



Conceitos Básicos Transmissão e Comutação

Geraldo Robson. Mateus

**Departamento de Ciência da Computação
Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte - MG**



Curso de Especialização em Redes de Telecomunicações



Conceitos Básicos

- Transmissão:

Informação
+
Sinais
+
Meios Físicos



Informação

- Voz -Telefonia
- Figura ou texto impresso - Fax
- Imagens - Vídeo, TV
- Texto - Mensagens
- Arquivos ou Programas - Computação
- Música



Sinais

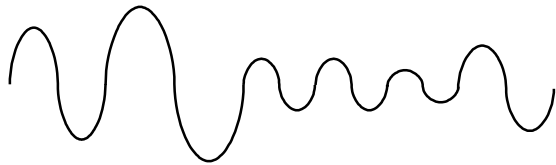
- Ondas que se propagam através de algum meio físico.
- Variam em amplitude com o tempo conforme codificação da informação transmitida.

Sinais



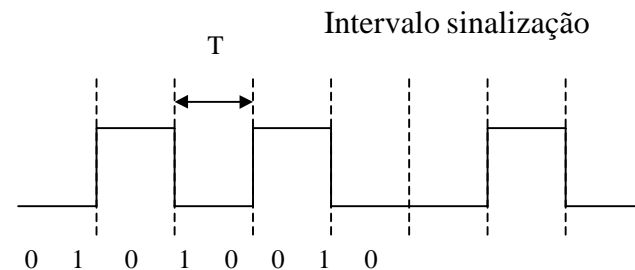
Analógico

- Variação contínua
- Fontes sonoras



Digital

- Variação discreta
- Computadores



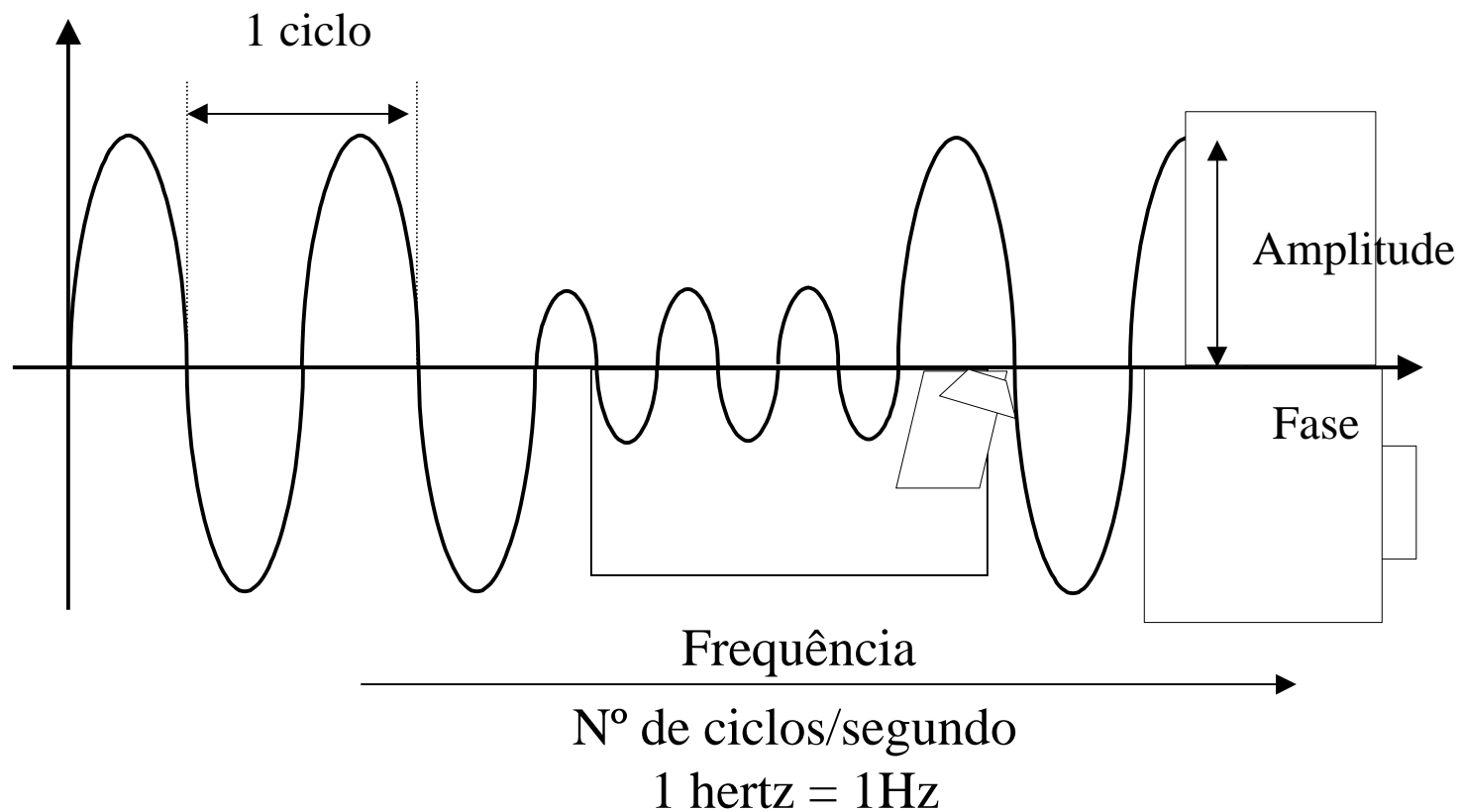
Informação digital ou
analógica



Sinal digital ou
analógico



Sinal Analógico



Sinais



- Sinal de rádio é uma onda de energia
- No vácuo, velocidade de 297000 Km/s
- Tipos de ondas:
 - Terrestres ou de superfície
 - Ondas espaciais trafegam em linha reta
 - Ondas celestiais usam ionosfera
 - Ondas de satélite
 - Sistemas de microondas

Ondas



Algumas bandas são nocivas

Ouvido humano - banda de 40 a 18000 Hz

Voz humana - banda 200 a 5000 Hz

Sinal de voz - banda de 300 a 3400 Hz

Ouvido e cérebro - reconstruir e inferir

Transmissões rádio: 30 KHz a 300 GHz

Ondas



- Largura de banda na faixa de audição é da ordem de 3000Hz
- Transmissões via rádio largura de banda pode chegar a 300 MHz
- Ondas de superfície exploram as baixas frequências, longos comprimentos de onda (10000 metros) e sujeitas a variações topográficas

Ondas



- Ondas espaciais: transmissões de TV, faixa de VHF a SHF
- Ondas celestiais: faixa HF, e usadas para transmissões de rádio e telefonia de longa distância
- Microondas exploram o espectro de UHF e SHF provendo uma ampla banda, pequenos comprimentos de onda e menores antenas

