

Redes de Computadores

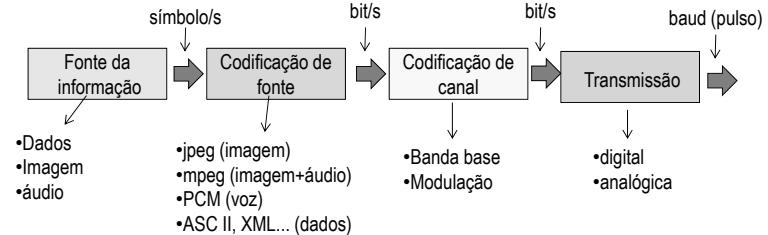
Codificação de dados

Aula 4

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)

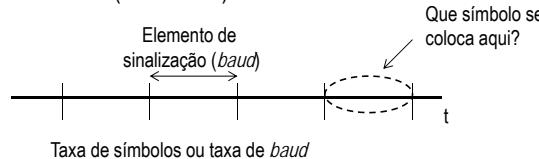


Redes de Computadores

2

Dados digitais, sinais digitais

- 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)

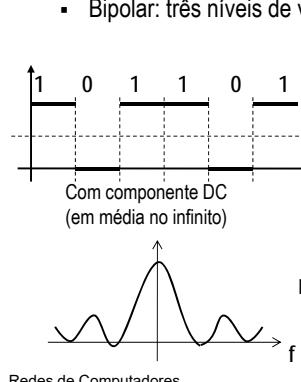


Redes de Computadores

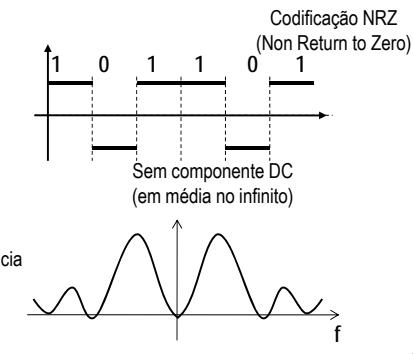
3

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)



Redes de Computadores



4

Codificação Non Return to Zero (NRZ)

- Vantagens:

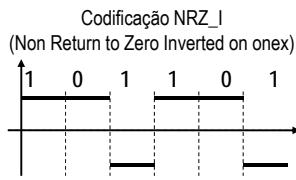
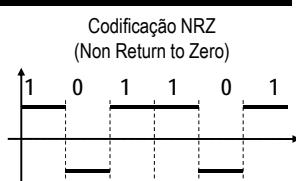
- Elimina a componente DC
- Apresenta uma relação 1 bit/Hz

- 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

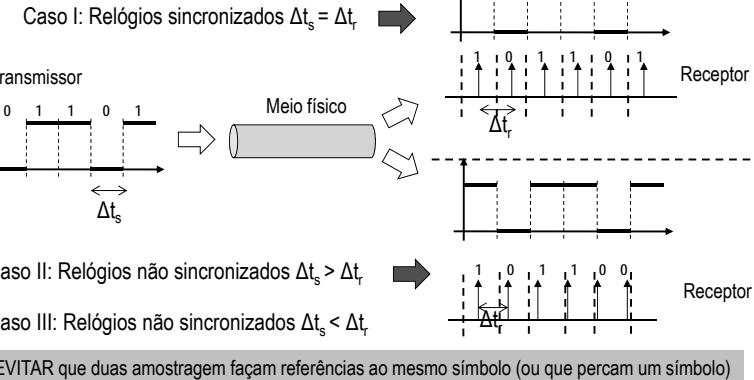
- Bit 0: ausência transição inicio tempo de bit
- Bit 1: transição no inicio tempo de bit
- Código diferencial
- Problema: longas sequências de zero



