolvida geograficamente dispersa, é impensável ter-se todos os assinantes ligados a uma única central. Para contornar este problema, constituem-se as chamadas **redes locais**, isto é, grupos de assinantes numa dada área geográfica, ligados à respectiva **central local**.

Poder-se-á agora equacionar como se fará a interconexão entre centrais locais: a solução óbvia é recorrer a uma central de nível superior, tal como a ligação de utilizadores se faz através de uma central local. Constitui-se assim a chamada rede de interligação regional, constituída por centrais de trânsito regional (centrais primárias) e por ligações (junções) às centrais locais. O nível seguinte é a rede de interligação nacional ou rede interurbana, constituída por centrais de trânsito nacional (centrais secundárias) e por ligações às centrais de trânsito regional e outras centrais de trânsito nacional. Acima deste nível, existirá ainda a rede internacional e correspondentes centrais internacionais.

Resultou, assim, uma **rede hierárquica** de vários níveis com nós e interligações dimensionados para proporcionar uma elevada eficiência. Por exemplo, é possível obter ocupações nas ligações da ordem de 70% por cada canal, nos períodos de maior tráfego.

Posteriormente, os sistemas digitais usados nas redes de comunicação permitiram suportar técnicas avançadas de gestão de rede, que, por sua vez, possibilitaram a exploração eficiente de redes emalhadas – por vezes, o tráfego entre duas centrais do mesmo nível hierárquico é suficientemente intenso para justificar uma ligação direta entre as centrais, sem recorrer a uma central de nível superior.

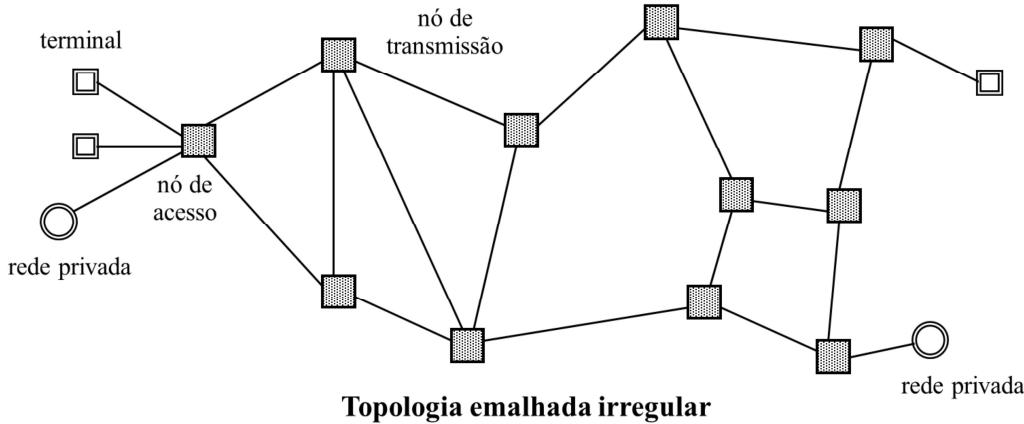
Além disso, ao criar malhas, se ocorrer uma situação de sobrecarga numa dada ligação, as novas chamadas podem ser desviadas para outros ramos das malhas existentes.

Por outro lado, qualquer eventual falha num sistema pode ser contornada transferindo imediatamente o **tráfego para ligações alternativas**.

Topologia emalhada

Características

- avanços nas tecnologias de transmissão conduziram a redes de tal forma emalhadas que se dilui a topologia originalmente hierárquica
- novos operadores que entram no mercado não têm a herança da rede telefónica – estruturam as redes tendo em conta os requisitos de tráfego presentes e futuros



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

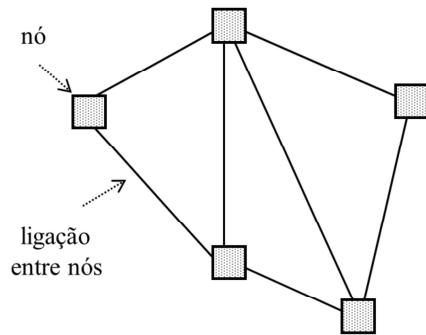
A interligação em redes de grandes dimensões exige encaminhar tráfego muito variável, entre as diversas regiões geográficas. As topologias de rede emalhadas, de forma irregular, são as mais eficientes, tendo em conta os encaminhamentos que é necessário assegurar, e respetivas quantidades de tráfego previstas.

