



Modulação Digital

Multiplexação

Comutação

Professor
Wagner Gadêa Lorenz
wagnerglorenz@gmail.com

Disciplina: Redes de Computadores I
Curso de Sistemas de Informação

Introdução

Vamos estudar as **propriedades** dos canais com e sem fio, voltando nossa atenção para o problema de **enviar informações digitais**.

Os canais sem fio e com fio transportam **sinais analógicos**, com **tensão variando continuamente**, a intensidade da luz ou a intensidade de som.

Para enviar informações digitais, temos de **criar sinais digitais** para representar os **bits**.

Introdução

O processo de conversão entre bits e sinais que os representam é chamado **modulação digital**.

Vamos iniciar com esquemas que convertam diretamente os bits em um sinal. Esses esquemas resultam em **transmissão de banda base**, em que um sinal ocupa frequências de zero até um máximo que depende da taxa de sinalização. Ele é comum para fios.

Depois, vamos considerar os esquemas que regulam a amplitude, a fase ou a frequência de um sinal da portadora para transportar bits. Esses esquemas resultam em **transmissão de banda passante**, em que o sinal ocupa banda de frequência em torno da frequência do sinal da portadora. Isso é comum para canais sem fio e ópticos, para os quais os sinais devem residir em uma determinada banda de frequência.

Introdução

Os canais normalmente são compartilhados por vários sinais. Afinal, é muito mais conveniente usar um único fio para transportar vários sinais do que instalar um fio para cada sinal.

Esse tipo de compartilhamento é chamado **multiplexação**. Ele pode ser realizado de diversas maneiras. Veremos os métodos de multiplexação por divisão de tempo, frequência e código.

Transmissão em Banda Base

A forma mais simples de modulação digital é usar uma tensão positiva para representar 1 e uma tensão negativa para representar 0.

Para uma fibra óptica, a presença de luz poderia representar 1 e a ausência de luz, 0.

Esse esquema é chamado **NRZ (Non-Return-to-Zero)**.

Esse nome esquisito tem motivos históricos, e significa simplesmente o sinal acompanha os dados.

Transmissão em Banda Base

(a) Fluxo de bits

(b) NRZ (Non-Return-to-Zero)

(c) NRZ inverso (NRZI)

(d) Manchester

(Clock com XOR nos bits)

(e) Codificação bipolar
(também Alternate Mark
Inversion, AMI)

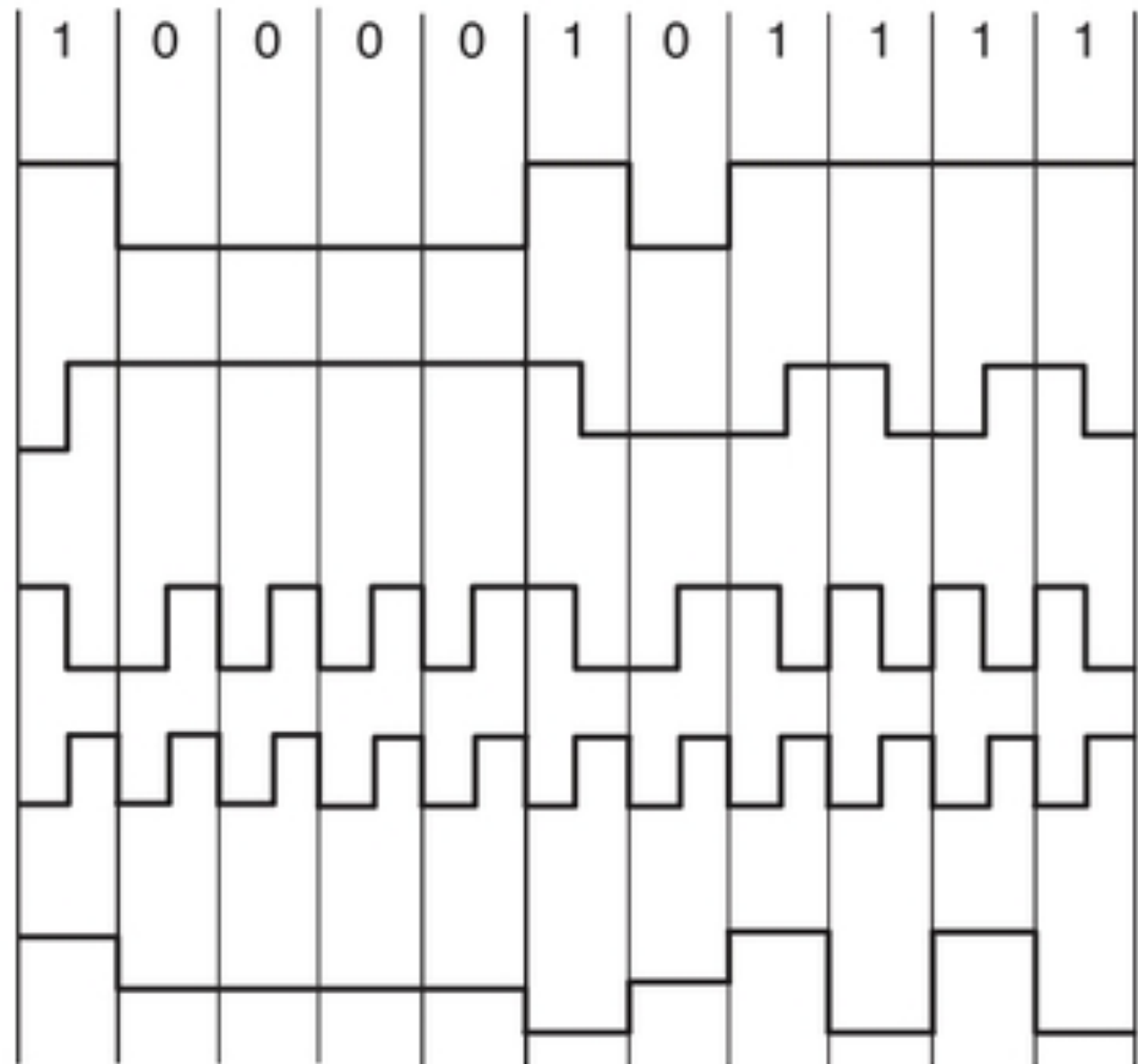


Figura 1. Códigos de linha: (a) Bits, (b) NRZ, (c) NRZI, (d) Manchester, (e) Bipolar or AMI.

Transmissão em Banda Base

Uma vez enviado, o sinal do NRZ se **propaga pelo fio**. Na outra ponta, o **receptor o converte para bits** fazendo a **amostragem do sinal em intervalos de tempo regulares**.

Esse sinal **não** ficará exatamente como o **enviado**. Ele será atenuado e distorcido pelo canal e pelo ruído no receptor.

Para **decodificar os bits**, o receptor mapeia as amostras de sinal para os símbolos mais próximos.

Para o NRZ, uma **tensão positiva** será considerada para indicar que foi **enviado um bit 1**, e uma **tensão negativa** será considerada como indicação de que foi **enviado um bit 0**.

Transmissão em Banda Base

O NRZ é um bom ponto de partida para nosso estudo, por é simples, mas na prática raramente é usado por si só.

Esquemas mais complexos podem converter bits em sinais, os quais atendem melhor às considerações da engenharia.

Transmissão em Banda Passante

Em geral, queremos usar uma faixa de frequências que não começa com zero para enviar informações por um canal.