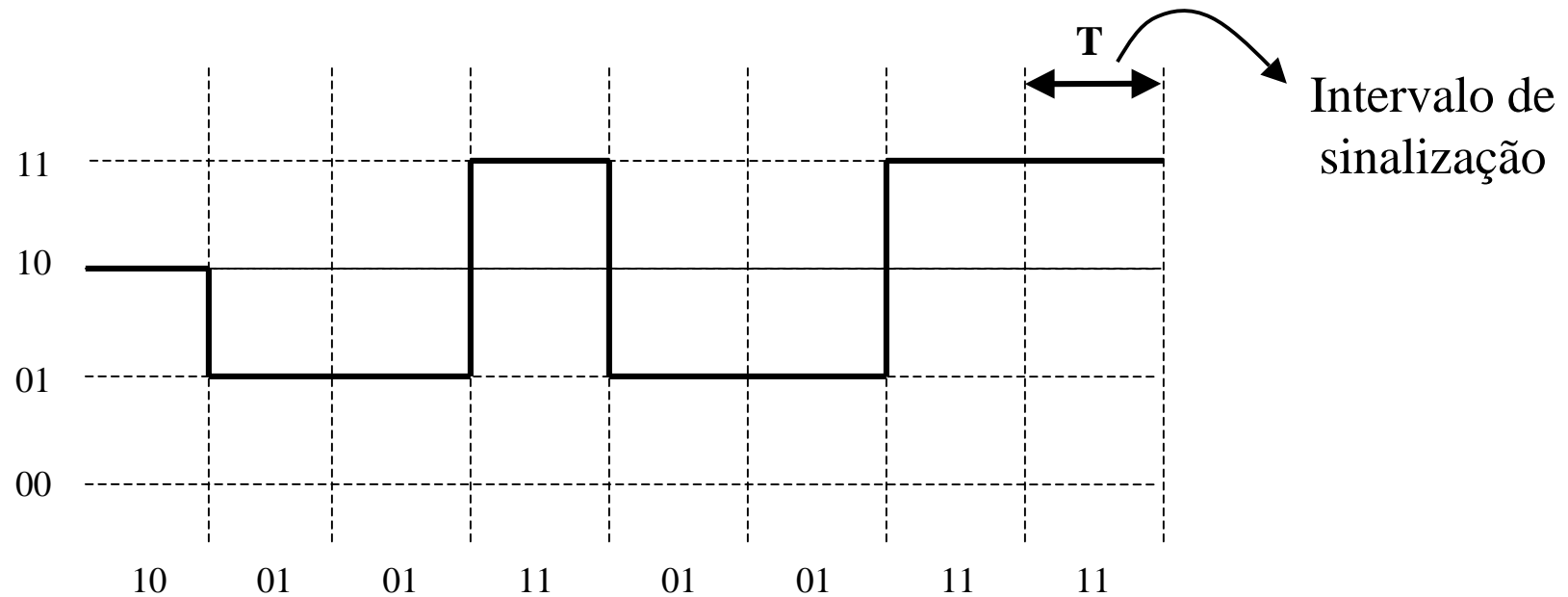


Sinal Digital

- Bit - Unidade de informação
- Bit - Variação da amplitude do sinal digital
- Codificação de sinais - Níveis de amplitude
- 4 níveis - dibit - dois bits/nível
- 8 níveis - tribit - três bits/nível
- 2^n níveis - nbit - n bits/nível
- N níveis - $\log_2 N$ bit - $\log_2 N$ bits/nível



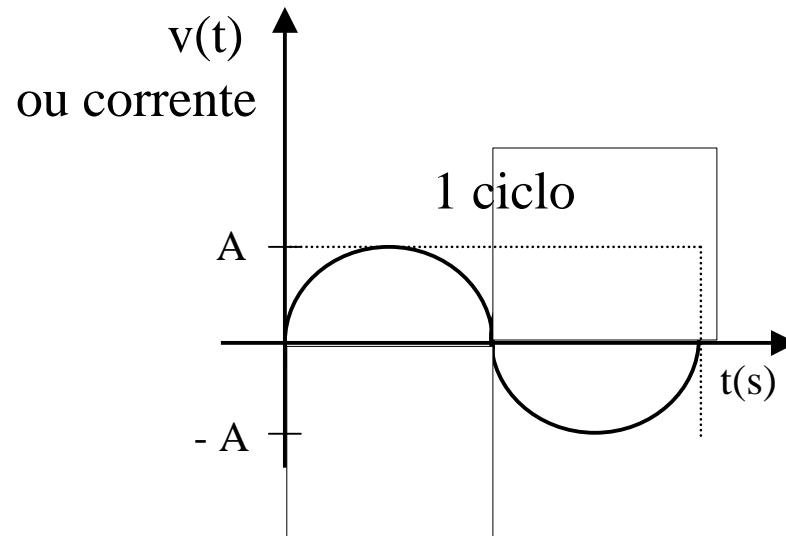
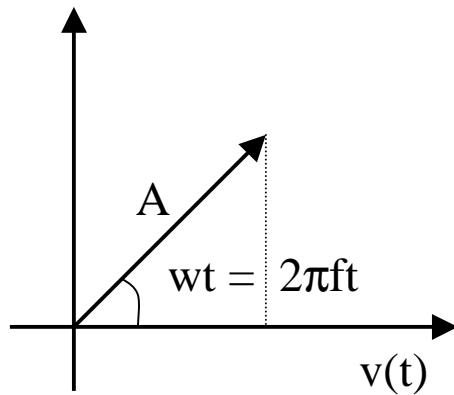
Sinal Digital



$N^{\circ} \text{ intervalos sinalização/s} \neq \text{bits/s} = \text{bps}$



Sinal Analógico



$$v(t) = A.\cos(wt) = A.\cos(2\pi ft)$$

A = amplitude

w = frequência angular (rad/s)

f = frequência

t = tempo

Sinal



- Sinal periódico = função $g(t)$ e período T_0
- $g(t)$ é uma soma de vários harmônicos com base na frequência fundamental
- $g(t)$ dada pela série de Fourier



Sinal Analógico

- Comprimento de onda - distância de propagação em um ciclo
 - $\lambda = c/f$, onde c = velocidade da onda
- Período T - tempo de um ciclo completo
 - $T = 1/f$ ou $f = 1/T$
 - $\lambda = c/f$ ou $\lambda = cT$
 - $c = 346\text{m/s}$ (som) $c = 300.000 \text{ Km/s}$ (luz)

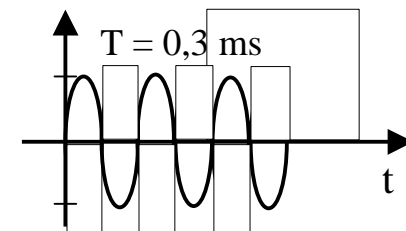
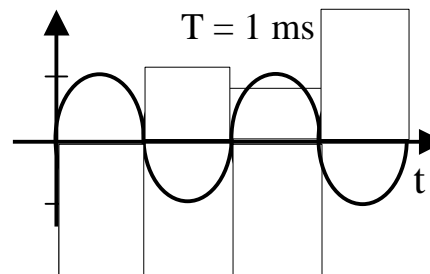
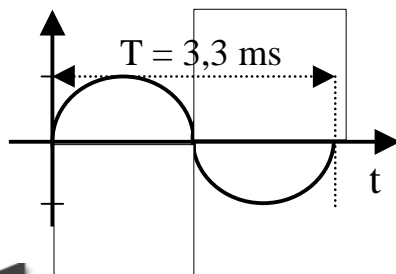
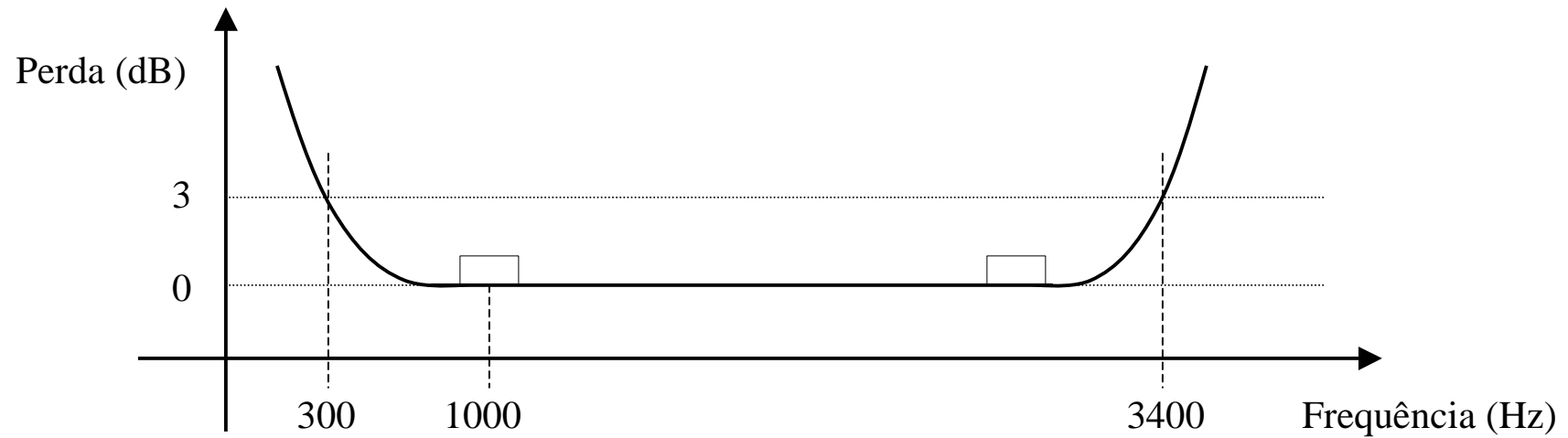


Banda

- Banda - intervalo entre duas frequências
- Largura de Banda
 - Diferença entre a maior e a menor frequência
 - Qualidade de voz - 300 Hz a 3400 Hz
 - » $\text{Banda} = 3400 - 300 = 3100 \text{ Hz}$



Banda





Banda Passante

- Banda Passante do Meio (BPM): faixa de frequências praticamente preservada pelo meio
- Banda Passante Necessária de um Sinal:
 - Largura mínima necessária na BPM para garantir uma qualidade mínima no recebimento do sinal (analógico ou digital)
 - Qualidade de voz - 3100 Hz
 - » Maior Banda - Melhor recepção do sinal



Taxa de Transmissão

- Qual a banda passante B para um sinal digital $1/T$ bps?
- Quantos bps podem ser transmitidos com a banda B Hz?



- Taxa de transmissão Máxima de um Canal
- Teorema de Nyquist



Teorema de Nyquist

Se um sinal é transmitido através de um canal de largura de banda B Hz, o sinal resultante da filtragem pode ser completamente reconstruído pelo receptor através da amostragem do sinal transmitido, a uma frequência igual a no mínimo $2B$ vezes por segundo.