Por outro lado, há que ter em conta que a rede fixa passou a suportar cada vez mais tráfego de dados, até ao limite que é a realidade dos dias de hoje em que os **serviços clássicos que eram suportados em modo circuito passaram a ser suportados em modo pacote**. Os nós das redes de dados (encaminhadores ou *routers*) organizam-se em topologias emalhadas, pelo que as redes de transporte tendem a seguir os requisitos de interligação do tráfego que transportam, evitando nós intermédios excessivos.

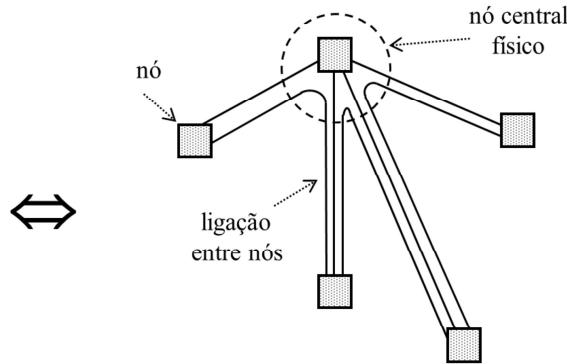
Topologia emalhada

Topologia lógica e física

- a topologia lógica e a topologia física não têm que ser idênticas
- a topologia física em árvore é dominante
- é possível adaptar diversos tipos de topologia lógicas à topologia física em estrela



Rede com topologia lógica emalhada



Rede com topologia lógica emalhada e topologia física em estrela

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A **topologia física** corresponde à organização do meios físicos de transmissão.

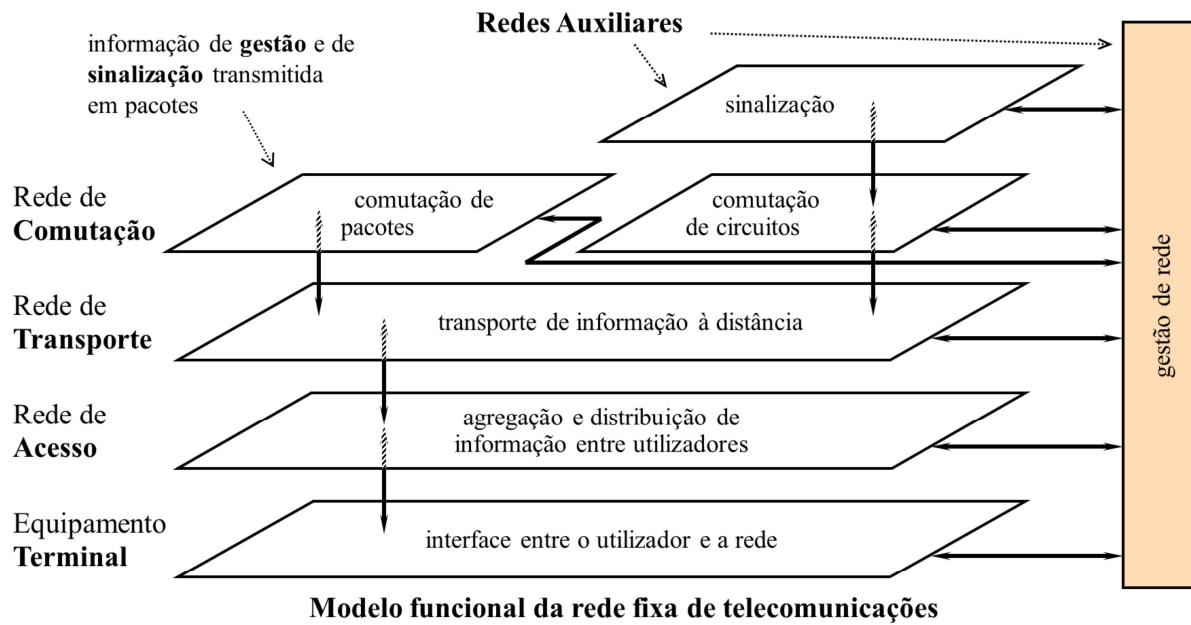
Por outro lado, a **topologia lógica** refere-se à organização das ligações entre os nós de comutação.

