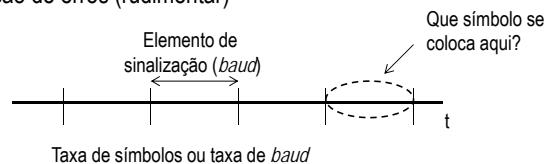


Redes de Computadores

Codificação de dados

Aula 4

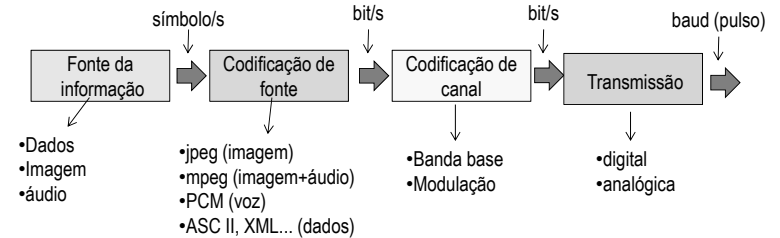
- ❑ Codificação em banda base
- ❑ Objetivo:
 - Gerar um espectro de frequências mais adequado para a transmissão no meio físico → impacta na banda passante
- ❑ Pontos a serem considerados
 - Eliminação de componente DC
 - Sincronização (recuperação de relógio)
 - Detecção de erros (rudimentar)



Introdução

- ❑ Informações (digitais ou analógicas) podem ser codificadas tanto em sinais analógicos como em sinais digitais.

- Dados digitais, sinais digitais
- Dados digitais, sinais analógicos
- Dados analógicos, sinais digitais
- Dados analógicos, sinais analógicos (fora do contexto da disciplina)

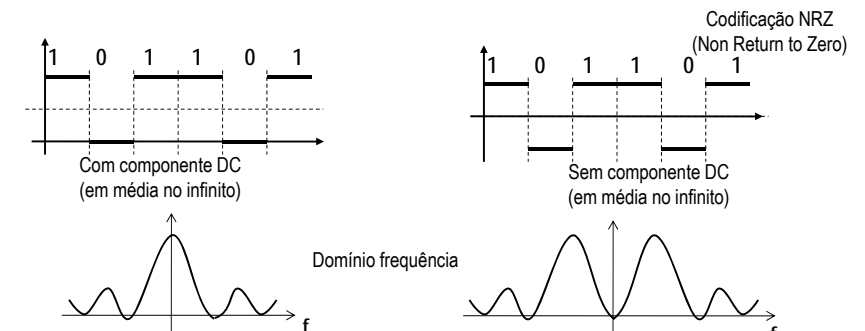


Eliminação de componente DC

- ❑ Esquema de codificação de linha



- Unipolar: um nível de voltagem para representar dado (0 e +V)
- Polar: dois níveis de voltagem para representar dados (-V e +V)
- Bipolar: três níveis de voltagem para representar dados (-V, 0 e +V)



Codificação Non Return to Zero (NRZ)

❑ Vantagens:

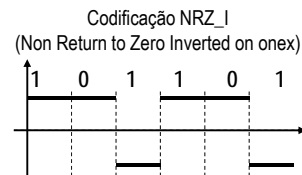
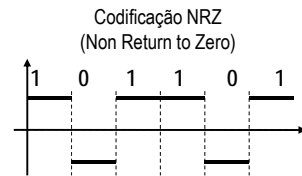
- Elimina a componente DC
- Apresenta uma relação 1 bit/Hz

❑ Desvantagem:

- Problema de sincronização para longas sequências de transmissão
 - Escorregamento do relógio de amostragem no receptor
 - Importante: transições servem para resincronizar

❑ Solução possível: código NRZ-I

- Bit 0: ausência transição início tempo de bit
- Bit 1: transição no início tempo de bit
- Código diferencial
- Problema: longas sequências de zero

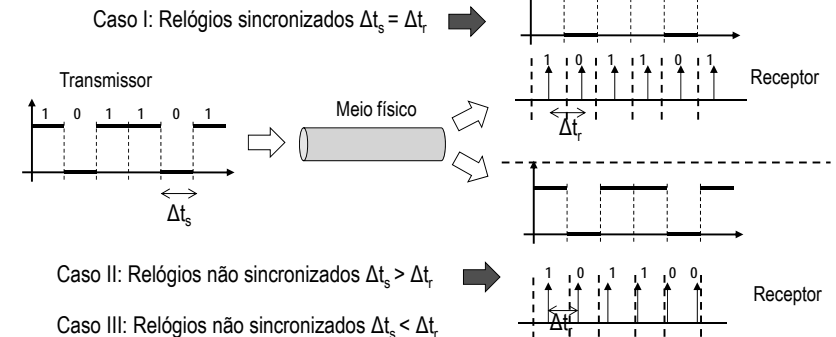


5

Sincronização

❑ Relógios do emissor e receptor devem estar sincronizados

- Amostragem no meio do tempo de bit



EVITAR que duas amostragem façam referências ao mesmo símbolo (ou que percam um símbolo)