Para canais sem fio, não é prático enviar sinais de frequência muito baixos, pois o tamanho da antena precisa ser uma fração do comprimento da onda do sinal, que se torna grande.

De qualquer forma, restrições da regulamentação e a necessidade de evitar interferência normalmente ditam a escolha de frequências.

Até mesmo para fios, colocar um sinal em determinada banda de frequência é útil para permitir diferentes tipos de sinais coexistam no canal.

Esse tipo de transmissão é chamado de transmissão de banda passante, pois uma banda de frequência arbitrária é usada para passar o sinal.

Transmissão em Banda Passante

Os valores de frequência absoluta não importam para a capacidade.

Isso significa que podemos apanhar um sinal de **banda base**, que ocupa de 0 a B Hz, e deslocá-lo para cima para ocupar uma **banda passante** de S a $S+B$ Hz sem mudar a quantidade de informação que ele pode transportar, embora o sinal tenha aparência diferente.

Para processar um sinal no receptor, podemos deslocá-lo de volta para a banda base, onde é mais conveniente detectar símbolos.

Transmissão em Banda Passante

A transmissão digital é realizada com a transmissão da banda passante regulando ou modulando um sinal de portadora sobreposta à banda passante.

Podemos modular a amplitude, a frequência ou a fase do sinal da portadora.

Cada um desses métodos tem um nome correspondente.

Transmissão em Banda Passante

No **ASK** (***A**mplitude **S**hift **K**eying*), duas amplitudes diferentes são usadas para representar 0 e 1. Um exemplo com um nível diferente de zero e outro zero aparece na Figura 2 (b).

Mais de dois níveis podem ser usados para representar mais símbolos.

Transmissão em Banda Passante

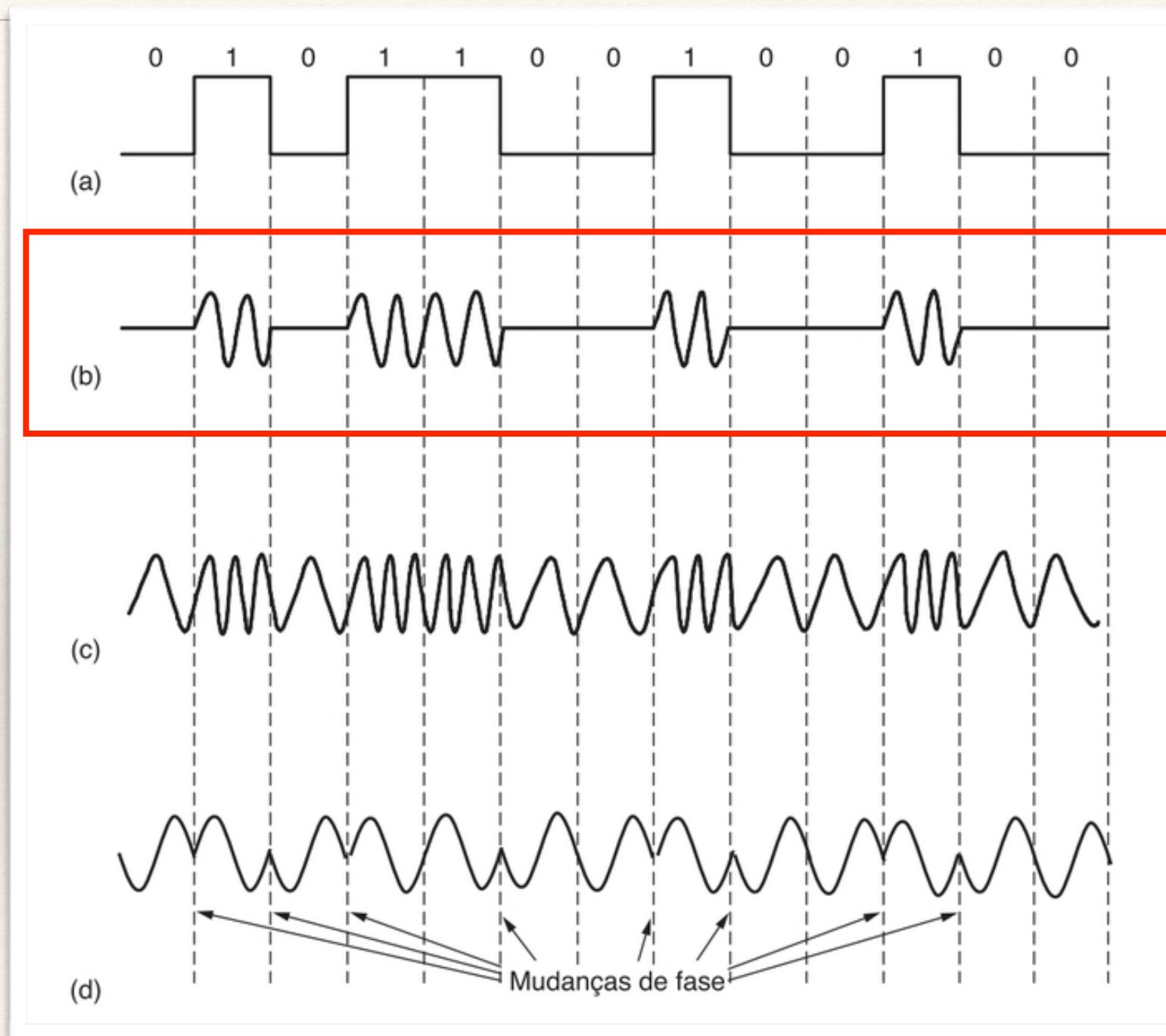


Figura 2. (a) sinal binário. (b) chaveamento por deslocamento de amplitude. (c) chaveamento por deslocamento de frequência. (d) chaveamento por deslocamento de fase.

Transmissão em Banda Passante

De modo semelhante, com o chaveamento por deslocamento de frequência, ou **FSK** (***Frequency Shift Keying***), dois ou mais tons diferentes são usados. Exemplo na Figura 2 (c) usa apenas duas frequências.

