

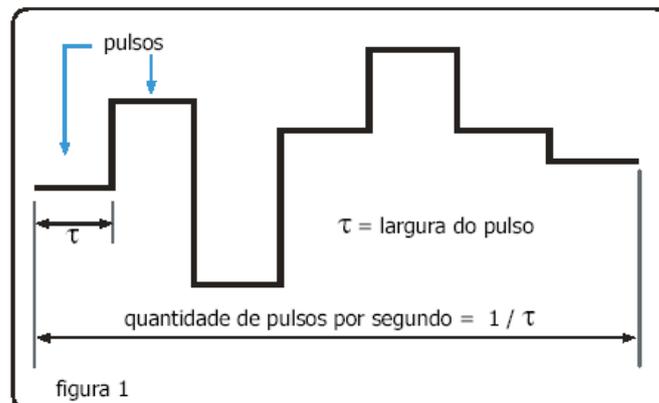
**Curso de Tecnologia em Redes de Computadores**  
**Disciplina: Redes I – Fundamentos - 1º Período**  
**Professor: José Maurício S. Pinheiro**

**AULA 2: Transmissão de Dados**

**1. Velocidade de Modulação [baud]**

Um sinal digital pode ser multinível ou binário. Qualquer sinal digital multinível pode ser representado por um sinal digital binário equivalente. A grandeza que mede a velocidade um sinal digital multinível é chamada de “velocidade de modulação” e é representada por  $V_M$ . A unidade que mede a velocidade de modulação um sinal digital multinível é chamada de **baud**.

Um “sinal digital binário” é um caso particular de sinal digital multinível e assim sendo, um sinal binário também pode ser expresso através de baud. Na figura 1, vemos um sinal multinível. Cada pulso possui um tempo de duração de  $\tau$  segundos. Assim, em 1 segundo teremos  $1/\tau$  pulsos.



**Figura 1 - Sinal Multinível**

A velocidade de modulação é definida como sendo a quantidade de pulsos que ocorre durante certo intervalo de tempo. Esse intervalo de tempo é definido como sendo 1 segundo. Assim sendo, temos:

$$V_M = \text{Quantidade de Pulsos} / 1s$$

$$V_M = 1 / \tau \text{ [bauds]}$$

Exemplo I: Num sinal digital cada pulso possui uma largura de 2,5ms. Calcule a velocidade de modulação desse sinal.

Solução:  $V_M = 1 / \tau = 1 / 2,5 \times 10^{-3} s \Rightarrow V_M = 400 \text{ bauds}$

Exemplo II: Um sinal digital possui uma velocidade de modulação de 5000 bauds. Calcule a largura de cada pulso desse sinal.

Solução: Sabemos que  $\tau = 1 / V_M = 1 / 5000 \Rightarrow \tau = 0,2 \text{ ms}$

Nos dois exemplos não é mencionado se o sinal é binário ou não. Isso não importa, pois a definição de velocidade de modulação vale para qualquer tipo de sinal digital.

## 2. Velocidade de Sinalização [bps]

Em um sinal binário o pulso tem o nome de bit. Assim sendo para um sinal binário, a velocidade de modulação é expressa em bits por segundo, ou seja, **bps**. Nesse caso particular, a velocidade de modulação ( $V_M$ ) passa a ser chamado de  $V_S$ , que é a velocidade de sinalização. Com isso notamos que somente existe  $V_S$  para sinal binário.  $V_S$  também é conhecido por outros nomes: **velocidade de dados, taxa de dados ou velocidade de sinalização de dados**.

Com 1 bit podemos ter  $2^1 = 2$  estados diferentes. Com 2 bits podemos criar  $2^2 = 4$  estados diferentes. Com 3 bits a quantidade de estados sobe para 8, ou seja  $2^3$ . Extrapolando, temos que com “b” bits podemos ter  $2^b$  estados diferentes.

b	$2^b$
0	1
1	2
2	4
3	8
4	16
5	32
6	64
7	128

Assim, se tivermos um sinal com N níveis, basta verificarmos qual a potência de 2 que está mais próxima (igual ou imediatamente superior) ao número N, ou seja:

menor número  $2^b$ , tal que  $2^b \geq N$

Através desse procedimento fica extremamente fácil passarmos de um sinal multinível para um sinal binário equivalente.