Redes de Computadores

6

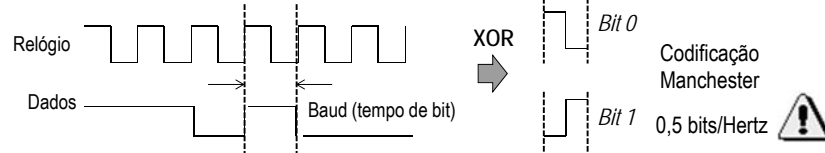
Soluções possíveis para sincronização

❑ Empregar um fio a parte para enviar o sinal de relógio

- Custo: necessário dois fios (um para os dados, outro para o relógio)
- Sinal de relógio sofre atrasos, atenuações e interferências
- Usado em barramentos de computadores, não para comunicação de dados

❑ Estratégias possíveis

- Assíncrona: usar uma marca de início de dados para sinalizar o receptor do "início do tempo" e transmitir um conjunto de bits (ex. RS-232)
 - Em quantidade para que desvios de relógios não se acumulem
- Síncrono: "embutir" um sinal de relógio junto aos dados



7

Códigos diferenciais pseudoternário e bipolar AMI

❑ Empregam 3 níveis (-V, 0, +V)

- Pseudoternário: bits em 0 corresponde a -V e +V alternadamente, bit em 1 é 0
- AMI: bits em 1 corresponde a -V e +V alternadamente, bit em 0 é 0

❑ Características

- Um canal de b bits emprega uma banda de 1.6 Hz/bit
- Introduzem transição em sequências de 1 (AMI) ou 0 (bipolar)
 - Auxilia na sincronização de longas sequências de 1s ou de 0s
- Detecção de erro: não pode haver dois pulsos em -V ou +V consecutivos
- Sem componente DC



Redes de Computadores

8

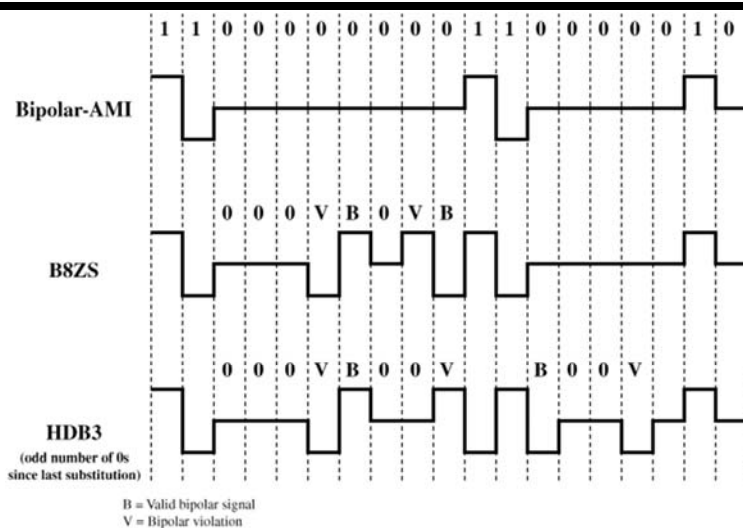
Em busca de algo mais....

- ❑ As codificações de banda base vistas ainda deixam a desejar em dois aspectos
 - Eficiência de banda passante
 - Detecção de erros
- ❑ Novas técnicas
 - Embaralhamento (*scrambling*) e codificação em bloco
 - Tentam de forma diferente:
 - Produzir transições para permitir sincronização
 - Eliminar (reduzir) componente DC
 - Permitir algum nível de detecção de erro

Scrambling e codificação em blocos

- ❑ *Scrambling*
 - Substituir a sequência original por uma outra que evite longas sequências de zeros (ou uns), permita sincronização, reduza DC e permita detecção de erro
 - Não modificar o “tamanho” da sequência original
 - Exemplos: B8ZS, HDB3
- ❑ Codificação em blocos
 - Substituir a sequência original por uma outra que evite sequências longas de zeros (ou uns), permita sincronização, reduza DC e permita detecção de erro
 - Modificar o “tamanho” da sequência original (n bits) para m bits ($m > n$)
 - Seleciona combinações de 2^m visando sincronização e detecção de erro
 - Emprega qualquer codificação de banda base