Com a topologia física em estrela, a soma total dos comprimentos das ligações físicas é superior à que se encontraria se topologia física correspondesse diretamente à topologia lógica. Contudo, como várias ligações partilham caminhos comuns, o indicador mais relevante é a **soma total de caminhos físicos** que, como se pode observar, é **menor com a topologia física em estrela**.

Arquitetura da rede

Modelo de camadas

- cada camada corresponde a uma área funcional da rede



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Cada camada da rede fixa de telecomunicações está associada a uma área funcional, corresponde a um conjunto de funções comuns desempenhadas pelos subsistemas da rede.

As redes de **acesso**, **transporte** e **comutação** fornecem a **capacidade básica de transferência da informação** entre equipamentos terminais.

A **sinalização** assegura funções complementares de **controlo de conexões**, enquanto **gestão de rede** constitui uma **camada transversal** que permite **operar, administrar e manter** a rede de forma adequada. Nas **redes de comutação de circuitos**, esta informação é transportada numa **rede auxiliar de dados**, enquanto nas **redes de comutação de pacotes**, é transportada em pacotes **em conjunto com o restante tráfego de utilizador**, não existindo, por isso, uma rede autónoma para este fim.

A sincronização é uma funcionalidade apenas necessária nas redes de comutação de circuitos, em cujos comutadores é necessário assegurar o sincronismo entre todas as ligações.

Na secção seguinte, faremos uma breve descrição de cada uma destas áreas, enumerando as principais funções e analisando os principais sistemas constituintes.

Áreas funcionais da rede

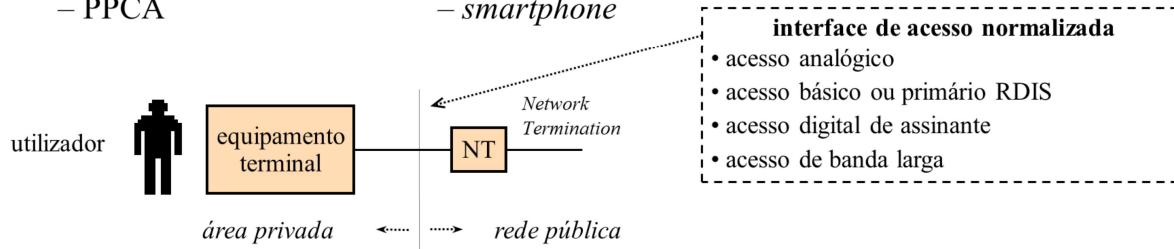
Equipamento terminal

Funções

- **conversão** entre sinais elétricos e o formato perceptível pela pessoa ou máquina
- **processamento local** dos sinais para transmissão
- **estabelecimento e libertação** de ligações

Sistemas constituintes (exemplos)

- telefone
- telefax
- PPCA
- computador pessoal
- servidor
- smartphone



Ligação de equipamento terminal à rede

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

O **equipamento terminal** é normalmente **propriedade** ou **alugado pelo utilizador**, acedendo à rede através de uma interface normalizada. Esta interface é disponibilizada pelo operador da rede através de um dispositivo denominado Terminação de Rede (NT – *Network Termination*).

Durante várias décadas, a única interface disponível foi de tipo analógico, correspondente ao serviço telefónico convencional (POTS, *Plain Old Telephone Service*). A transmissão de dados era possível com recurso a modems.

Posteriormente, passaram a ser disponibilizados acessos RDIS (Rede Digital com Integração de Serviços), levando a rede digital até ao próprio utilizador. Foram definidos dois tipos de acesso:

- **acesso básico** (2B+D): dois canais B a 64 kbit/s e um canal D de dados/sinalização a 16 kbit/s; débito total de 192 kbit/s (inclui um canal de sincronização e controlo);
- **acesso primário** (30B+D): trinta canais B a 64 kbit/s e um canal D de dados/sinalização a 64 kbit/s; débito total de 2 048 kbit/s (inclui um canal de sincronização e controlo).

Os **acessos digitais** suportam débitos úteis múltiplos de 64 kbit/s até cerca de 2 Mbit/s (simétricos), ou superiores no sentido descendente (até 24 Mbit/s), permitindo suportar aplicações de :

- ligação à central local de PPCAs (Postos Privados de Comutação Automática) digitais;
- interligação de redes privativas (PPCAs, redes locais) e ligação de terminais a CPUs;
- acesso a ISPs (*Internet Service Providers*);
- acesso a redes públicas de dados;
- outras aplicações de voz, dados e imagem.