Taxa de Transmissão Máxima

- No. intervalos de sinalização/s de um s. digital = n° bauds
- Cada intervalo codifica $\log_2 N$ bits $\Rightarrow 1 \text{ baud} = \log_2 N \text{ bps}$
- Largura $B \text{ Hz} \Rightarrow$ transmite um sinal digital de no máximo $2B$ bauds.



- Capacidade do canal = $2B \log_2 N \text{ bps}$
(sem ruído)



Distorção de Sinais em Transmissão

- Banda Passante Limitada
- Ruídos
- Atenuação
- Ecos



Distorção de Sinais - Ruídos

- Razão Sinal/Ruído = S/R = Potência do Sinal/
Potência do Ruído ou $10 \log_{10}(S/R)$ em dB.
- Ruído Térmico
- Ruído de Intermodulação
- Crosstalk ou linha cruzada
- Ruído Impulsivo



Lei de Shannon

- Capacidade Máxima de um Canal com Ruído Térmico
- Capacidade máxima = $B \log_2(1 + S/R)$

B - banda em Hz

S/R - Sinal/Ruído

$B = 3000 \text{ Hz}$ $S/R = 1000 \text{ (30dB)} \Rightarrow \text{Capacidade } 30000\text{bps}$



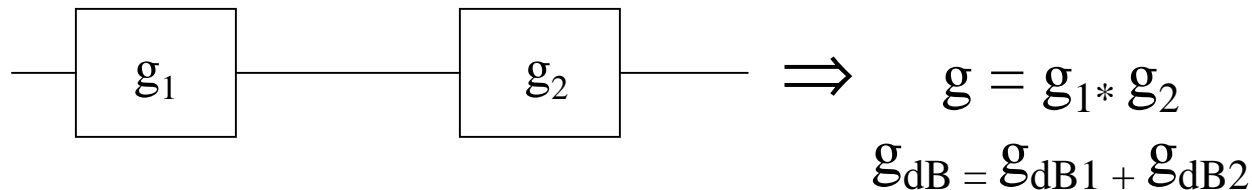
Distorção de Sinais - Atenuação

- Queda de potência com a distância
- Queda logarítmica (dB/distância)
- Quanto maior as frequências \Rightarrow maiores perdas
- Repetidores para regenerar sinal
- Perda e ganho de potência

Decibel



- Ganho (dB) = $g_{dB} = 10 \log_{10} g = 10 \log_{10}(P_{out}/P_{in})$
- $P_{out} = P_{in} \Rightarrow g = 1 \Rightarrow g_{dB} = 0 \text{ dB} \Rightarrow p = 0 \text{ dB}$
- $P_{out} = 10 P_{in} \Rightarrow g = 10 \Rightarrow g_{dB} = 10 \text{ dB} \Rightarrow p = -10 \text{ dB}$



Níveis de Potência



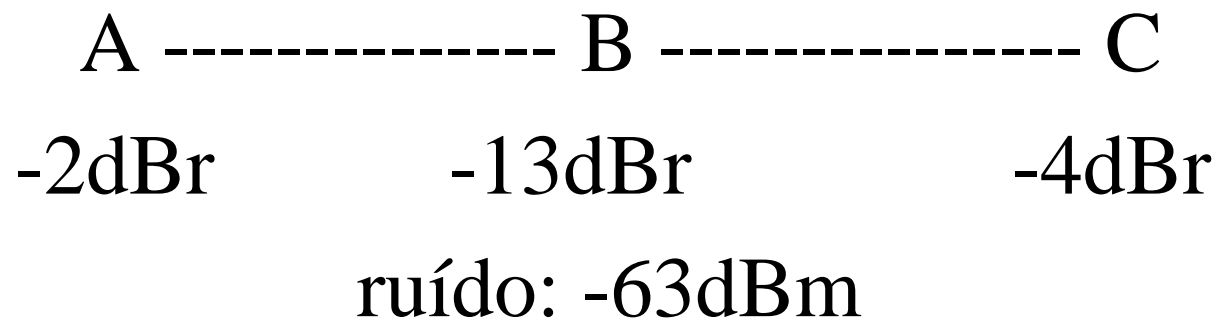
- Decibel: razão entre potências
- Potências: nano a dezenas de Watts
- Nível de potência absoluta: dBm
- Nível de potência relativa: dBr, dBm0

Níveis de Potência



- Absoluta: potência atual comparada com 1mW - dBm
- $10 \log (P/1 \text{ mw})$ dBm
- Relativa: potências em vários pontos em relação a um ponto de referência - dBr
- Ponto de referência pode não ser acessível
- Não fornece a potência atual no ponto

Níveis de Potência



Engenharia de Tráfego



- Qualidade de serviço

X

Redução de investimento

- Medida de tráfego no presente

+

demanda futura

Intensidade de Tráfego



- Medida de tráfego: ERLANG (Erl)
- Percentagem média de uso de um canal
- A razão entre o tempo que um canal está ocupado e o tempo de disponibilidade
- 1 Erl = um canal ocupado/hora na HMM
- Típicos:
 - 0,01(0,6 min/h) a 0,20 Erl (12 min/h)
 - Tel. Móvel: 0,017 (0,03) - Fixa: 0,05 Erl

Intensidade de Tráfego

Exemplos



- Uso de 6 min em 1 hora - 100 mErl
- Máxima intensidade de 2Mbps(30 canais PCM) - 30 Erl
- Número mínimo de ERBs celulares para uma intensidade de 0.05 Erl por usuário



HMM

- Hora do dia (ano) em que o tráfego atinge seu maior valor.
- Seleciona 10 dias no ano com as maiores intensidades de tráfego por 4 períodos consecutivos de 15 minutos.
- Objetivo: encontrar a menor capacidade para cada elemento de rede que atenda ao GoS.

Grau de Serviço (GoS)



- Disponibilidade + Qualidade
- Em telefonia, não inclui tolerância a falhas, taxas de erros, atrasos, etc
- Chamada com sucesso ou bloqueada.
- Tempo de espera para disponibilizar um canal para o usuário.

Probabilidade de Bloqueio



- Tráfego oferecido = cursado + bloqueado
- Percentagem de chamadas bloqueadas
- Qual a capacidade para atender o GoS?
- Valores aceitáveis: 0,2 a 5%
- $T_c = T_o (1 - b)$

P. Bloqueio - Fórmula de Molina



- Taxa de chegada - Poisson
- Distribuição das chamadas - Poisson
- Volume de tráfego equanime por fonte
- Chamadas não atendidas são enfileiradas por certo tempo
- Número de fontes infinito
- $GoS = P(x > n) = 1 - e^{-A}(1 + A/1! + A^2/2! + \dots + A^{n-1}/(n-1)!)$
Onde A é o tráfego ofertado (Erl) e n o número de circuitos

P. Bloqueio - Fórmula de Erlang



- Chamadas não atendidas são bloqueadas
- É mais otimista - Modelo Europeu
- $P = (A^n / n!) / (A^0 + A^1/1! + A^2/2! + \dots + A^n/n!)$
- Tabela no. Circuitos x GoS - Tráfego cursado

Modelos

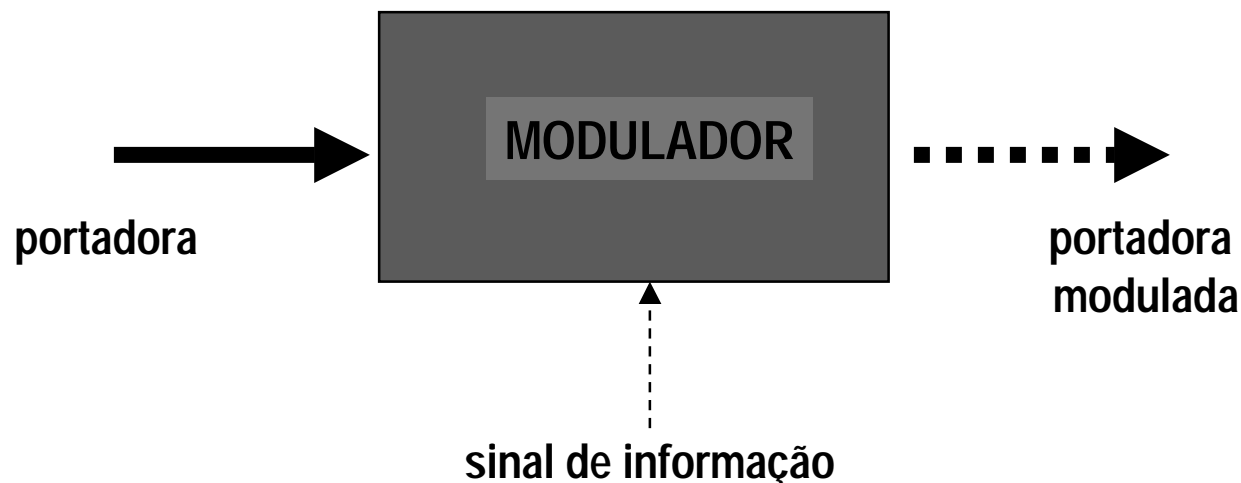


- Rapp, Wilkinson
- Novo conceito
 - Taxa de informação por serviço:
 - Processo estocástico: média, pico, rajada
 - Redes orientadas a circuitos x pacotes
 - Função de Transferência
 - Função semântica - Perda de pacotes - F. dist. para bit errors
 - Função tempo - Atraso - F. dist. para atraso

Modulação



Variar uma das características de uma energia portadora, de acordo com as variações de um sinal que carrega informação.