Exemplo de scrambling: B8ZS e HDB3



Exemplos de codificação em blocos: 4B/5B e 8B/6T

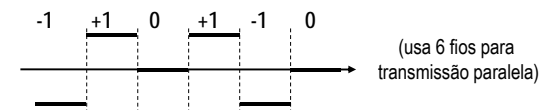
4B/5B (Parcial) – sem combinação 3 zeros consecutivos 2^4 (16) mapeados em 2^5 (32)

Data Input (4 bits)	Code Group (5 bits)	NRZI pattern	Interpretation	Data Input (4 bits)	Code Group (5 bits)	NRZI pattern	Interpretation
0000	11110		Data 0	0110	01110		Data 6
0001	01001		Data 1	0111	01111		Data 7
0010	10100		Data 2	1000	10010		Data 8
0011	10101		Data 3	1001	10011		Data 9
0100	01010		Data 4	1010	10110		Data A
0101	01011		Data 5	1011	10111		Data B

8B/6T (exemplo de um código)

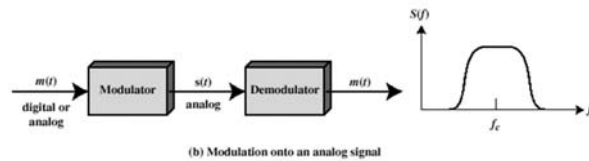
2^8 (256) mapeados em 3^6 (729)

00011111



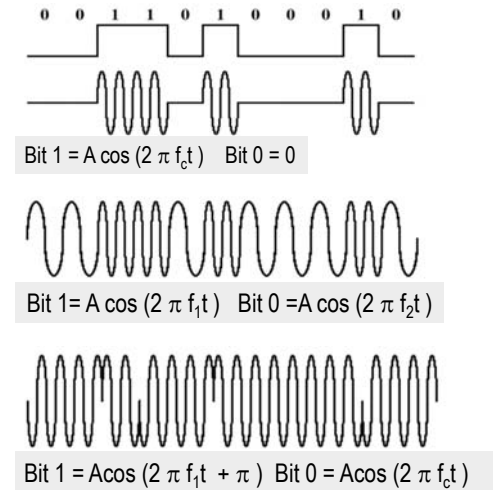
Dados digitais, sinais analógicos

- Modulação é a codificação de dados com base em uma portadora
 - Modulação digital (*keying*): dados digitais em sinais analógicos
 - Amplitude shift keying* (n-ASK), *Frequency shift keying* (n-FSK), *Phase shift keying* (n-PSK), *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM)
 - Modulação analógica: conversão de um sinal analógico em outro sinal analógico de modo a transmiti-lo em um meio passa-faixa
 - Sinal de 0 a B Hz pode ser deslocado para S a $S+B$ Hz



Modulação digital (*keying*)

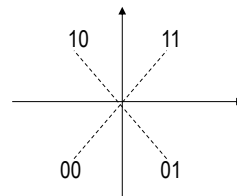
- Amplitude (n-ASK)
 - Dados são representados por diferentes amplitudes (n)
- Frequência (n-FSK)
 - Dados são representados por diferentes frequências (n)
- Fase (n-PSK)
 - Dados são representados por diferentes fases (n)



Quadratura de fase (QPSK)

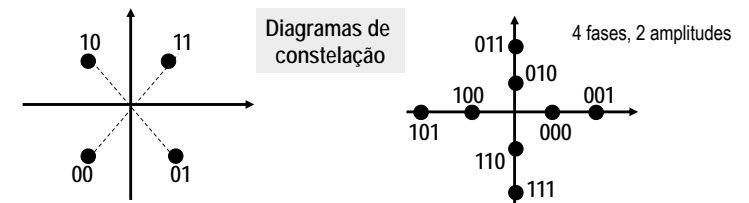
- Cada elemento de sinalização é caracterizado por uma fase própria
 - Esquema genérico é denominado de n -PSK (n = número de fases)
 - Um elemento de sinalização representa $\log_2 n$ bits
 - Limitação de hardware para detectar diferentes fases próximas
- Caso especial: $n=4$ (quadratura de fase)
 - 45, 135, 225 e 315 graus

$$S(t) = \begin{cases} \text{Bit 11} = A \cos(2\pi f_c t + \pi/4) \\ \text{Bit 10} = A \cos(2\pi f_c t + 3\pi/4) \\ \text{Bit 00} = A \cos(2\pi f_c t + 5\pi/4) \\ \text{Bit 01} = A \cos(2\pi f_c t + 7\pi/4) \end{cases}$$