Transmissão em Banda Passante

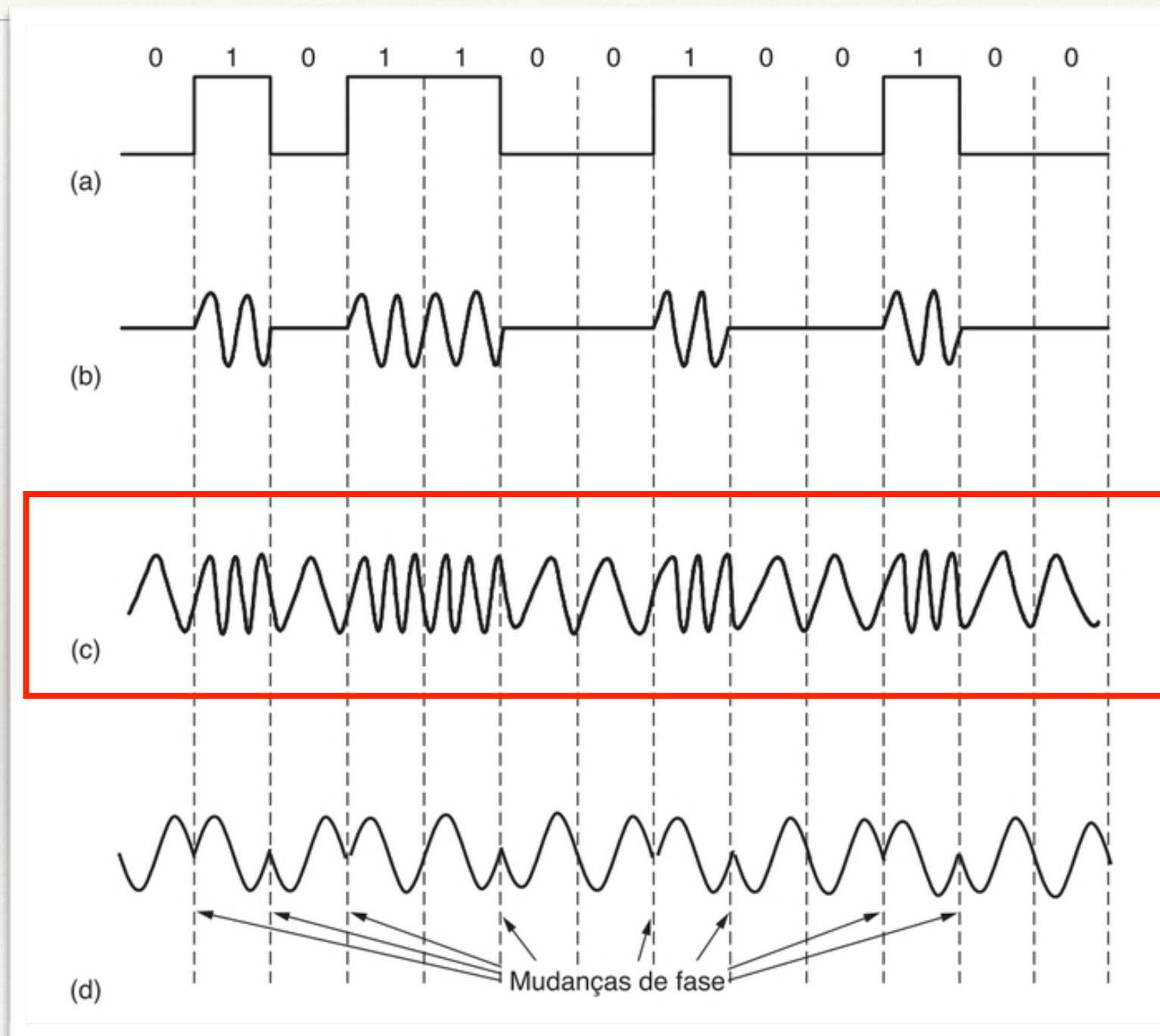


Figura 2. (a) sinal binário. (b) chaveamento por deslocamento de amplitude. (c) chaveamento por deslocamento de frequência. (d) chaveamento por deslocamento de fase.

Transmissão em Banda Passante

Na forma mais simples do chaveamento por deslocamento de fase, ou **PSK** (***Phase Shift Keying***), a onda da portadora é **sistematicamente deslocada em 0 ou 180 graus** em cada **período** de símbolo.

Como existe duas fases, ela é chamada **chaveamento binário por deslocamento de fase**, ou **BPSK** (***Binary Shift Keying***).

O chaveamento “binário”, nesse caso, refere-se aos dois símbolos, não que os símbolos representem dois bits. Um exemplo aparece na Figura 2(d).

Transmissão em Banda Passante

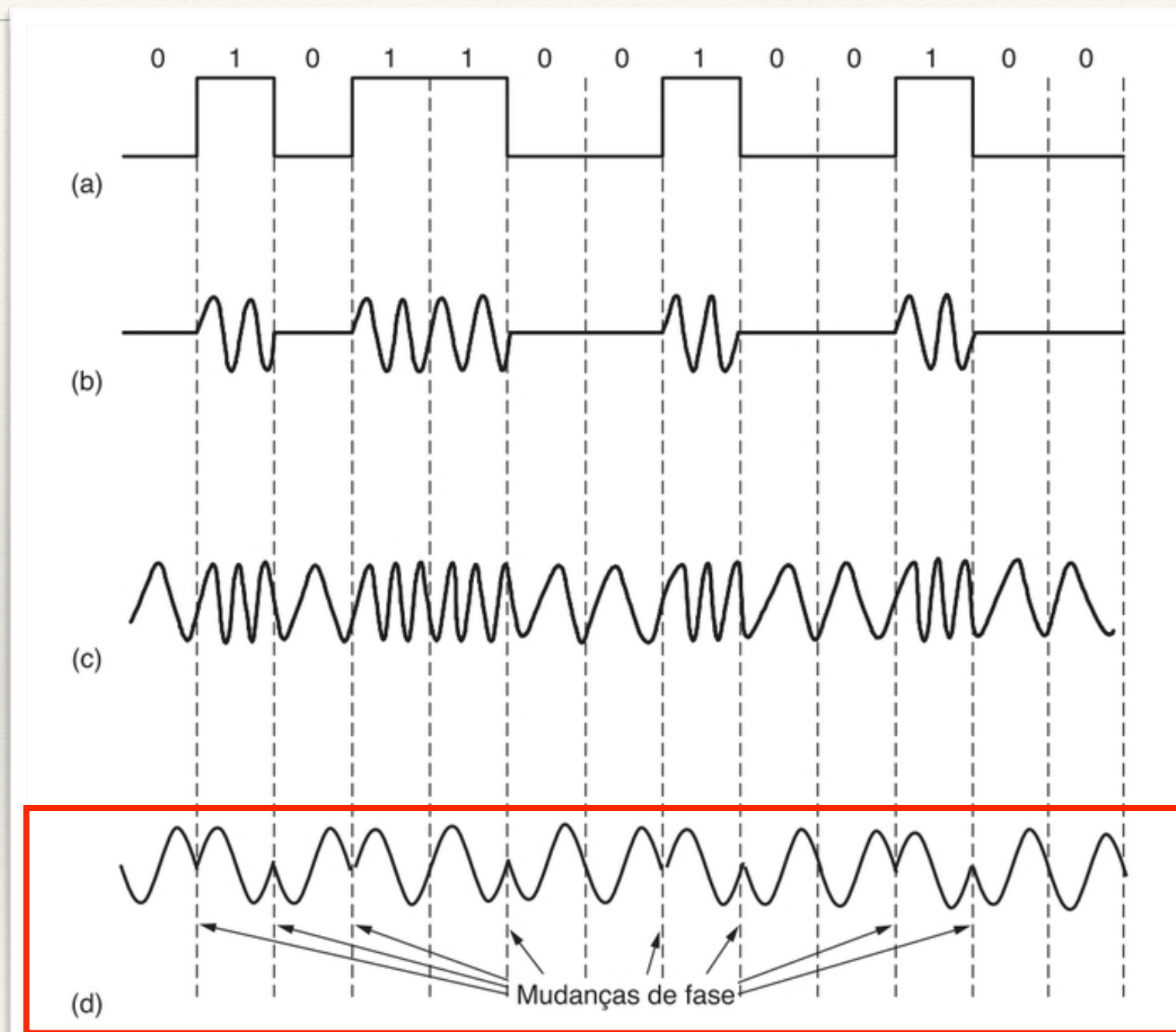


Figura 2. (a) sinal binário. (b) chaveamento por deslocamento de amplitude. (c) chaveamento por deslocamento de frequência. (d) chaveamento por deslocamento de fase.

Transmissão em Banda Passante

Um esquema melhor, que usa a largura de banda do canal de modo mais eficiente, é usar quatro deslocamentos, por exemplo, 45, 135, 225 ou 315 graus, para transmitir 2 bits de informação por símbolo.

Essa versão é chamada chaveamento por deslocamento de fase em quadratura, ou **QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)**.