Sincronização

- Relógios do emissor e receptor devem estar sincronizados

- Amostragem no meio do tempo de bit



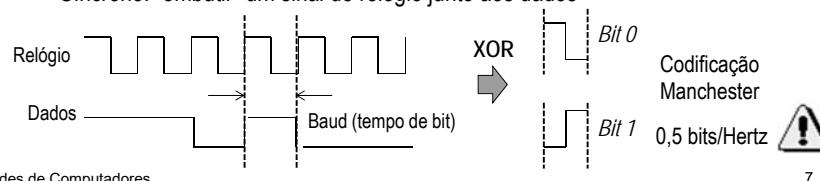
Soluções possíveis para sincronização

- 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 inicio de dados para sinalizar o receptor do "inicio 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



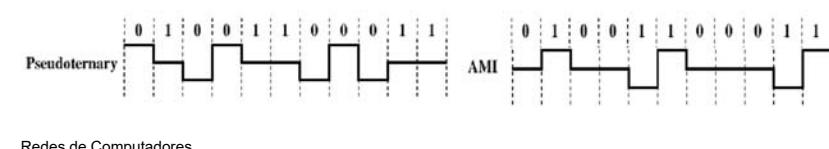
Códigos diferenciais pseudoternário e bipolar AMI

- 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



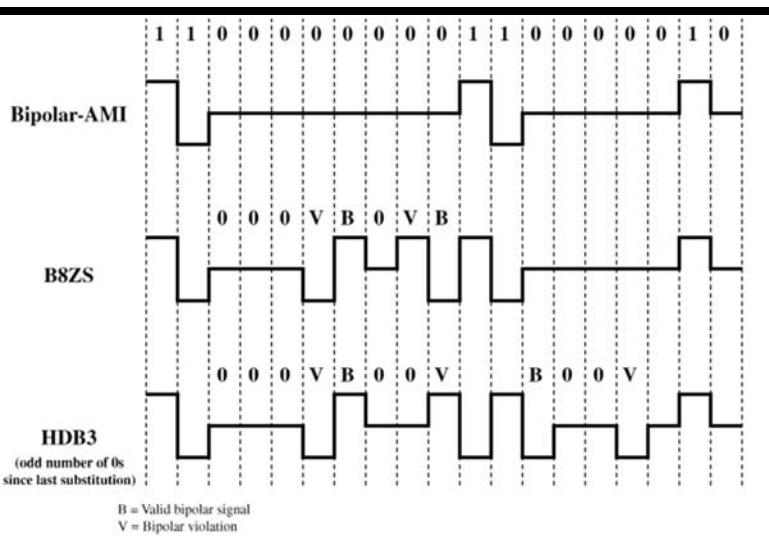
Em busca de algo mais....

- ❑ 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



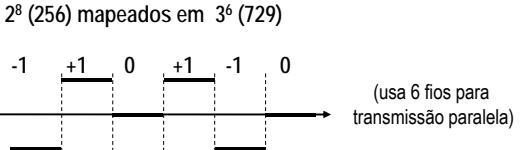
Exemplos de codificação em blocos: 4B/5B e 8B/6T

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 |

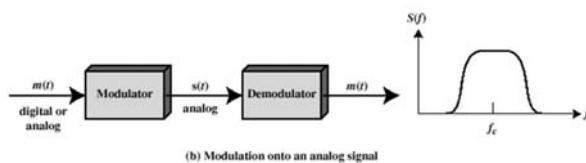
8B/6T (exemplo de um código)

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



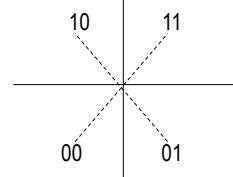
Redes de Computadores

13

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

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

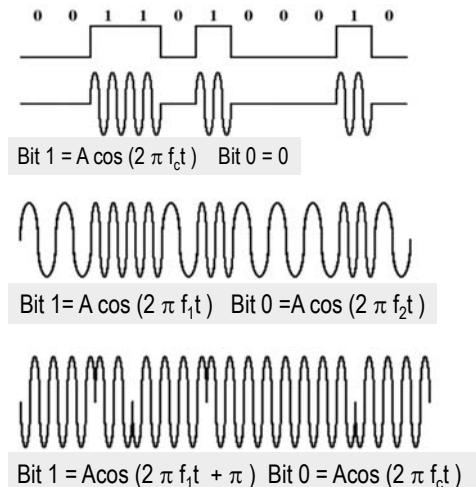


Redes de Computadores

15

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)