Quadratura de Amplitude (QAM)

- Combinação de ASK e PSK
 - Variação em amplitude e em fase



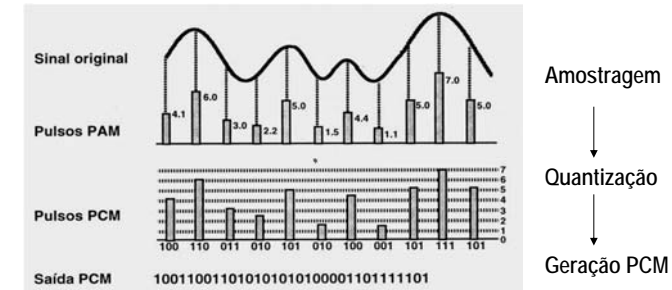
- Possível definir várias amplitudes e fases (n -QAM)
 - Exemplos: 16-QAM, 64-QAM, 128-QAM e 256-QAM

Dados analógicos, sinais digitais

- ❑ Digitalização do sinal, i.é., conversão de um sinal analógico em digital
 - Dado pode ser transmitido usando um tipo qualquer de codificação digital
 - Conversão do sinal analógico em seu equivalente digital (uma técnica de modulação)
- ❑ Codec (coder-decoder)
 - Conversão pode utilizar duas técnicas:
 - Pulse Code Modulation (PCM)
 - modulação delta
- ❑ Aplicação comum: rede de telefonia pública

17

Pulse Amplitude Modulation (PAM) e Pulse Code Modulation (PCM)



- ❑ Quantização do sinal
 - Inclui erro e/ou ruído
 - Aproximação do sinal original, ou seja, é impossível de recuperar exatamente o sinal original

Redes de Computadores

18

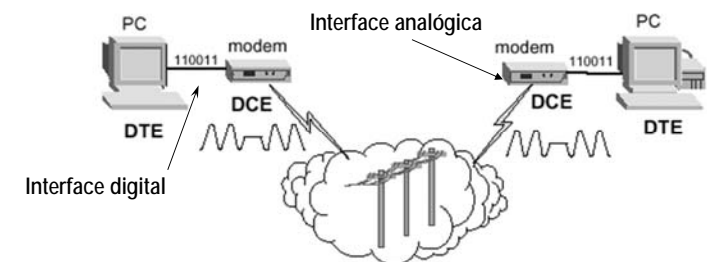
Teorema de amostragem de Nyquist

- ❑ Precisão de uma reprodução digital de um sinal analógico depende do número de amostras realizadas
- ❑ Teorema de Nyquist:
 - “Um sinal amostrado em intervalos regulares a uma taxa igual a duas vezes a da sua mais alta frequência contém toda a **informação** do sinal original”
 - Exemplo: Sinal de voz ocupa banda de 4 KHz (0–4KHz), o que implica em uma frequência de amostragem de 8 KHz
- ❑ Portanto, a taxa PAM deve ser duas vezes a frequência mais alta presente no sinal.
 - Um sinal com frequência x deve ser amostrado a cada $1/(2x)$ segundos.

19

Estudo de caso: Modem linha discada (Modulador-demulador)

- ❑ Converte dados binários em sinal analógico e vice-versa
 - Transmissão de dados através do laço local da rede de telefonia pública



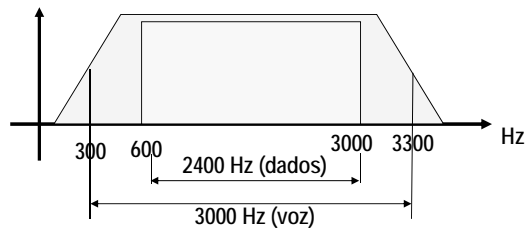
DTE: Data Terminal Equipment DCE: Data Communication Equipment