Exemplo I: Considere um sinal digital de 32 níveis. Se a largura de cada pulso desse sinal vale 1ms, qual é a taxa de dados do sinal binário equivalente?

Solução: Para calcularmos a taxa de dados [bps] , devemos primeiro calcular a velocidade de modulação desse sinal.

$$V_M = 1 / 1\text{ms} = 1.000 \text{ bauds}$$

Com 32 níveis, a potência de 2 que mais se aproxima é  $2^5$ . Logo para representar cada um dos 32 níveis existentes, necessitaremos de 5 bits. Assim sendo, para cada baud teremos 5 bits e conseqüentemente esse sinal terá uma taxa de dados de  $1.000 \times 5$  , ou seja 5.000 bps.

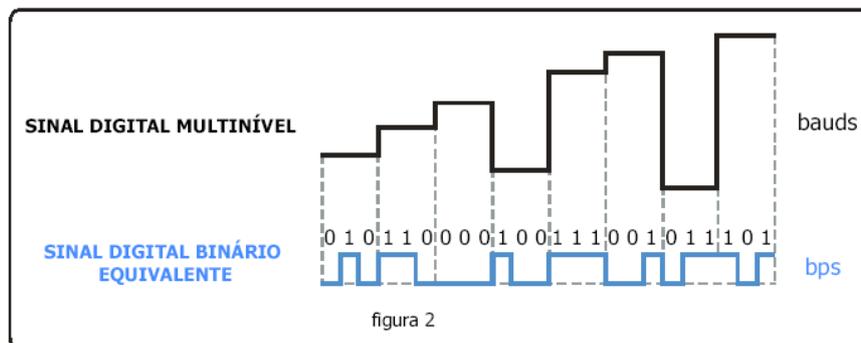
Exemplo II: Se o sinal do exemplo anterior apresentasse 100 níveis e largura de cada pulso igual a 100ms, qual é a taxa de dados do sinal binário equivalente?

Solução:  $V_M = 1 / 100\text{ms} = 10.000$  bauds. A potência de 2 que mais se aproxima de 100 e é imediatamente superior a este, é  $2^7$ . Logo, para representar cada um dos 100 níveis precisamos de 7 bits.

$$\text{Então: } V_S = 10.000 \times 7 = 70.000 \text{ bps ou } 70 \text{ kbps}$$

Pelos exemplos anteriores, notamos que  $V_S = b \times V_M$ .

Vemos isso graficamente, para um sinal de 8 níveis na figura 2.



**Figura 2 - Sinal Digital Multinível**

Mas qual a vantagem de transmitirmos um sinal na forma multinível? Para respondermos a essa pergunta, devemos acompanhar as figuras 3 e 4.

Na figura 3 notamos que o período do sinal é:  $T = 2 \times \tau$  segundos.

Logo, a frequência do mesmo é  $f = 1 / (2\tau)$  Hz e além disso essa é a máxima frequência fundamental que esse sinal pode possuir, logo:

$$f_{\text{MÁX}} = 1 / (2\tau) \text{ Hz}$$

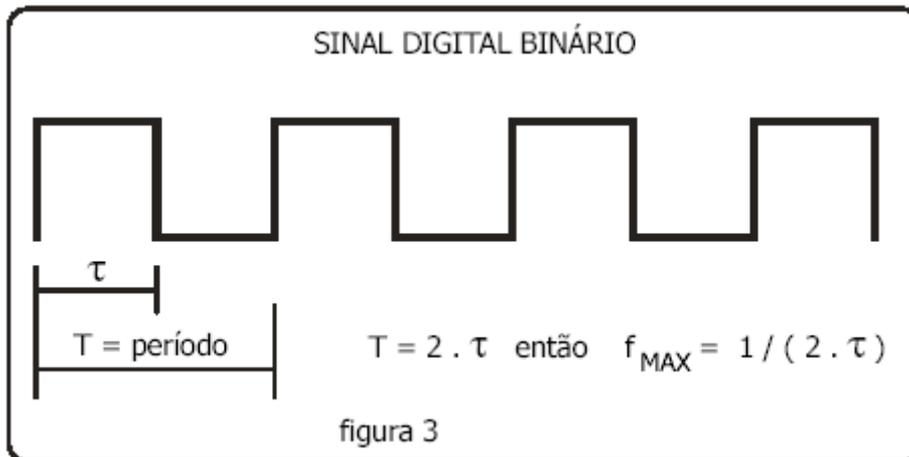


Figura 3 - Sinal Digital Binário

Observando a Figura 4, notamos então que um sinal multinível possui uma frequência menor que o sinal binário; isso é importante nos casos onde necessitamos de uma taxa de dados relativa alta, mas temos limitação da largura de banda imposta pelo meio de transmissão. Por isso foram desenvolvidas técnicas de modulação do sinal digital binário, a ser transmitido no meio físico de transmissão com múltiplos níveis, para representar os bits a serem transmitidos.

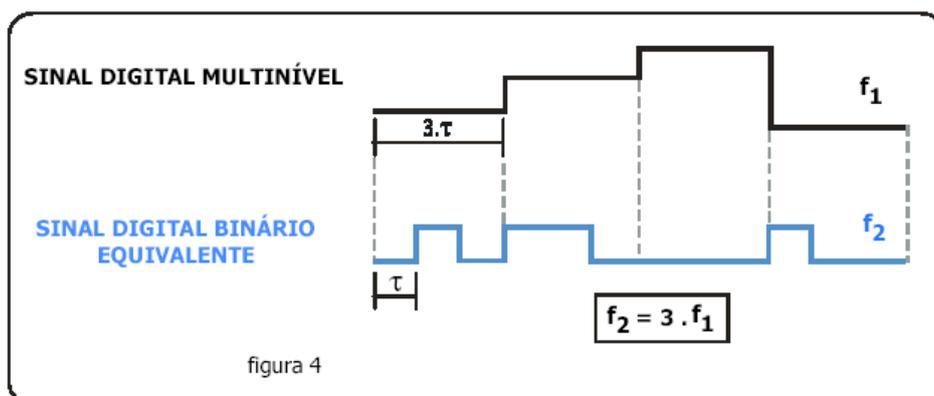


Figura 4 - Sinal Digital Binário Equivalente

### 3. BANDA BÁSICA X MODULAÇÃO

Sabemos que um sinal digital é distorcido ao passar por um meio de transmissão analógico. Caso a distância e a velocidade de transmissão não sejam grandes, o problema é contornável, pois podemos, mesmo com distorção, enviar o sinal no formato digital sobre esse meio, desde que tenhamos o cuidado de controlar o binômio taxa de dados x distância de transmissão. Ou seja:

- Ao aumentarmos a taxa de dados, devemos diminuir a distância.
- Ao aumentarmos a distância, devemos diminuir a taxa de dados.

Obviamente, isso é uma limitação, entretanto, em muitos casos é bastante razoável nos submetemos a esse procedimento. Mas, e se não pudermos diminuir um dos parâmetros em detrimento do outro, o que fazer? Se não pudermos ficar submetidos a essa limitação, devemos arranjar outro modo para transmitirmos nossos dados.