Multiplexação

Os esquemas de modulação que vimos nos permitem enviar um sinal para transmitir bits por um enlace com ou sem fios.

Porém, as economias de escala desempenham um papel importante no modo como usamos as redes.

Custa basicamente o mesmo valor instalar e manter um linha de transmissão com uma largura de banda alta e uma linha com largura de banda baixa entre dois escritórios diferentes.

Consequentemente, esquemas de multiplexação têm sido desenvolvidos para compartilhar as linhas entre muitos sinais.

Multiplexação por Divisão de Frequência

A multiplexação por divisão de frequência, ou **FDM** (***Frequency Division Multiplexing***), tira proveito da transmissão de banda passante para compartilhar um canal.

Ela divide o espectro em bandas de frequências, com cada usuário tendo posse exclusiva de alguma banda para enviar seu sinal. A transmissão de rádio AM ilustra FDM.

O espectro alocado é cerca de 1 MHz, aproximadamente 500 a 1500 kHz. Diferentes frequências são alocadas a diferentes canais lógicos (estações), cada um operando em uma parte do espectro, com a separação entre canais grande o bastante para impedir interferência.

Multiplexação por Divisão de Frequência

Pode-se visualizar na Figura 3, um exemplo mais detalhado com três canais telefônicos de nível de voz que são **multiplexados** com o uso da **FDM**.

Os filtros limitam a largura da banda utilizável a cerca de 3.100 Hz por canal de qualidade de voz.

Quando muitos canais são multiplexados ao mesmo tempo, são alocados 4.000 Hz para cada canal. O excesso é chamado **banda de proteção**. Ele mantém os canais bem separados.

Multiplexação por Divisão de Frequência

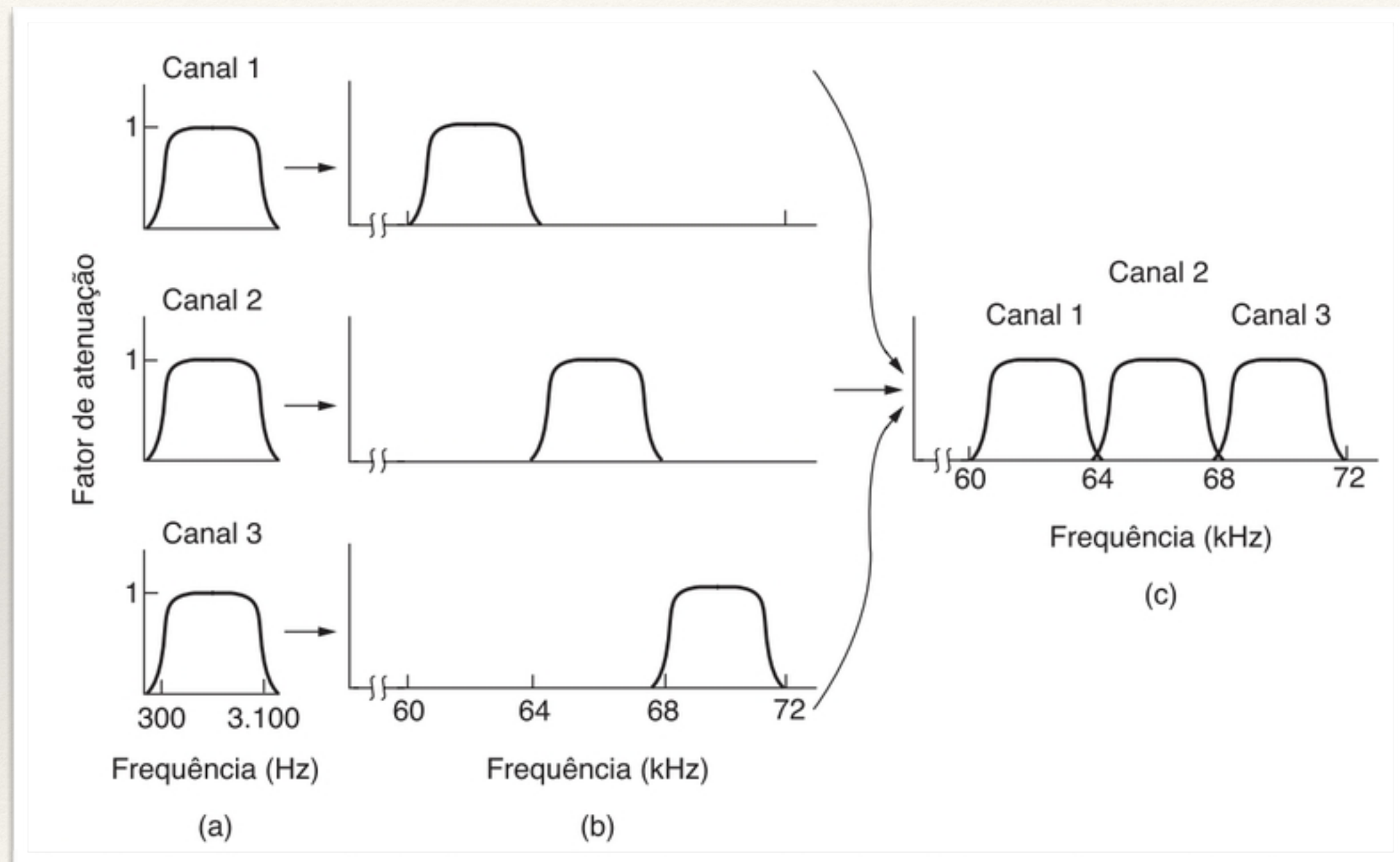


Figura 3. Multiplexação por divisão de frequência. (a) As larguras de banda originais. (b) As larguras de banda aumentaram em frequência. (c) O canal multiplexado.

Multiplexação por Divisão de Frequência

Ao enviar dados digitais, é possível dividir o espectro de modo eficiente sem usar bandas de proteção.

Na multiplexação ortogonal por divisão de frequência, ou **OFDM** (***Orthogonal Frequency Division Multiplexing***) a largura de banda do canal é dividida em muitas subportadoras que enviam dados independentemente.

As subportadoras compactam bastante o domínio de frequência, assim, os sinais de cada subportadora se estendem para as adjacentes.

Multiplexação por Divisão de Frequência

Como podemos observar na Figura 4, a resposta em frequência de cada subportadora é projetada de modo que seja zero no centro das subportadoras adjacentes.

As subportadoras podem, portanto, ser amostradas em suas frequências centrais sem interferência de seus vizinhos.

Para que isso funcione, um tempo de proteção é necessário para repetir uma parte dos sinais de símbolo no tempo, de modo que tenham a resposta de frequência desejada.