Atualmente, já é possível disponibilizar **acessos por fibra ótica a utilizadores empresariais**, com débitos simétricos ou assimétricos de dezenas a centenas de Mbit/s, ou mesmo Gbit/s. Por sua vez, os **utilizadores residenciais** já poderão usufruir de **acessos por fibra ótica**, com débitos típicos da ordem das dezenas a centenas de Mbit/s.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Funções

- ligação física entre terminais de assinante e nós de comutação locais
- interligação entre redes privadas de assinante e nós de comutação locais
- concentração de linhas

Sistemas constituintes (exemplos)

- fios nus aéreos
 - cabos de pares simétricos
 - cabos de fibra ótica
 - cabos coaxiais
 - ligações fixas sem fios (por radiocomunicações)
 - pontos de distribuição local (ativos ou passivos)
-
- The diagram illustrates the components of an access system. On the left, a vertical list of components is shown: fios nus aéreos, cabos de pares simétricos, cabos de fibra ótica, cabos coaxiais, ligações fixas sem fios (por radiocomunicações), and pontos de distribuição local (ativos ou passivos). Dotted arrows point from each item to two graphical representations on the right. The top representation shows a grey arrowhead pointing to a light-grey rectangular box labeled 'lacete de assinante'. The bottom representation shows a grey arrowhead pointing to another light-grey rectangular box labeled 'geralmente em condutas'.

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A **rede local de acesso** agrupa e distribui o tráfego entre os terminais de assinante e os nós de comutação locais.

Apesar da distância de cada utilizador ao nó de comutação local ser, em média, de poucos quilómetros, a grande dispersão de utilizadores conduz a uma rede muito distribuída, com poucas possibilidades de partilha de recursos: há, por isso, um **grande número de ligações físicas com reduzida utilização**.

Este facto explica que a **maior parte do investimento da rede fixa de telecomunicações esteja precisamente na rede local de acesso**, envolvendo sobretudo **obras de construção civil, condutas e cabos**, ou, no caso dos sistemas via rádio, custos de equipamento elevados. Por isso, esta foi a área onde só mais recentemente passaram a intervir novos operadores, em concorrência com o operador incumbente da rede básica.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Tipos de acesso e respetivos suportes físicos

Tipo de acesso Suporte físico	Acesso analógico (POTS)	Acesso RDIS	Acesso digital de assinante (DSL, FWA, FTTH, ...)	Acesso digital de muito alto débito (DSL, FWA, PDH, SDH, Ethernet, ...)
Pares de cobre	Voz analógica	160 kbit/s 2 048 kbit/s	192 a 2 320 kbit/s (simétrico) 1,5 a 24 Mbit/s (assimétrico)	25 a 50 Mbit/s
Ligações rádio			64 a 2 048 kbit/s 2 a 8 Mbit/s	25 a 50 Mbit/s
Fibras ópticas			até 400 Mbit/s	34 Mbit/s $n \times 155$ Mbit/s 1 Gbit/s (partilhado)
Cabos coaxiais				2 a 50 Mbit/s (por canal; partilhado)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A tabela fornece uma panorâmica da variedade de alternativas de **acesso de assinante**.

Referem-se as soluções clássicas de voz utilizadas em redes **análogicas**, bem como ligações **digitais** que usam diferentes tecnologias, algumas em uso há várias décadas, outras introduzidas mais recentemente.

Acesso RDIS:

- inclui os acessos básico e primário já mencionados anteriormente.

Acesso digital de assinante:

- as ligações de 64 a 2048 kbit/s ($p \times 64$ kbit/s) foram usadas durante vários anos, mas estão a cair em desuso;
- mais recentemente foram introduzidas novas técnicas de transmissão digital sobre pares simétricos (DSL, *Digital Subscriber Line*), que permitem atingir distâncias razoáveis sem repetidores e débitos de transmissão significativos – 192 a 2 320 kbit/s na opção simétrica (SHDSL, *Single-pair High-speed Digital Subscriber Line*); de 1,5 a 24 Mbit/s de débito descendente na opção assimétrica (ADSL, *Asynchronous Digital Subscriber Line*);
- o acesso fixo de rádio (FWA, *Fixed Wireless Access*) suporta-se em micro-ondas, permitindo aplicações de baixo débito (64 a 2 048 kbit/s) e de alto débito (por exemplo, entre 2 e 8 Mbit/s). Atualmente, acessos deste tipo usando as tecnologias LTE e 5G são também possíveis.