Temos duas possibilidades de enviar dados sobre um meio de transmissão analógico:

1. Transmitir diretamente em forma digital (sem modulação). Chamamos isso de transmitir em banda básica;
2. Transmitir o sinal usando o processo de modulação

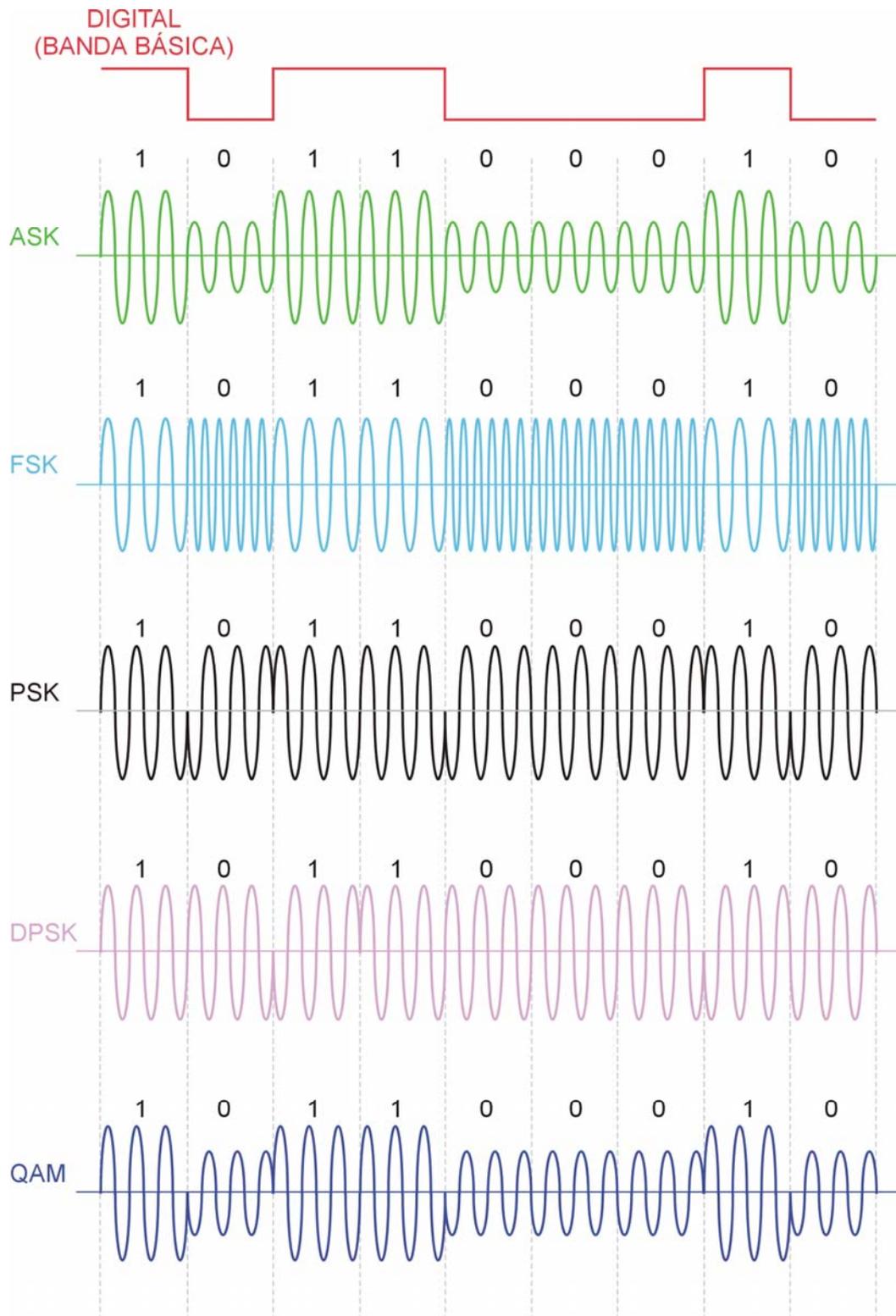
#### 3.1 MODULAÇÃO

Modulação, sob a visão da comunicação de dados, é o processo pelo qual valemo-nos de um sinal analógico para “imprimir” neste, a informação digital que desejamos enviar pelo meio de transmissão. Existem muitos modos pelos quais podemos executar uma modulação. Já vimos que um sinal analógico (uma senóide, por exemplo) possui três parâmetros que podem ser modificados:

- Amplitude
- Frequência
- Fase.