Multiplexação por Divisão de Frequência

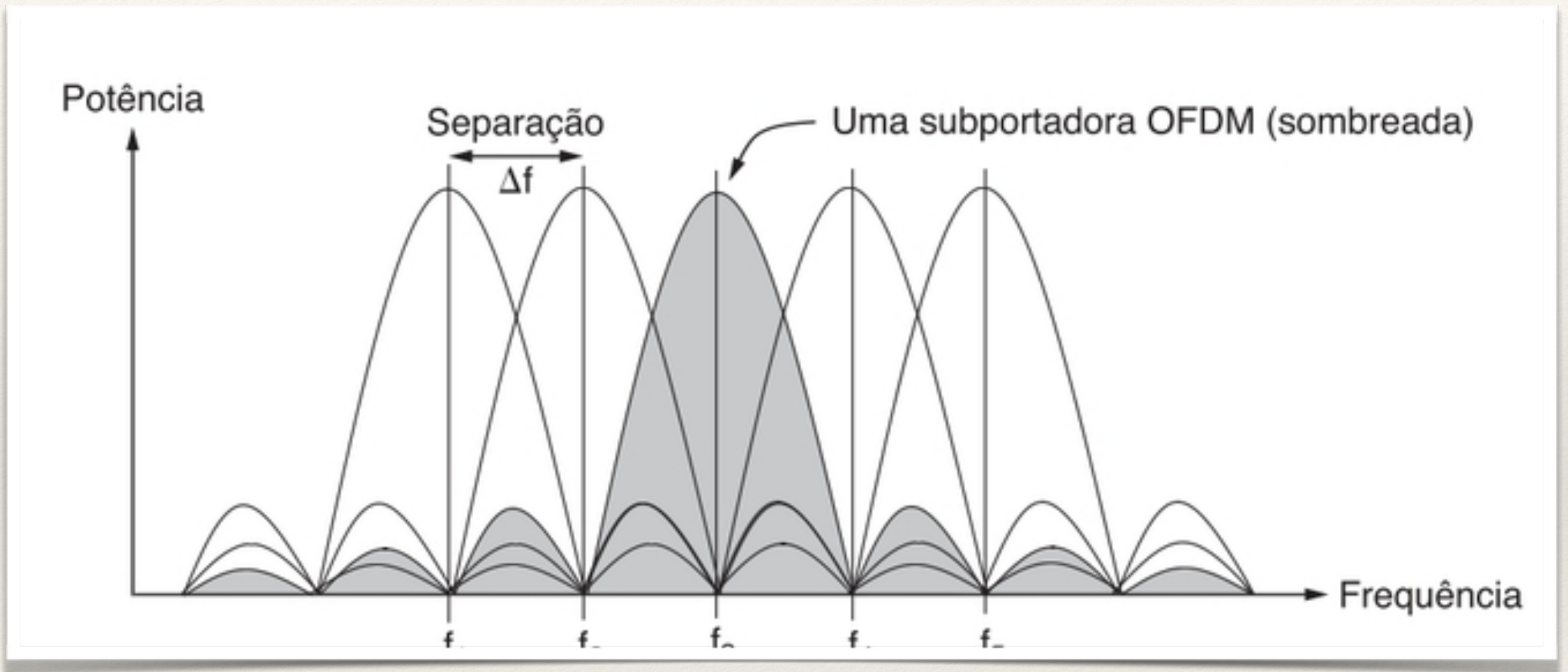


Figura 4. Multiplexação ortogonal por divisão de frequência (OFDM).

Multiplexação por Divisão de Frequência

A ideia da OFDM já existe há muito tempo, mas somente na última década ela foi amplamente adotada, seguindo a observação de que é possível implementar OFDM de modo eficiente em termos de uma transformada de Fourier dos dados digitais por todas as subportadoras (em vez de modular separadamente cada subportadora).

O OFDM é usada em 802.11, redes a cabo e redes por linha de energia elétrica, e é planejada para os sistemas de celulares de quarta geração.

Multiplexação por Divisão de Tempo

Uma alternativa a FDM é a multiplexação por divisão de tempo, ou **TDM** (***Time Division Multiplexing***).

Neste tipo, os usuários se alternam (em um padrão de rodízio), cada um periodicamente usando largura de banda inteira por um pequeno período de tempo.

Um exemplo de três fluxos sendo multiplexados com TDM aparece na Figura 5.

Os bits de cada fluxo de entrada são apanhados em um **slot de tempo** fixo e enviados para o fluxo agregado.

Esse fluxo trabalha em uma velocidade que é a soma das fluxos individuais. Para que isso funcione, os fluxos precisam estar sincronizados no tempo.

Pequenos intervalos de **tempo de proteção**, semelhantes à banda de proteção de frequência, podem ser acrescentados para acomodar pequenas variações de sincronização.

Multiplexação por Divisão de Tempo

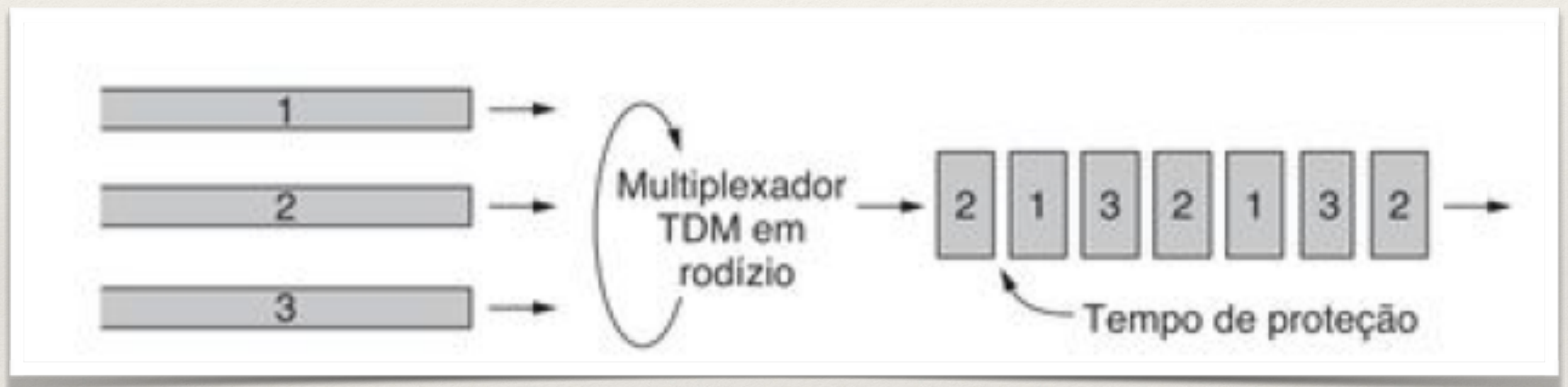


Figura 5. Multiplexação por divisão de tempo (TDM).

Multiplexação por Divisão de Código

Existe um terceiro tipo de multiplexação, que funciona de um modo completamente diferente da FDM e da TDM.

A multiplexação por divisão de código, ou **CDM** (**Code Division Multiplexing**) é uma forma de comunicação por **dispersão espectral**, na qual um sinal de banda estreita é espalhado por uma banda de frequência mais larga.

Isso pode torna-lá ainda mais tolerante às interferências, além de permitir que vários sinais de diferentes usuários compartilhem a mesma banda de frequência.

Multiplexação por Divisão de Código

Com a multiplexação por divisão de código é usada principalmente para essa última finalidade, ela é normalmente é chamada de **acesso múltiplo por divisão de código**, ou **CDMA** (***Code Division Multiple Access***).

Multiplexação por Divisão de Código

O **CDMA** permite que cada estação transmita por todo o espectro de frequência o tempo todo. Várias transmissões simultâneas são separadas usando a teoria da codificação.

Analogia

O saguão de um aeroporto com muitos pares de pessoas conversando.

Com a **TDM**, todas as pessoas estariam no meio do saguão, mas conversariam por turnos, um par de pessoas de cada vez.

Com o **FDM**, as pessoas formariam grupos bem separados, cada um mantendo sua própria conversação ao mesmo tempo, alguns com uma altura maior e outros com uma altura menor, de modo que cada par pudesse manter sua própria conversa ao mesmo tempo, mas ainda independentemente dos outros grupos.