Modulação



A energia portadora permite atingir distâncias muito maiores que o sinal original, no meio escolhido (fio metálico, fibra óptica ou espaço livre).

Principais técnicas de modulação:

- modulação em amplitude
- modulação em frequência
- modulação em fase
- modulação por codificação de pulsos (MCP)

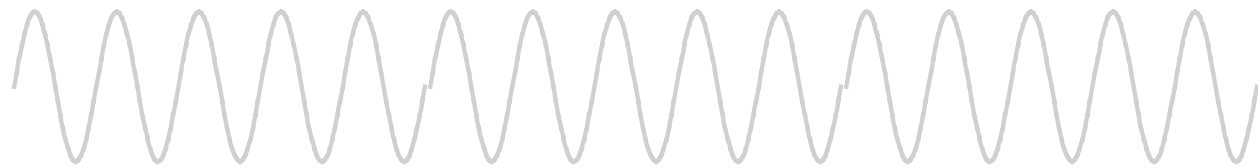
Modulação - AM



Modulação em Amplitude:

Altera a amplitude da portadora de acordo com o sinal modulador.

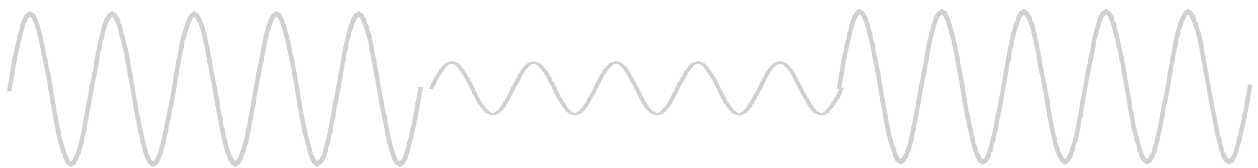
portadora



sinal
modulador



portadora
modulada
em amplitude

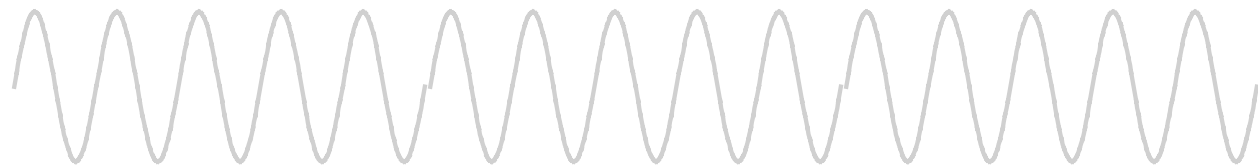


Modulação - FM



Modulação em Frequência:
Altera a frequência da portadora de acordo com o sinal modulador.

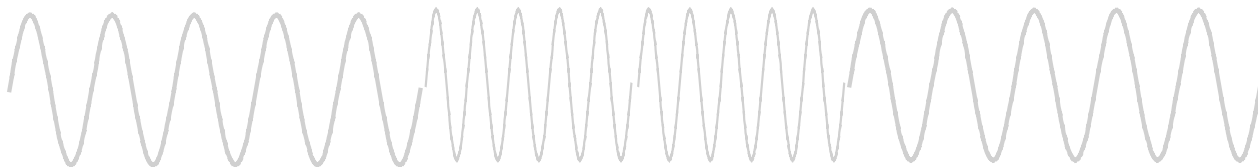
portadora



sinal
modulador



portadora
modulada
em frequência



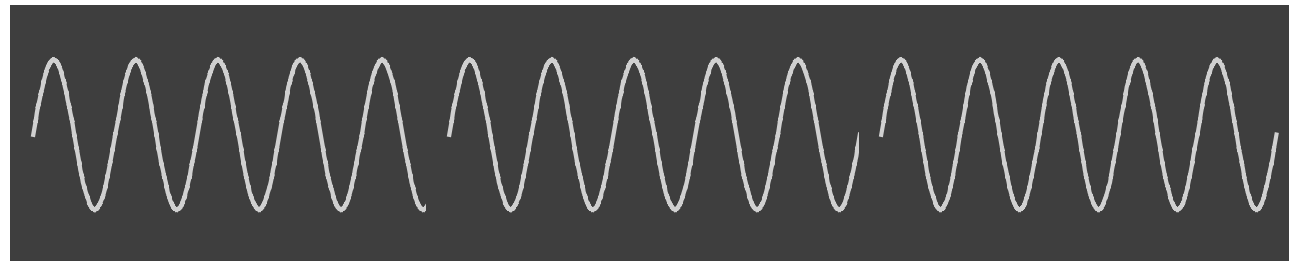
Modulação - PM



Modulação em Fase:

Altera a fase da portadora de acordo com o sinal modulador.

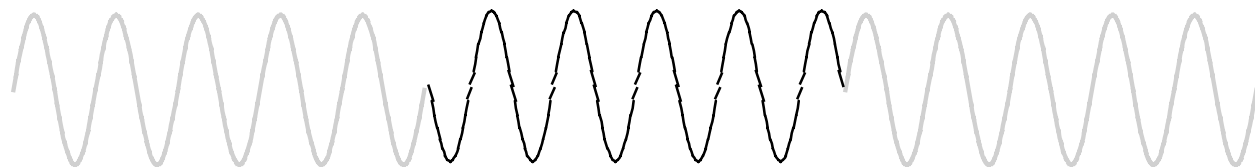
portadora



sinal
modulador



portadora
modulada
em fase



Digitalização



Um sinal analógico pode ser digitalizado usando-se o seguinte teorema:

“Se um sinal for amostrado com, no mínimo, o dobro da máxima frequência nele contida, ele poderá ser recuperado integralmente.”

(Teorema da Amostragem ou Teorema de Nyquist)

Exemplo:

Um sinal de voz com frequência máxima de 4 KHz deve ser amostrado a uma taxa de (no mínimo) 8000 amostragens/segundo.

Digitalização - PCM



Modulação por Codificação de Pulsos (MCP):

Pulse Code Modulation (PCM), é a técnica de digitalização mais utilizada.

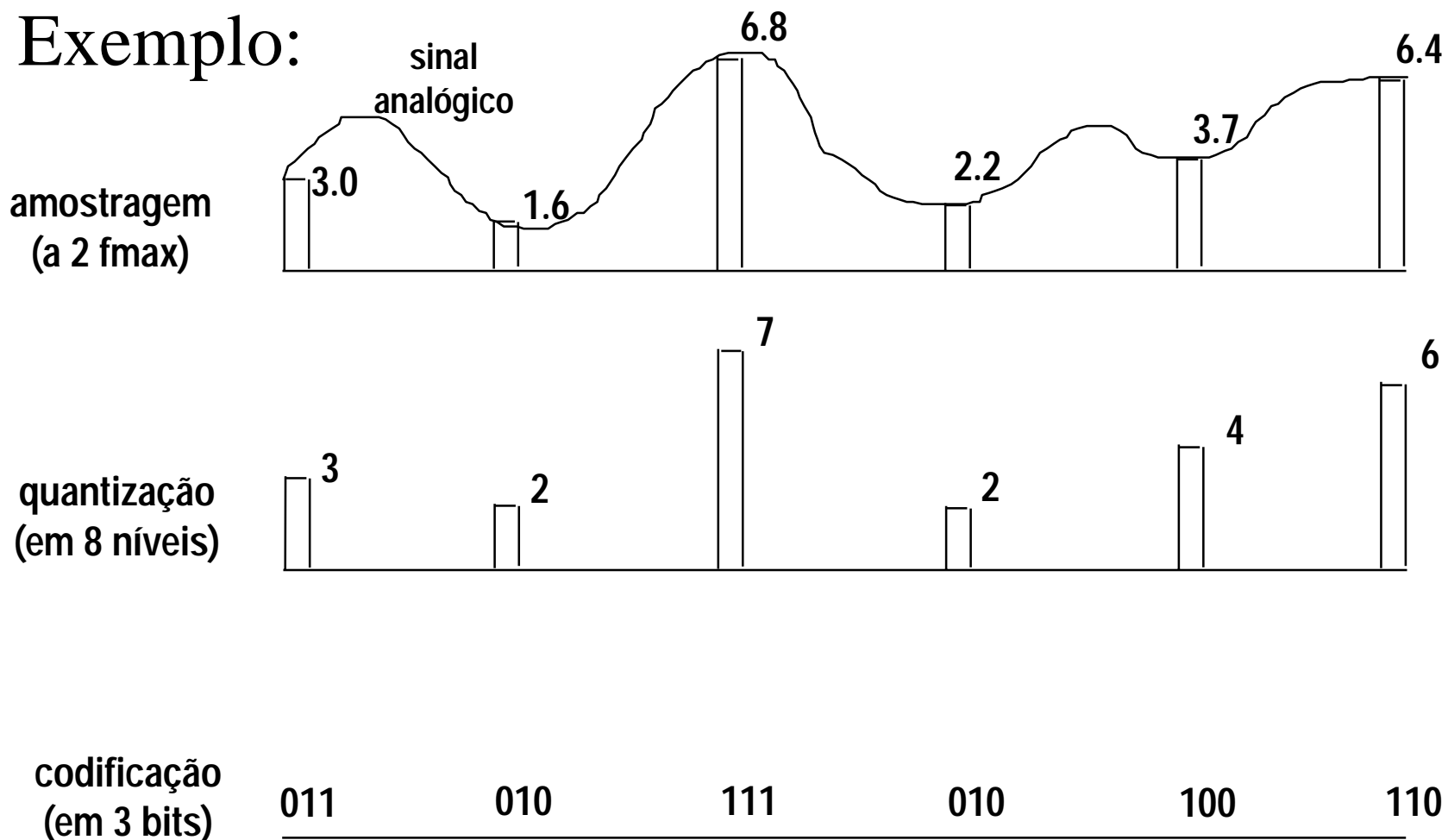
O processo de digitalização usando PCM segue três etapas:

- 1- Amostragem do sinal analógico.
- 2- Quantização dos valores.
- 3- Codificação dos valores em binário.

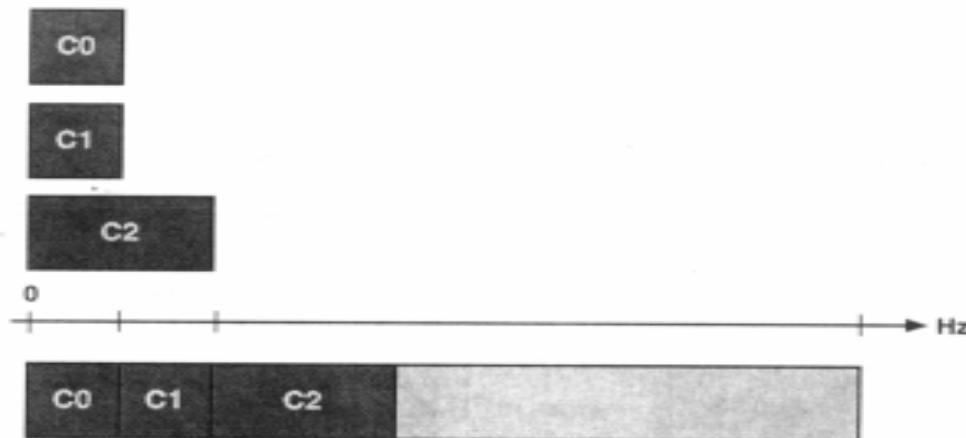
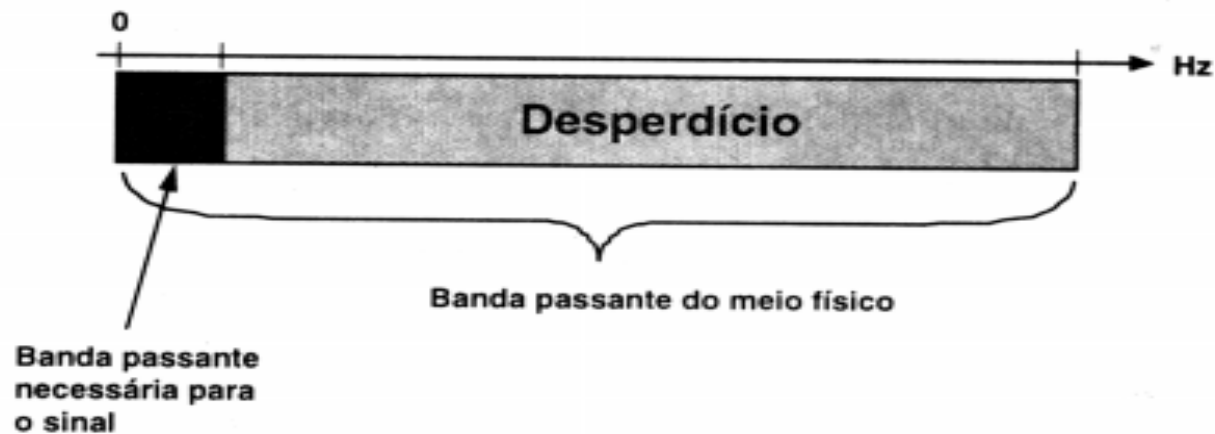
Digitalização - PCM



Exemplo:



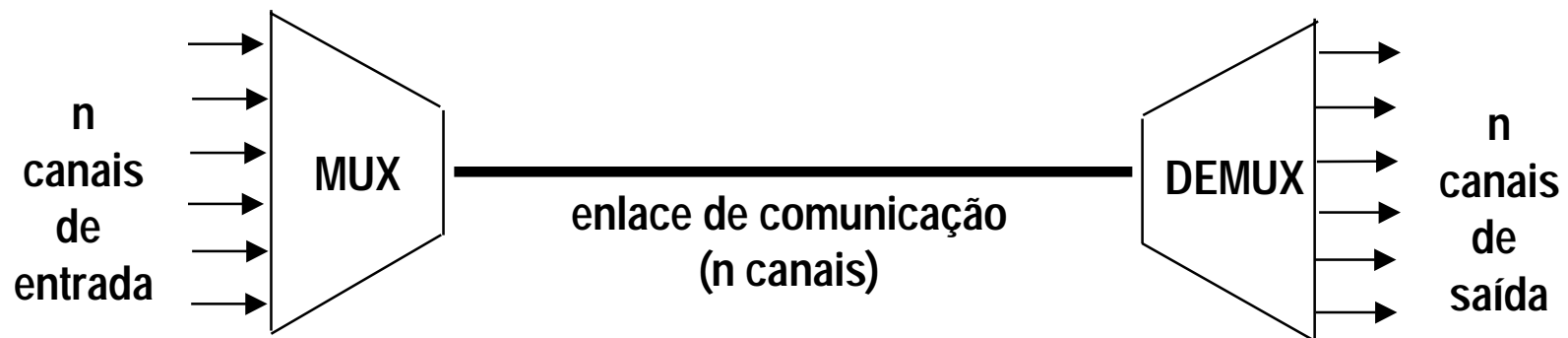
Multiplexação



Multiplexação



É colocar, em um mesmo enlace de comunicação, diversos canais independentes.