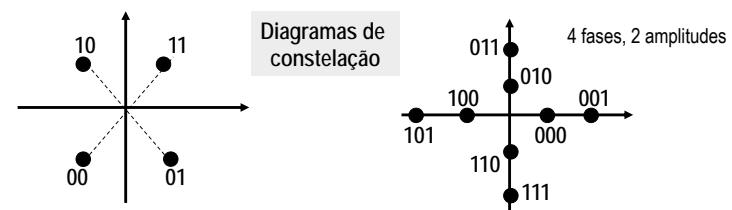


Redes de Computadores

14

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

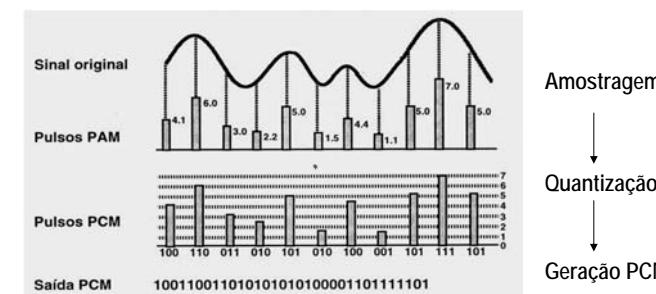
Redes de Computadores

16

Dados analógicos, sinais digitais

- Digitalização do sinal, i.e., 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

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

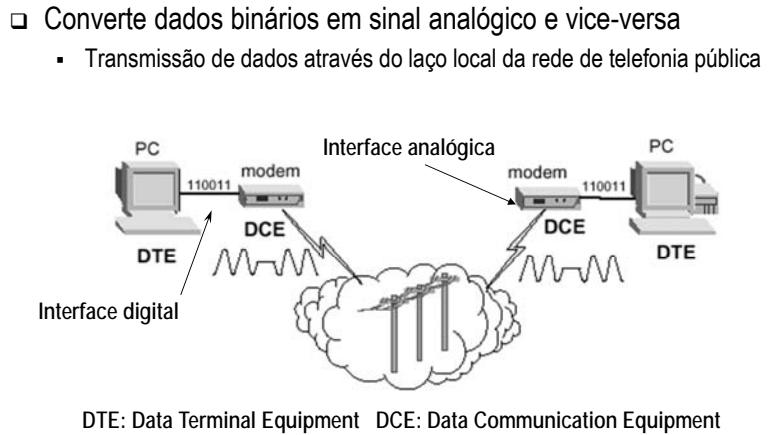


- Quantização do sinal
 - Inclui erro e/ou ruído
 - Aproximação do sinal original, ou seja, é impossível de recuperar exatamente o sinal original

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 freqüência contém toda a informação do sinal original"
 - Exemplo: Sinal de voz ocupa banda de 4 KHz (0-4KHz), o que implica em uma freqüência de amostragem de 8 KHz
- Portanto, a taxa PAM deve ser duas vezes a freqüência mais alta presente no sinal.
 - Um sinal com freqüência x deve ser amostrado a cada $1/(2x)$ segundos.

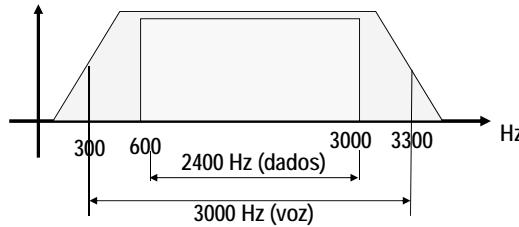
Estudo de caso: Modem linha discada (Modulador-demodulador)