Com **CDMA**, todas as pessoas estariam no meio do saguão falando ao mesmo tempo, mas cada par de pessoas conversando em um idioma diferente. O par que estivesse falando em francês só reconheceria esse idioma, rejeitando tudo que não fosse francês como ruído. Desse modo a chave do CDMA é a capacidade de extrair o sinal desejado e rejeitar todos os outros como ruído aleatório.

Comutação

Do ponto de vista do engenheiro de telefonia, o sistema telefônico é dividido em duas partes principais:

- a planta **externa** (os circuitos terminais e troncos, pois eles estão localizados fisicamente fora das estações de comutação).
- a planta **interna** (os switches, que estão dentro das estações de comutação).

Comutação

Vamos dar enfoque na **planta interna**, hoje em dia, duas técnicas de comutação diferentes são usadas pela rede:

- **comutação por circuitos; e**
- **comutação de pacotes.**

O sistema telefônico tradicional é baseado na comutação de circuitos, mas a comutação de pacotes está começando a ganhar terreno com o aumento da tecnologia VoIP.

Redes orientadas à conexão comutada por circuito

Para entender a necessidade de redundância, podemos ver como os antigos sistemas de telefone funcionavam.

Quando uma pessoa fazia uma ligação usando um aparelho de telefone tradicional, a ligação primeiro passava por um processo de configuração.

Esse processo identificava os locais de comutação do telefone entre a pessoa que fez a chamada (a origem) e o aparelho de telefone que recebe a chamada (o destino).

Um caminho temporário, ou circuito, era criado para a duração da chamada telefônica.

Se o link ou dispositivo no circuito falhasse, a chamada era descartada.

Para reconectar, uma nova chamada tinha de ser feita, com um novo circuito.

Esse processo de conexão é conhecido como um processo comutado por circuito e está ilustrado na Figura 6.

Redes orientadas à conexão comutada por circuito

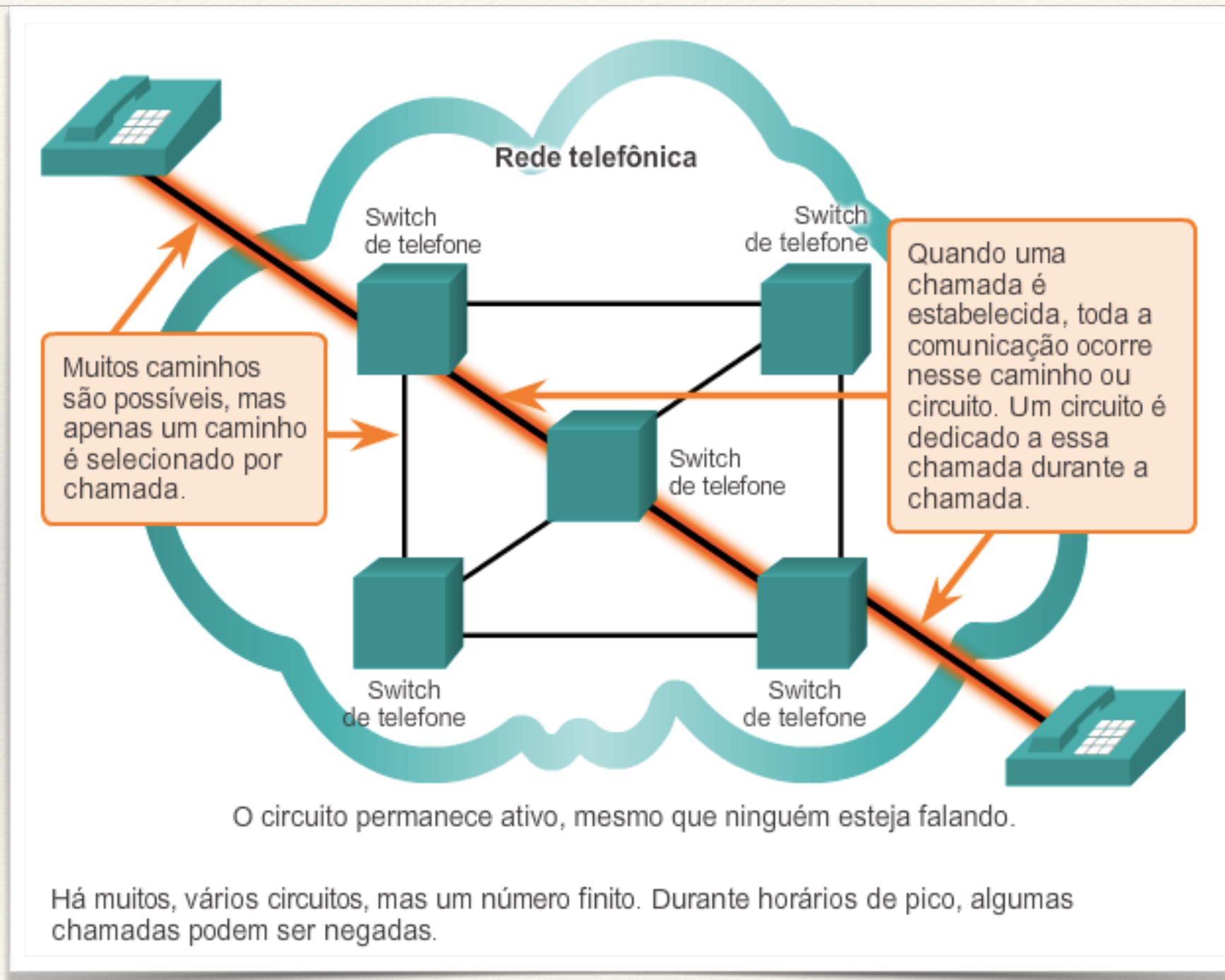
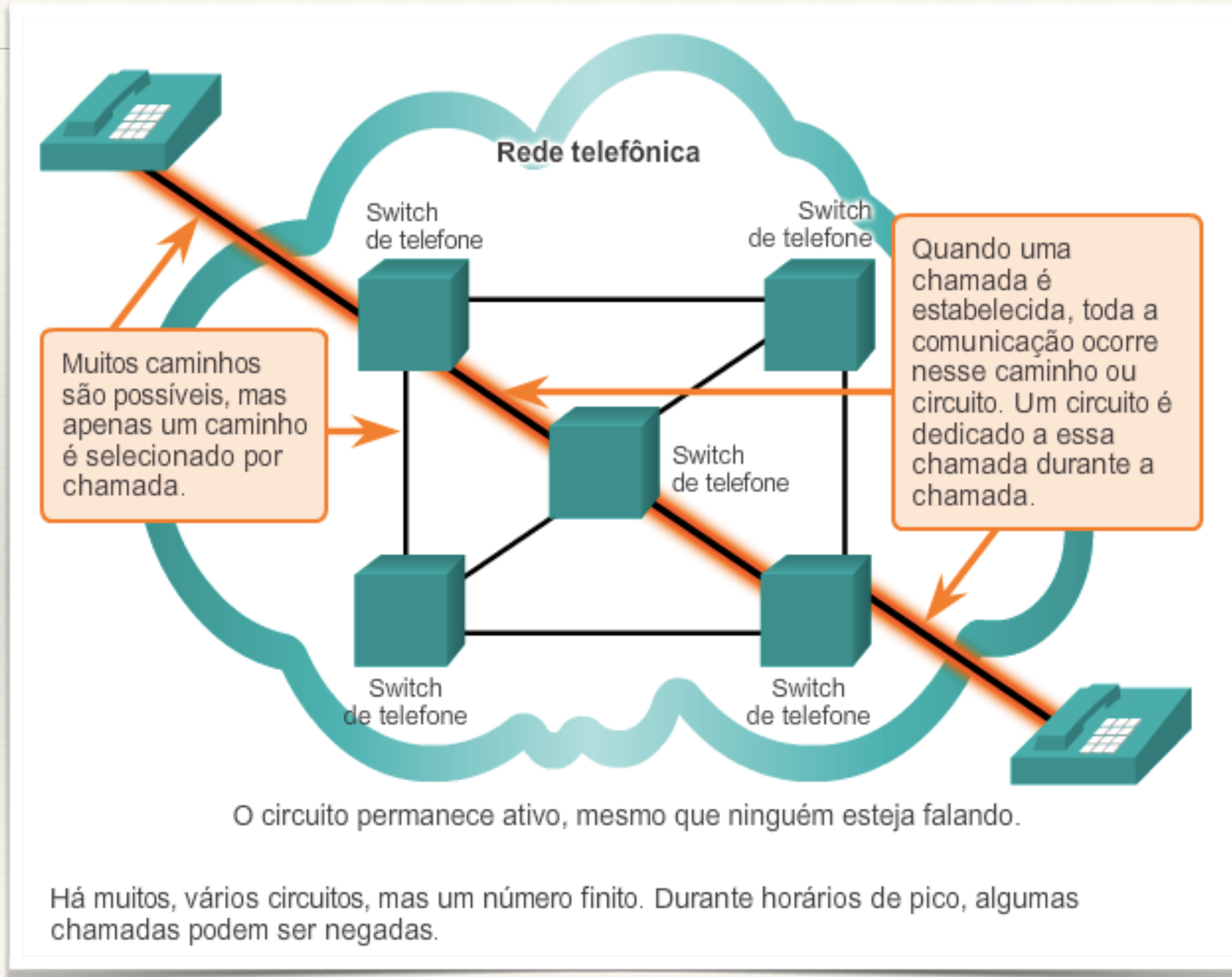