### 3.2 Tipos de Modulação

- **ASK** (*Amplitude Shift Keying*) - chaveamento por deslocamento de amplitude - É a modulação na qual alteramos a amplitude do sinal analógico de acordo com os níveis que desejamos transmitir, conforme mostramos na figura 5;
- **FSK** (*Frequency Shift Keying*) - chaveamento por deslocamento de frequência – É a modulação na qual alteramos a frequência do sinal analógico de acordo com os níveis que desejamos transmitir. Na figura 5 mostramos o sinal modulado considerando que o sinal digital original é um sinal binário;
- **PSK** = (*Phase Shift Keying*) - chaveamento por deslocamento de fase - É a modulação na qual alteramos a fase do sinal analógico de acordo com os níveis que desejamos transmitir. Na figura 5, consideramos que a transmissão do bit “1” tem sempre a fase igual a  $0^\circ$  (fixa) e o bit “0” tem sempre a fase igual a  $180^\circ$  (fixa), mas deve ficar claro que isso pode ser invertido, de acordo com o sistema de modulação do usuário.
- **DPSK** = (*Differential Phase Shift Keying*) - chaveamento por deslocamento de fase diferencial - É a modulação na qual alteramos a fase do sinal analógico de acordo com os níveis que desejamos transmitir. Entretanto existe aqui uma diferença importantíssima em relação à modulação anterior (PSK). Quando passamos de qualquer bit, para o bit “0”, não alteramos a fase do sinal. Quando passamos de qualquer bit, para o bit “1”, alteramos em  $180^\circ$  a fase do sinal. Na figura 5 mostramos o sinal modulado considerando que o sinal digital original é binário;
- **QAM** = (*Quadrature Amplitude Modulation*) - modulação em quadratura de amplitude - É a modulação que combina dois tipos anteriormente vistos: ASK + PSK. Logo, alteramos tanto a amplitude como a fase do sinal, de acordo com os níveis que desejamos transmitir. É o processo usado quando temos sinais de muitos níveis digitais a serem transmitidos. Na figura 5 mostramos o sinal modulado considerando que o sinal digital original é um sinal binário.



**Figura 5 – Tipos de Modulação**

## Exercícios

1. Considere que temos dois sinais digitais, um com 32 níveis e outro com 64 níveis. Ambos possuem pulsos com largura de 0,01ms. Quais são as taxas de dados dos binários equivalentes para esses dois sinais?
2. Considere que temos dois sinais digitais, um com 16 níveis e outro com 256 níveis. Eles possuem larguras de pulso, respectivamente iguais a 50 $\mu$ s e 100 $\mu$ s. Quais são as taxas de dados dos binários equivalentes para esses dois sinais?
3. Um sinal digital "A" de 4 níveis é tal que possui um equivalente binário com a mesma taxa de dados ao de um sinal digital de 55 níveis e com largura de pulso igual a 0,1 ms. Nessas condições, qual é a largura de pulso do sinal digital "A"?
4. Um sistema de transmissão em formato binário possui uma largura de pulso igual a 1ms. Qual é a taxa de dados desse sinal?
5. Um sinal A possui uma velocidade de modulação de 2500 bauds. Um sinal B possui uma taxa de dados de 2500 bps. Qual dos dois sinais possui a maior velocidade de sinalização de dados?
6. Um sinal digital de 16 níveis possui uma velocidade de modulação de 2000 bauds. Qual é a taxa de dados do seu binário equivalente? Compare as frequências dos dois sinais, o multinível e seu binário equivalente.
7. Desejamos enviar dados em um meio de transmissão a uma velocidade de 64.000bps. O meio de transmissão no qual desejamos enviar esses dados permite passar sinais cuja máxima frequência fundamental seja 6,4 kHz. Faça um estudo e informe se é possível passarmos os dados, em formato binário, por esse meio. Se não for possível, determine qual o recurso mínimo que devemos ter, em relação ao sinal, para que os dados possam fluir por esse meio de transmissão.