Acesso digital de muito alto débito:

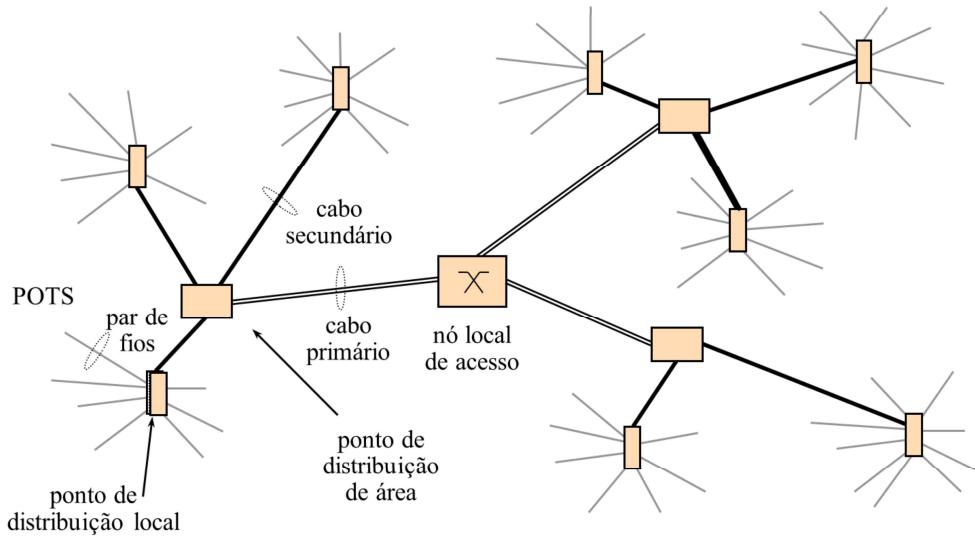
- uma alternativa comum consiste em levar os serviços em fibra até próximo do assinante e, a partir desse ponto disponibilizar acessos mais económicos em pares de cobre (usando técnicas DSL), por cabo coaxial (norma DOCSIS – Data Over Cable Service Interface Specification) ou excepcionalmente via rádio;
- mais recentemente, no âmbito das chamadas Redes de Nova Geração, começou a ser viável a utilização de fibras ópticas até ao assinante (FTTH – Fiber To The Home), permitindo débitos muito elevados sobre acessos Gigabit Ethernet, embora cada acesso seja partilhado por vários

utilizadores.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Acesso telefónico analógico



Rede local de acesso de assinante: ligações analógicas por pares simétricos

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A rede de acesso da rede telefónica convencional é constituída exclusivamente por **pares simétricos**.

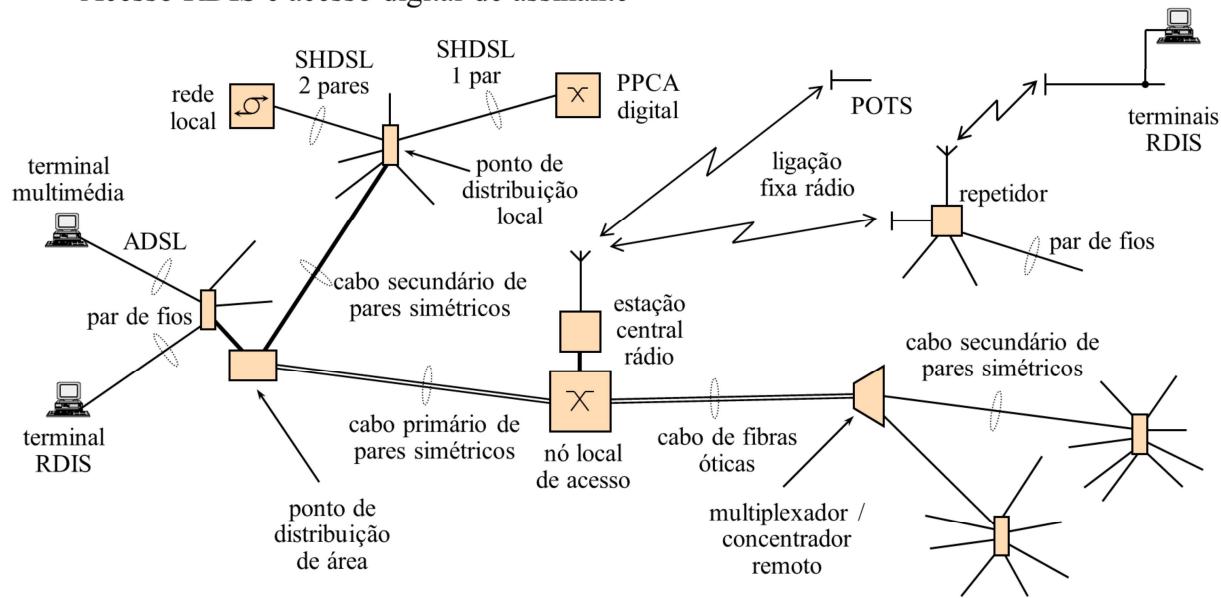
As redes urbanas são de tipo arborescente, com ramos constituídos por cabos que agrupam um número elevado de pares entre a central e pontos de distribuição de área, e cabos de menor capacidade entre estes e pontos de distribuição locais.