Redes de Computadores

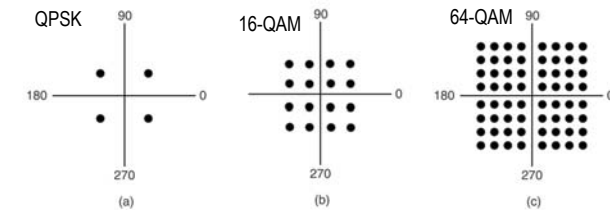
20

Banda passante da linha telefônica

- Passa-banda 300Hz a 3300 Hz (banda passante 3000 Hz)
 - Bordas são suscetíveis a distorções que são toleradas na transmissão de voz, mas não para a transmissão de dados
 - Solução: empregar uma faixa (banda) mais estreita



Diagramas de constelação

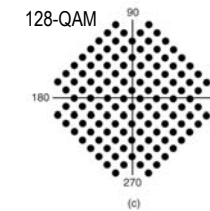
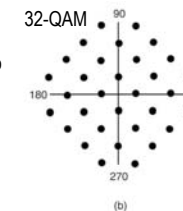


2 bits por baud
4800 bps

4 bits por baud
9600 bps

6 bits por baud
14400 bps

5 bits por baud
4 bits + 1 bit correção
(código Trellis)
9600 bps
Modem V32
(QAM+redundância)



7 bits por baud
6 bits + 1 bit correção
14400 bps
Modem V32.bis

Limitação de velocidade de transmissão

- Linha telefônica apresenta uma limitação na sua capacidade máxima de transmissão (Shannon)
 - Supondo S/N=30 dB e canal de 2.400 kHz (3.000 hz – 600 hz)

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

$$C = 2.400 \times \log_2 (1 + 1.000)$$

$$C = 2.400 \times \left(\frac{\log 1.001}{\log 2} \right)$$

$$C = 2.400 \times \frac{3}{0,3} = 24.000 \text{ bps}$$

- Como então existem modems de capacidade superior a este limite?
 - Dados são compactados antes de transmitir
 - Sistemas assimétricos

Leituras adicionais

- Tanenbaum, A.; Wethreall, D. *Redes de Computadores* (5ª edição), Editora Pearson Education, 2011.
 - Capítulo 2 (2.5.1 e 2.5.2)
- Carissimi, A.; Rochol, J; Granville, L.Z; *Redes de Computadores*. Série Livros Didáticos. Bookman 2009.
 - Capítulo 3 (3.2.2 a 3.2.4)

Material adicional

Alguns métodos de codificação de linha (banda base)

Método	Regra de codificação	Prós e contras
NRZ-L	•Bit 0: pulso positivo (+V) •Bit 1: pulso negativo (-V)	• ver NRZ-I
NRZ-I (diferencial)	•Bit 0: ausência de transição no início do tempo de bit •Bit 1: presença de transição no início do tempo de bit	•Simplicidade •1 bit por baud •Perda de sincronismo (longas sequências) •Presença de componente DC residual •Sem detecção de erro
Manchester	•Bit 0: transição nível alto ao nível baixo •Bit 1: transição nível baixo ao nível alto	•Ausência de componente DC •Oferece sincronização •Permite detecção de erro •1 bit necessita dois elementos sinalização
Manchester diferencial	•Bit 0: transição nível no início do tempo de bit •Bit 1: sem transição no início do tempo de bit (há sempre transição no meio do tempo de bit)	•Ver Manchester
Pseudo-ternário	•Bit 0: Pulso positivo/negativo (alternado) •Bit 1: ausência de sinal (0 V)	•Ausência de componente DC •Problema de sincronização para longas sequências de bits em um (ou zero se AMI) •Permite detecção de erros •Reconhecer 3 níveis (+V, 0, -V)
AMI	•Bit 0: ausência de sinal (0 V) •Bit 1: Pulso positivo/negativo (alternado)	•Ver Pseudo-ternário

Padrões de Modem: série V (standard ITU-T)

- ❑ Modem V32 (9.600 bps)
 - 32-QAM, 2400 baud, código de trellis
- ❑ Modem V32bis (até 14.400 bps)
 - 128-QAM, 2400 baud, inclusão de *fall-back* e *fall-forward*
- ❑ Modem V34 (até 28.800 bps)
 - 12 bits dados /baud
- ❑ Modem V34bis (até 33.600 bps)
 - 14 bits dados/baud
- ❑ Modem V90 e V92 (até 56.000 bps para *downloading*)
 - Sistemas assimétricos (duas velocidades: *uploading* e *downloading*)
 - *Uploading* V90 é até 33.6 Kbps, *uploading* V92 é até 48 Kbps