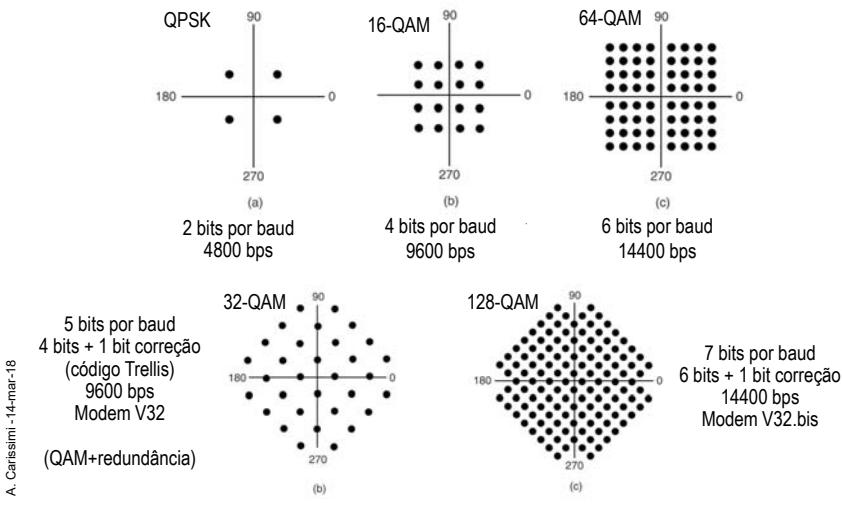
DTE: Data Terminal Equipment DCE: Data Communication Equipment

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



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* (5^a 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 inicio do tempo de bit •Bit 1: sem transição no inicio 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

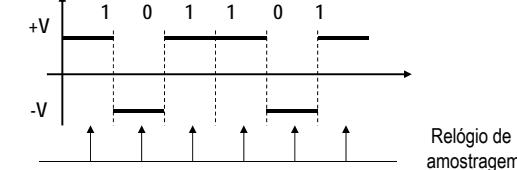
Modems tradicionais *versus* modems 56K

- 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 transmitiam 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 (análogo 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

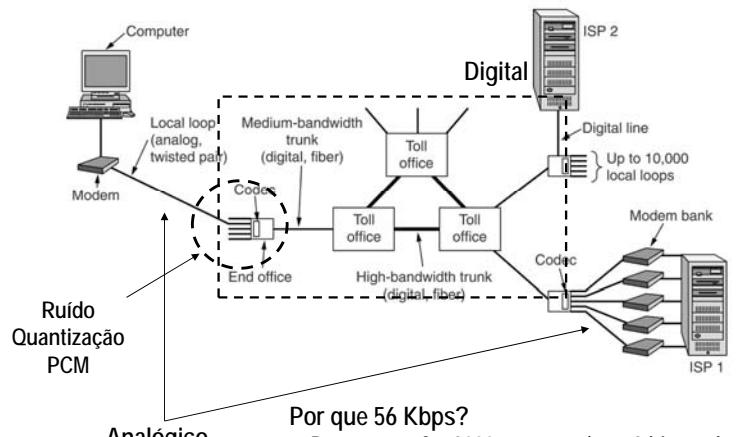
Sincronização de relógio

- No receptor
 - O sinal é convertido para bits fazendo a amostragem do sinal em intervalos de tempos regulares

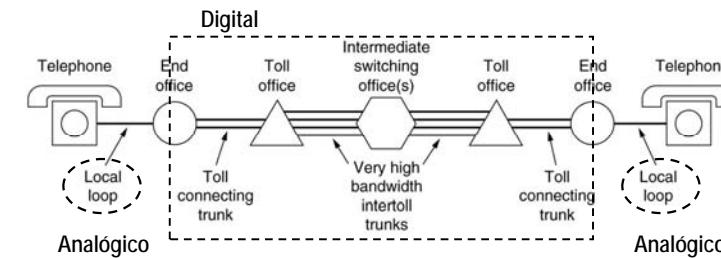


- Necessário “sincronizar” relógio do receptor com o do transmissor
 - Os relógios individuais de cada máquina defasam

Outra visão da rede de telefonia pública



Visão simplificada da rede de telefonia pública



- Sistema típico:
 - ▶ Amostras em 8 bits (fornecendo 256 níveis discretizados diferentes)
 - ▶ 8000 amostras por segundo o que gera 64kbps (8000 x 8 bits/amostra)