A ligação entre os pontos de distribuição locais e a tomada do equipamento de assinante faz-se muitas vezes por **linha aérea nas fachadas dos prédios**, sendo, no entanto, utilizadas **condutas em instalações mais recentes**.

Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Acesso RDIS e acesso digital de assinante



Rede local de acesso de assinante: ligações digitais sobrepostas a ligações analógicas

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A introdução de **sistemas digitais na rede de acesso** permitiu, entre outras vantagens, **rentabilizar meios e oferecer serviços digitais aos assinantes**.

Assim, a ligação de PPCAs digitais às centrais públicas digitais passou a fazer-se sobre ligações a 2 Mbit/s (mais exatamente 2 048 kbit/s), correspondentes a 32 canais a 64 kbit/s, dos quais 30 destinados a comunicações entre utilizadores, um canal de sinalização e um canal de sincronização e controlo. O utilizador pode subscrever a totalidade dos 30 canais disponíveis ou uma parte deles (por exemplo, 15 canais).

Noutras aplicações de comunicação de dados recorria-se igualmente a circuitos digitais com débitos entre os 64 kbit/s e os 2 Mbit/s, com possibilidade de aumentar este último limite utilizando as técnicas DSL.

Por outro lado, **sistemas de multiplexagem** e transmissão digital **substituíram gradualmente os cabos de maior capacidade** na ligação da **central local** a **pontos de distribuição** da rede local, mantendo-se contudo o troço final do lacete local em cobre. Numa primeira fase, os pares simétricos suportaram diretamente sistemas a 2 Mbit/s: com a multiplexagem temporal, 30 assinantes que requeriam 30 pares passaram a utilizar apenas 2 pares (um para cada sentido da transmissão digital). Estes sistemas foram progressivamente substituídos por ligações em fibra ótica.

A RDIS estendeu, pela primeira vez, a fronteira digital a todos os assinantes, permitindo ligar diretamente equipamentos digitais sem ter de recorrer a modems.

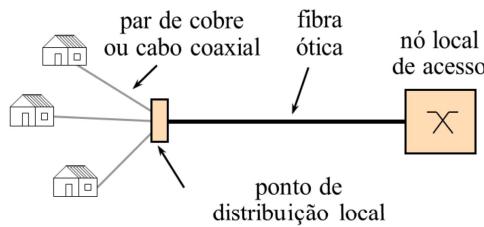
Os acessos fixos via rádio foram igualmente introduzidos em certas situações particulares, uma vez que proporcionam ligações sem recorrer a trabalhos morosos e dispendiosos de instalação de cablagem.

Áreas funcionais da rede

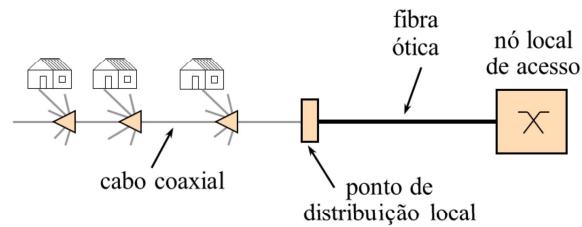
Rede de acesso

Acesso digital de muito alto débito

- fibra até ao ponto de distribuição local (FTTC, *Fibre To The Curb*)
- híbrido fibra-coaxial (HFC, *Hybrid Fiber Coax*)



Fibra até ao ponto de distribuição local (FTTC)



Híbrido fibra-coaxial (HFC)

Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

Os serviços de televisão digital e de acesso à Internet e de comunicação de dados no âmbito empresarial exigem débitos elevados, sendo indispensável disponibilizar sistemas de transmissão óticos pelo menos numa parte da ligação de assinante.