Modems tradicionais *versus* modems 56K

- ❑ Núcleo da rede de telefonia pública é digital, laço local é analógico
- ❑ Modems tradicionais:
 - Após modulação (emissor) há uma conversão analógico → digital (entrada)
 - O mesmo vale para a resposta enviada pelo destino
 - Conversões = ruído de quantização (afeta relação S/R de Shannon)
- ❑ Modems 56K (V90 e V92)
 - Comunicação é para a Internet com presença de um provedor de serviço
 - Provedor (de qualidade) possui uma linha digital com a companhia telefônica
 - Elimina a conversão na ponta do provedor (resposta) - *downloading*
 - Assinante possui uma linha analógica (laço local) com a companhia telefônica
 - Ruído de quantização na ponta assinante (requisição) – *uploading*
 - Velocidade de *downloading* pode ser maior que a de *uploading*

❑ Banda estreita

- Nome comercial para tecnologias que transmitam até 56 kbps
- Origem é por ser usado apenas os 4 kHz do canal de voz

❑ Banda larga

- Qualquer tecnologia que leve a mais de 56 kbps
- Nome comercial

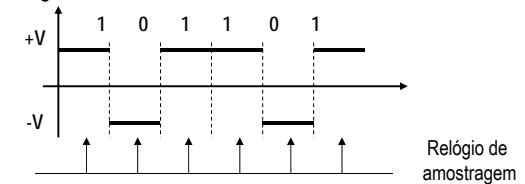
❑ Banda base

- Quando o sinal (analógico ou digital) é enviado sem sofrer modulação analógica (obs.: ASK, PSK e FSK são modulações e transmitem em banda base; AM, FM, PM são modulações em banda passante).
- Faixa de frequência de 0 até um limite superior

Sincronização de relógio

❑ No receptor

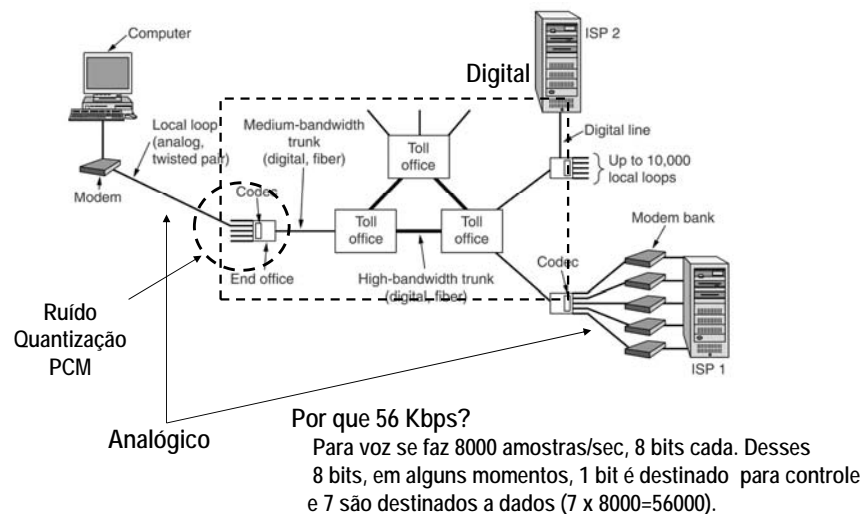
- O sinal é convertido para bits fazendo a amostragem do sinal em intervalos de tempos regulares



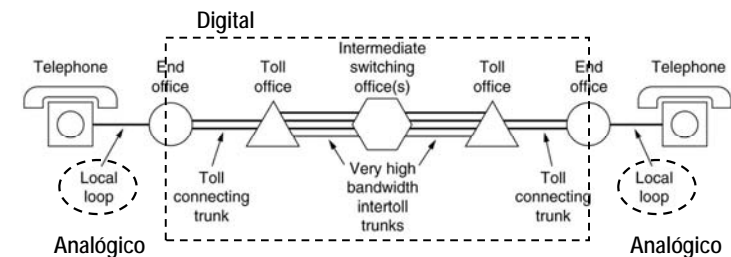
❑ Necessário “sincronizar” relógio do receptor com o do transmissor

- Os relógios individuais de cada máquina defasam

Outra visão da rede de telefonia pública



Visão simplificada da rede de telefonia pública



❑ Sistema típico:

- Amostras em 8 bits (fornece 256 níveis discretizados diferentes)
- 8000 amostras por segundo o que gera 64kbps ($8000 \times 8 \text{ bits/amostra}$)