Figura 6. Comutação por circuito.

Redes orientadas à conexão comutada por circuito



Redes orientadas à conexão comutada por circuito

Muitas redes comutadas por circuito dão prioridade à manutenção das conexões de circuito existentes, apesar da necessidade de novos circuitos.

Depois que um circuito é estabelecido, mesmo que não ocorra comunicação entre as pessoas ou que a chamada termine, o circuito permanece conectado e os recursos reservados até que uma das partes interrompa a chamada.

Como há vários circuitos que podem ser criados, é possível receber uma mensagem de que todos os circuitos estão ocupados e que uma chamada não pode ser feita.

O custo para criar vários caminhos alternativos com capacidade suficiente para suportar um grande número de circuitos simultâneos e as tecnologias necessárias para recriar de forma dinâmica circuitos descartados no caso de uma falha, foram as razões pelas quais a tecnologia comutada por circuito não foi a ideal para a Internet.

Redes comutadas por pacotes

Na busca de uma rede que seja mais tolerante a falhas, os primeiros criadores da Internet pesquisaram redes comutadas por pacotes.

A premissa desse tipo de rede é que uma única mensagem pode ser dividida em vários blocos de mensagens, com cada pacote de mensagens contendo informações de endereçamento para exibir o ponto origem e o destino final.

Usando essa informação inerente, esses blocos de mensagens, chamados pacotes, podem ser enviados pela rede por vários caminhos e podem ser reunidos na mensagem original ao chegar ao seu destino, conforme ilustrado na Figura 7.

Redes comutadas por pacotes

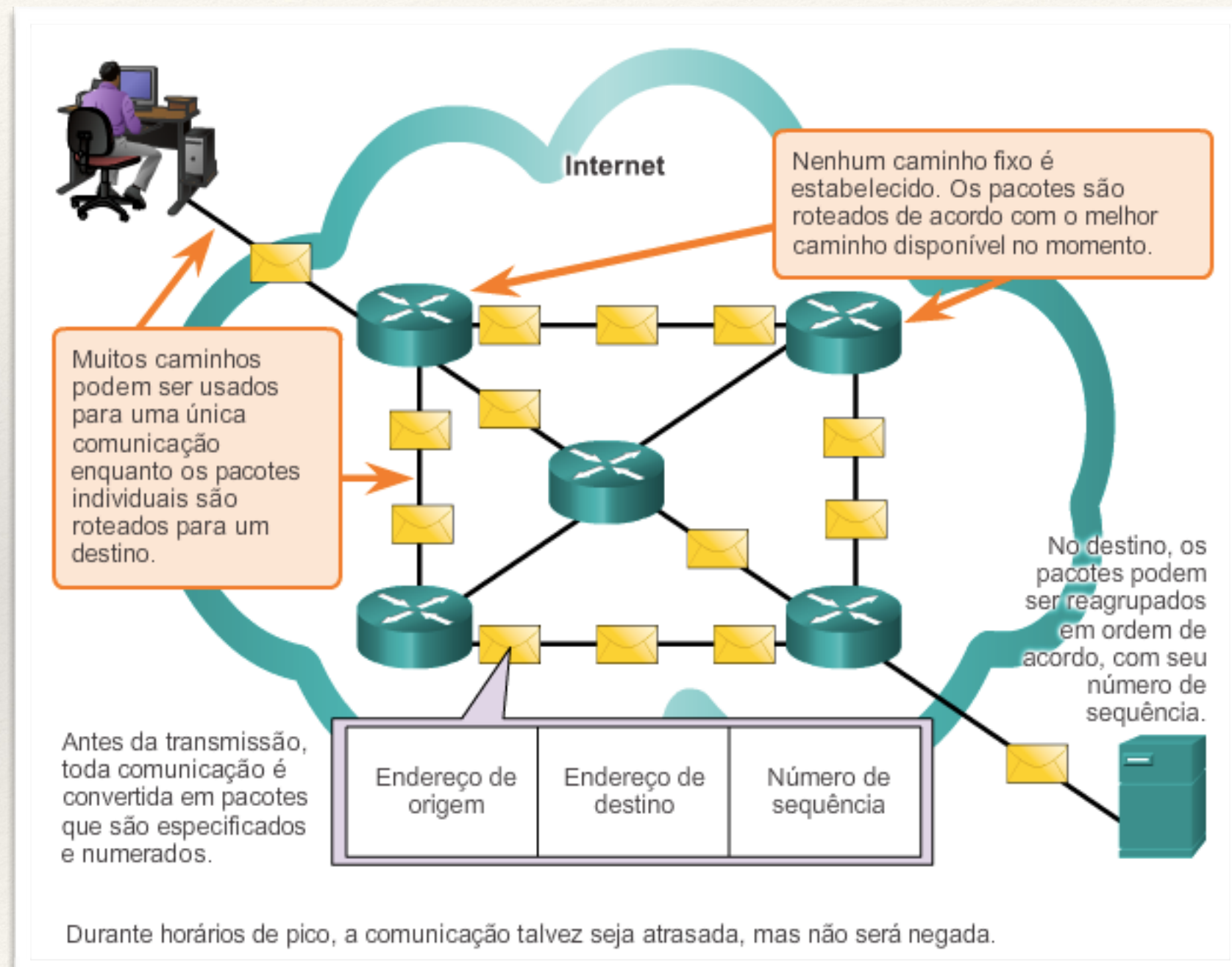
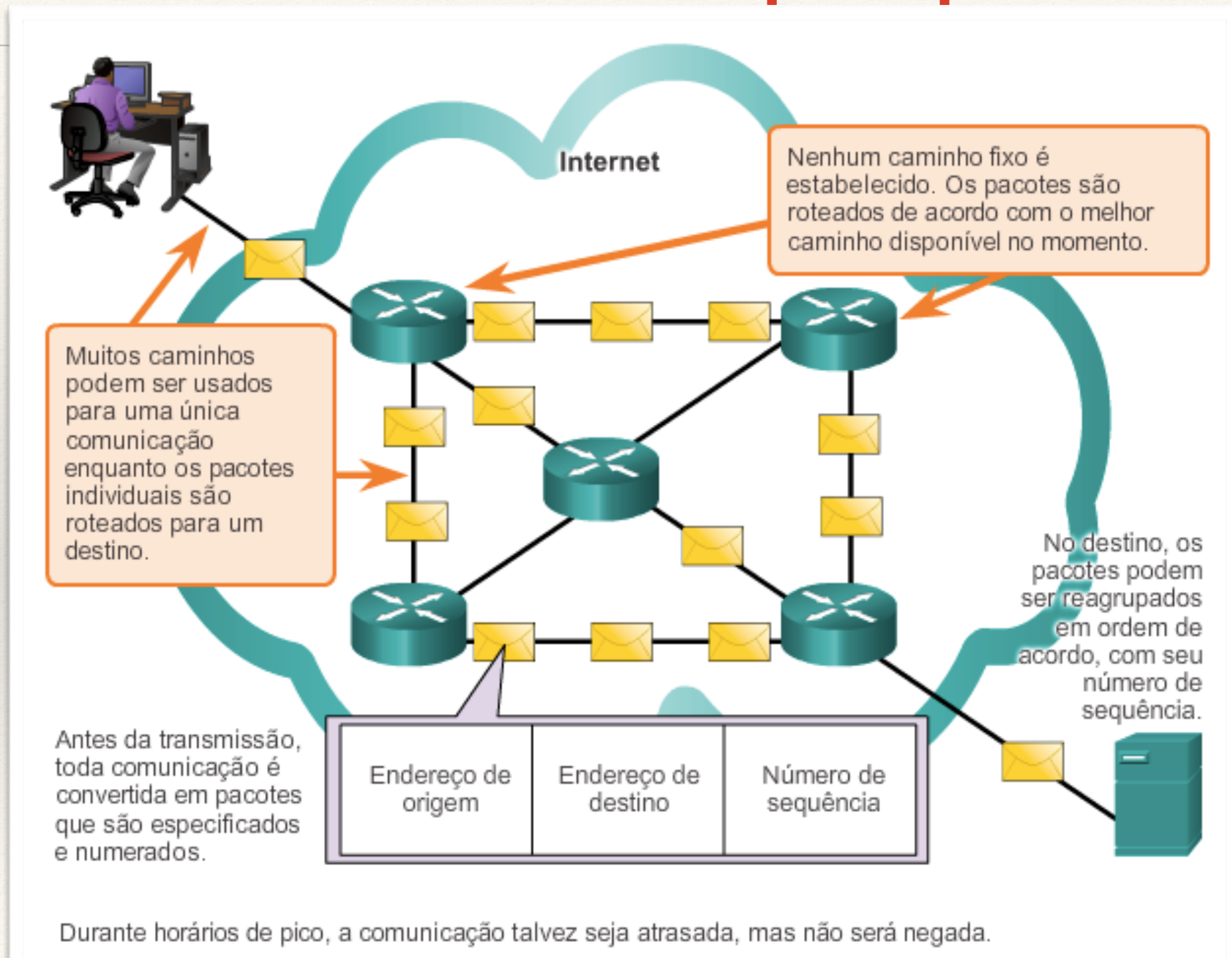