Multiplexação - FDM

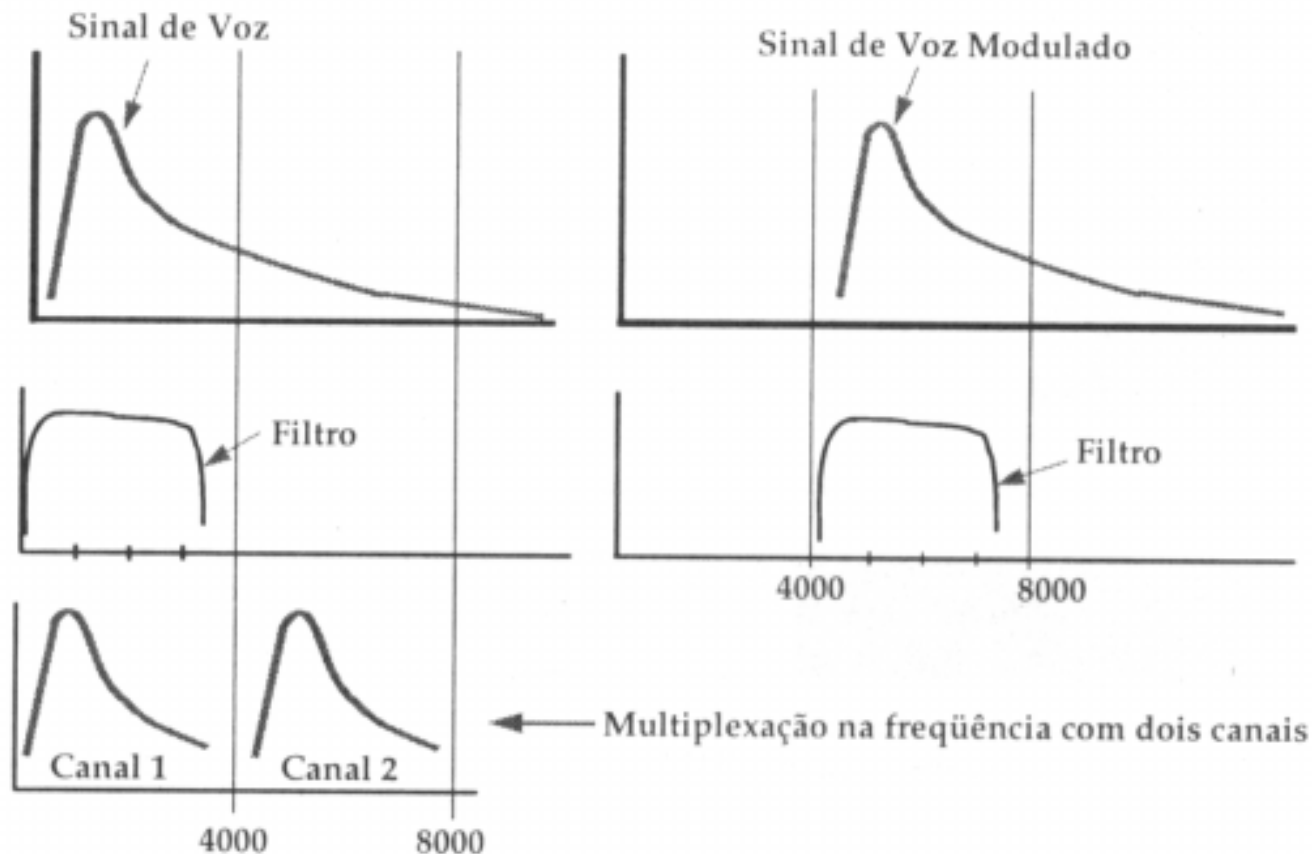


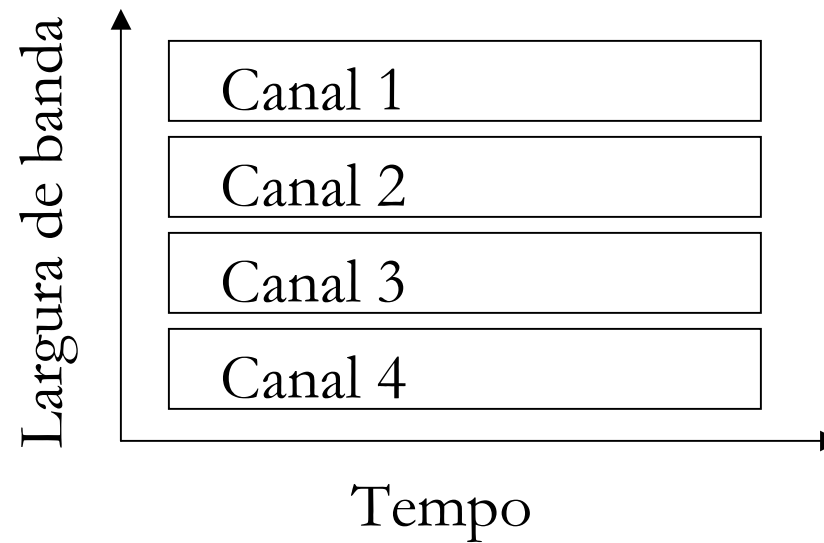
Multiplexação Analógica:

Desloca os canais em frequência, colocando-os lado a lado ao longo da faixa de frequência do enlace.

Esta técnica é conhecida como Multiplexação por Divisão em Frequência - MDF (em inglês *Frequency Division Multiplex* ou *FDM*).

Multiplexação em Frequência



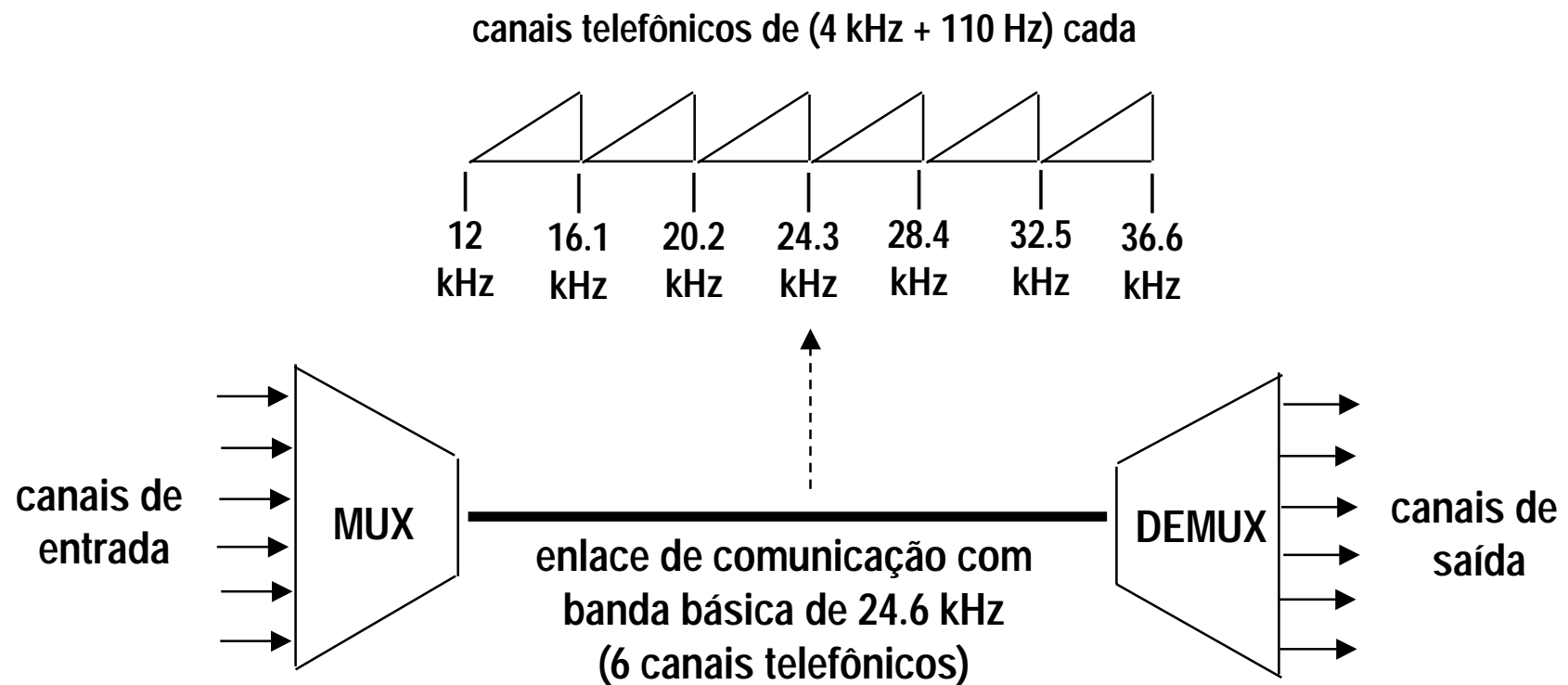


(a) Multiplexação pela divisão da frequência (FDM)

Multiplexação - FDM



Multiplexação por Divisão em Frequência (FDM):



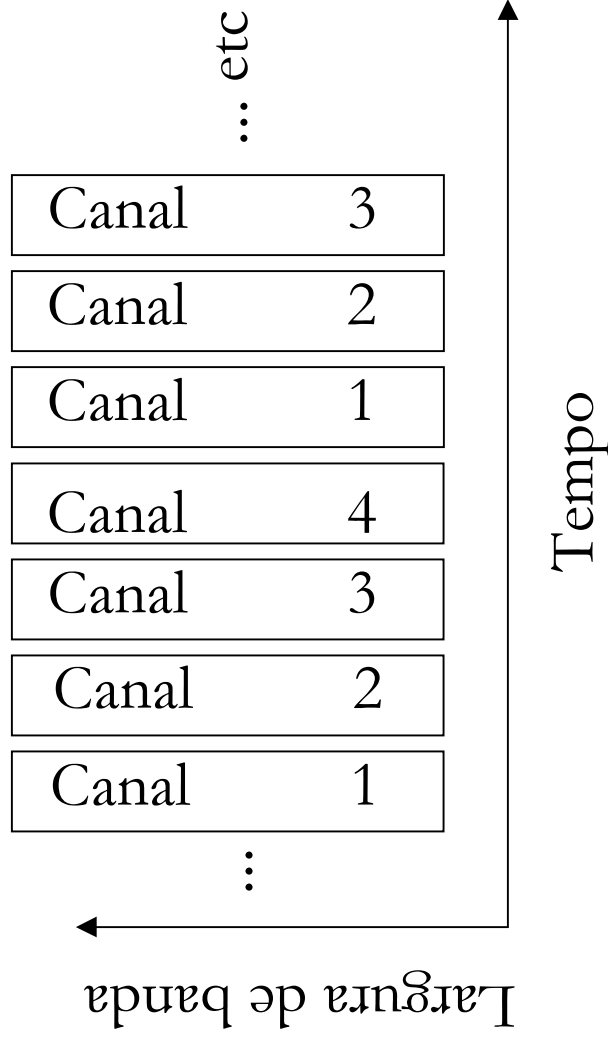
Multiplexação - TDM



Multiplexação Digital:

Trabalha com canais PCM, intercalando-os no tempo. O tempo é dividido em *quadros* e cada quadro contém uma sequência de bits com 1 bit de cada canal.