A alternativa FTTC foi a primeira a ser introduzida por ser mais económica, uma vez que a fibra chega apenas ao ponto de distribuição local. A partir desse ponto é utilizada uma configuração em estrela em cabo coaxial ou pares simétricos. O cabo dispõe de uma grande largura de banda e é relativamente imune a interferências, pela acção de blindagem do condutor exterior. No caso dos pares de cobre, são igualmente possíveis débitos relativamente elevados, da ordem de vários Mbit/s, na medida em que a distância do terminal ao ponto de distribuição local é possivelmente da ordem dos 100 m, em contraste com os 3 km ou mais, típicos do lacete local completo (do assinante à central local). No entanto, a distorção linear na banda utilizável é elevada e as interferências são inevitáveis, por não existir blindagem, o que contribui para que os emissores/receptores sejam mais complexos do que no caso do cabo coaxial.

A configuração HFC é a mais utilizada nas redes de difusão de TV por cabo (CATV), em que um cabo coaxial constitui um meio partilhado que permite uma configuração de comunicação ponto a multiponto. Ao longo do cabo vão sendo colocados amplificadores que permitem a distribuição aos assinantes com um bom isolamento. Nas redes actuais já são oferecidos serviços interactivos de dados (por exemplo, acesso à Internet) e mesmo telefónicos, em concorrência com os operadores convencionais. No entanto, no caso da configuração HFC, é mais difícil suportar o canal de retorno, sendo necessário adoptar um protocolo de acesso adequado (norma EuroDOCSIS).

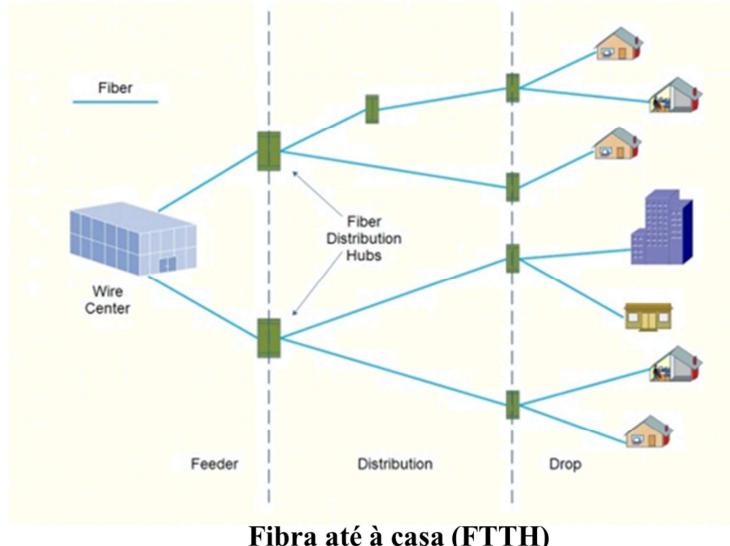
Áreas funcionais da rede

Rede de acesso

Acesso digital de muito alto débito

- fibra até à casa (FTTH, *Fibre To The Home*)

Redes de Nova Geração



Sistemas de Telecomunicações

Rede Fixa de Telecomunicações

A solução **FTTH** é atualmente a privilegiada para as Redes de Nova Geração, uma vez que a evolução tecnológica permitiu o aparecimento de soluções a custos aceitáveis.

Esta abordagem baseia-se na arquitetura GPON – Gigabit Passive Optical Network, em que se utilizam divisores ópticos passivos ao longo do percurso até aos assinantes. Os únicos elementos ativos são o OLT (*Optical Line Terminal*) na central e, o ONU (*Optical Network Unit*) no assinante. Cada OLT liga-se a uma fibra que se subdivide de forma a permitir o acesso de 16 a 64 assinantes – o débito de 1 Gbit/s (ou superior) por OLT é assim partilhado pelos n utilizadores a ele ligados.