Figura 7. Comutação por pacotes.

Redes comutadas por pacotes



Redes comutadas por pacotes

Os dispositivos contidos na própria rede geralmente desconhecem o conteúdo dos pacotes individuais. Somente os endereços de origem e de destino final são visíveis.

Esses endereços são normalmente conhecidos como endereços IP, representados em um formato decimal pontuado como 10.10.10.10.

Cada pacote é enviado de forma independente, de um local para outro.

Em cada local, uma decisão de roteamento é feita sobre qual caminho será usado para enviar o pacote ao seu destino final.

Isso seria a gravação de uma mensagem longa a um amigo que usa dez cartões postais.

Cada cartão postal tem o endereço destino do destinatário.

Como os cartões postais são enviados pelo correio, o endereço de destino é usado para determinar o caminho que o cartão postal deverá tomar. Em algum momento, eles serão entregues no endereço especificado nos cartões postais.

Redes comutadas por pacotes

Se um caminho usado anteriormente não estiver mais disponível, a função de roteamento poderá escolher dinamicamente o próximo melhor caminho disponível.

Como as mensagens são enviadas em partes, em vez de serem enviadas como uma única mensagem completa, os poucos pacotes que podem ser perdidos podem ser retransmitidos ao destino por um caminho diferente.

Em muitos casos, o dispositivo destino desconhece a ocorrência de qualquer falha ou novo roteamento.

Usando nossa analogia do cartão postal, se um dos cartões postais for perdido pelo caminho, apenas esse cartão postal precisará ser enviado novamente.

Redes comutadas por pacotes

A necessidade de um circuito único reservado de fim a fim não existe em uma rede comutada por pacotes.

Qualquer parte da mensagem pode ser enviada pela rede usando qualquer caminho disponível.

Além disso, os pacotes que contêm partes de mensagens de diferentes origens podem navegar na rede ao mesmo tempo.

Ao fornecer um método para o uso dinâmico de caminhos redundantes, sem intervenção do usuário, a Internet se tornou um método de comunicação tolerante a falhas.

Em nossa analogia do correio, à medida que nosso cartão postal viaja pelo correio, ele compartilha o transporte com outros cartões postais, cartas e pacotes.

Por exemplo, um dos cartões postais pode ser colocado em um avião, junto a muitos outros pacotes e cartas que são transportados para o seu destino final.

Redes comutadas por pacotes

Embora as redes sem conexão comutada por pacotes sejam a principal infraestrutura da Internet nos dias de hoje, existem alguns benefícios em um sistema orientado à conexão, como o sistema de telefone comutado por circuito.

Como os recursos nos vários locais de comutação são dedicados a fornecer um número finito de circuitos, a qualidade e a consistência das mensagens transmitidas pela rede orientada à conexão pode ser garantida.

Outro benefício é que o provedor do serviço pode cobrar os usuários da rede pelo período de tempo em que a conexão esteja ativa.

A capacidade de cobrar os usuários por conexões ativas pela rede é uma premissa fundamental do setor de serviços de telecomunicações.

Próxima Aula

- Capacidade de Transmissão e as diferenças de verificação e correção de erros.
- Técnicas de verificação de erros.
- Correção de erros em transmissão.



Dúvidas

- Conteúdo
 - Moodle
 - (<http://wagnerglorenz.com.br/moodle/>)
- Dúvidas
 - wagnerglorenz@gmail.com



Referências Bibliográficas

- Tanenbaum, A. S. Redes de Computadores, Tradução da 4ª Edição. Rio de Janeiro: Campus, 2003.
- Tanenbaum, A. S. Redes de Computadores, Tradução da 5ª Edição. Rio de Janeiro: Pearson, 2011. <http://ulbra.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788576059240/pages/-18>
- <https://www.netacad.com/home>