Esta técnica é conhecida como Multiplexação por Divisão em Tempo - MDT (em inglês *Time Division Multiplex* ou *TDM*).

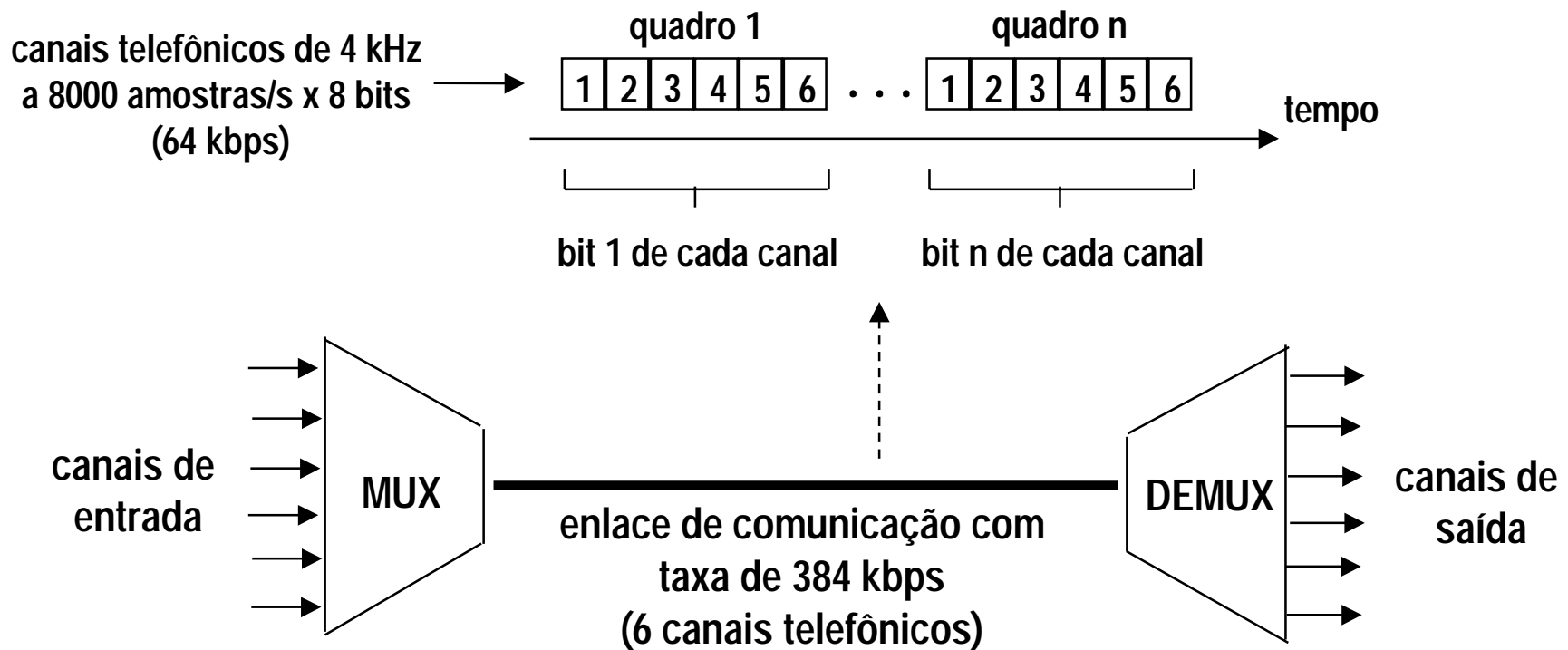


(a) Multiplexação pela divisão do tempo (TDM)

Multiplexação - TDM



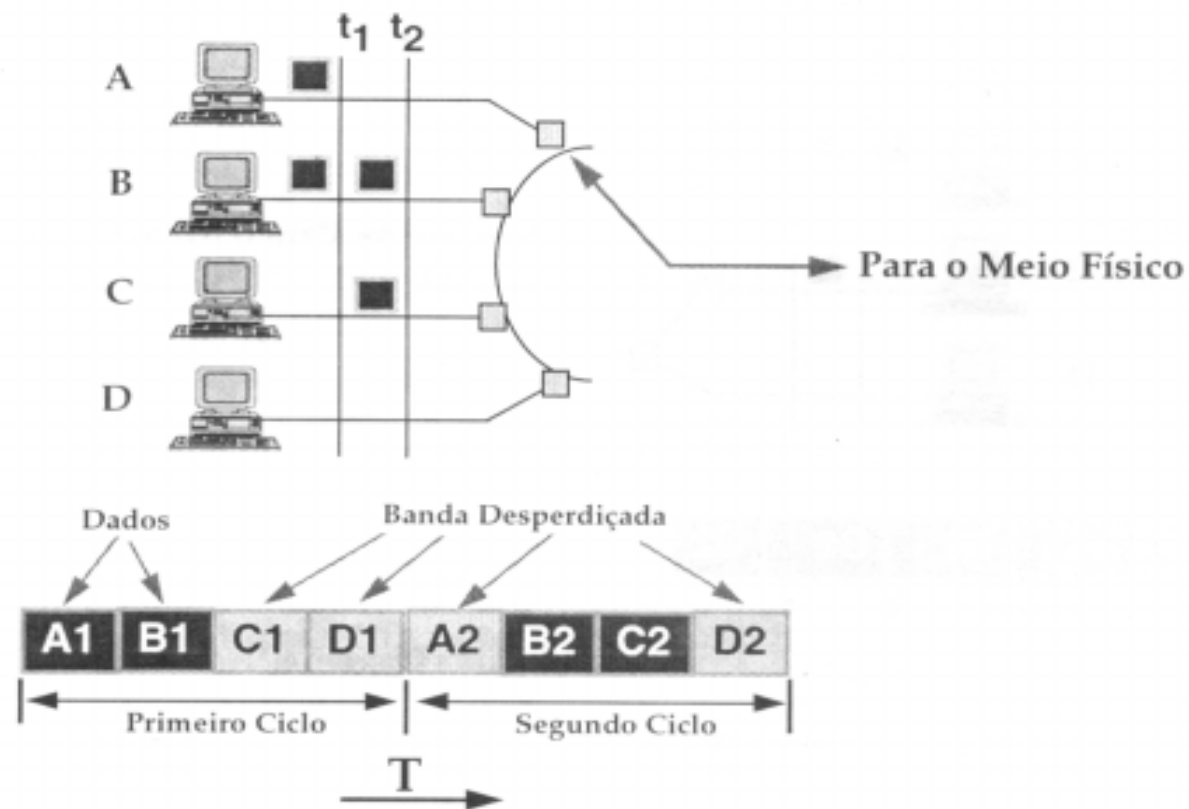
Multiplexação por Divisão em Tempo (TDM):

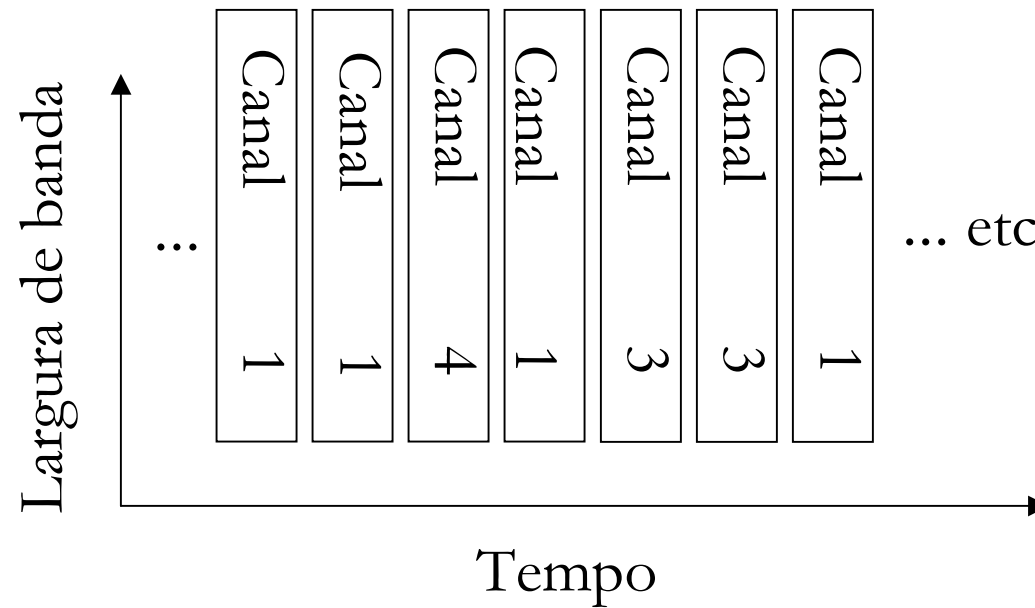


Multiplexação - TDM



TDM Síncrono



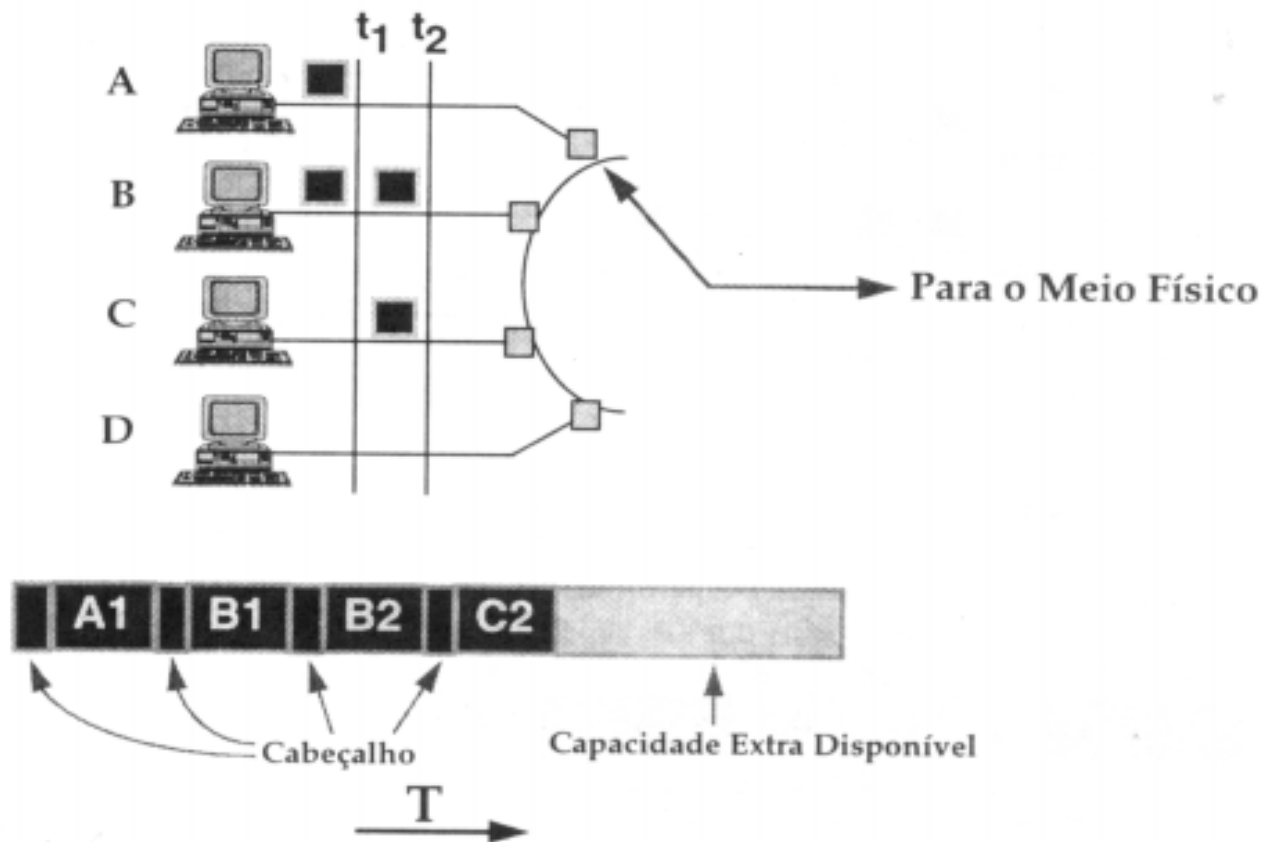


(a) Multiplexação pela divisão estatística do tempo
(STDM)

Multiplexação TDM



TDM Assíncrono



Multiplexação



- STDM - Statistical Time Division Multiplexing
- WDM - Wavelength Division Multiplexing
- CDMA - Code Division Multiplexing Access

Sistemas Celulares



- Técnicas para arquiteturas de acesso de usuários
FDMA (*Frequency Division Multiplexing Access*)
TDMA (*Time Division Multiplexing Access*)
CDMA (*Code Division Multiplexing Access*)
- CDMA disponibiliza toda a banda para os usuários
FDMA uma arquitetura de faixa estreita
TDMA poder ser de faixa estreita ou larga
CDMA de faixa larga



Antenas



- Antenas são transmissores e receptores
Frequências elevadas e pequenos comprimentos de onda:
antenas menores
Baixas frequências e grandes comprimentos de onda:
antenas maiores
- Ganho de uma antena, uma medida logarítmica, expressa em decibéis (dB). Ganho é a taxa de amplificação do sinal
- Antenas omni-direcionais transmitem sinais em todas as direções
- Antenas setorizadas cobrem pequenos setores dentro de uma célula

Interferências



- Interferência co-canal - uso da mesma frequência em diferentes células
- Nível de interferência co-canal é a razão entre a potência do canal transmitido pela soma das potências dos canais de mesma frequência das células vizinhas à primeira
- Interferência adjacente é a interferência de canais adjacentes em uma mesma ERB ou célula

Reuso



- Fator de reuso multiplica o número de canais
- O reuso depende da potência do sinal, das frequências usadas, relevo, ambiente, tipo e altura de antena
- Topologia hexagonal fator é sete
- Distância de reuso é a distância mínima entre duas ERBs transmitindo em canais com a mesma frequência sem que haja interferência mútua

Reuso



- Distância de reuso é dada por:

$$D = R(3N)^{1/2}$$

onde D é a distância de reuso, R o raio da célula e N o fator de reuso

- Fator de redução da interferência co-canal é a razão entre D e R , $q = D/R$
- Maior distância menor interferência co-canal
Menor número de canais por célula, menor a capacidade por célula

Padrões Mundiais Sem Fio



- Integração de voz, dados e serviços multimídia
- Redução de custos
- Competição mais visível para o usuário
- Sistemas 2.5G, 3G e 4G
- ITU-R: FPLMTS (*Future Public Land Mobile Telecommunications*) ou IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications 2000*)
- ETSI: UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)

Comutação



- Alocação dos recursos de rede para a transmissão
- Alocação - Multiplexação
- Comutação de
 - Circuitos
 - Mensagens
 - Pacotes

Comutação de Circuitos



- Circuito dedicado entre dois pontos
 - Estabelecimento do circuito
 - Transferência de informação
 - Desconexão
- Meio dedicado - desperdício de meio
- Taxa de transmissão sempre disponível

Comutação de Circuitos



- Caminho físico por sucessão de enlaces
 - Comutação Espacial ou Física
- Canais de frequência alocados em cada enlace
 - Comutação por Frequência
- Canais de tempo alocados em cada enlace
 - Comutação por Tempo

Comutação de Mensagens



- Circuito não dedicado entre pontos
- Endereço de destino da mensagem acoplado
- Mensagem armazenada e transmitida (store and forward)
- O aproveitamento dos circuitos é maior
- As mensagens são sempre aceitas
- O tempo de transferência aumenta (filas)

Comutação de Pacotes



- Unidade de informação limitada - Pacotes
- Pacotes transmitidos em paralelo reduz atraso de transmissão
- Nós de comutação com menor capacidade de armazenamento
- Recuperação de erros mais eficiente
- Armazena e transmite pacotes endereçados

Circuitos x Pacotes



- Fluxo constante x Rajadas
- Retardo constante x Retardo adicional pelo empacotamento e atraso na entrega aleatório
- Alocação pela taxa de pico x Alocação dinâmica
- Bloqueio de circuitos x Congestionamento nos elementos da rede (filas)
- Mecanismos de prioridades para pacotes

Comutação Rápida



- De Circuitos
 - Despedício de Capacidade dos Meios

⇓

Fast Connect Circuit Switching

 - Detecção de silêncio - TASI (Time Assignment Speech Interpolation)
-
- De Pacotes
 - Atrasos elevados

⇓

Fast Packet Switching

 - Redução de processamento nos nós - redução de controle de erros