

# Redes de Computadores

## Professor Marco Antônio C. Câmara

### Apostila 08 - Técnicas de Modulação Analógicas

#### 1. Objetivo

Nesta aula, iniciaremos o estudo das técnicas de modulação, importantíssimas para que possamos entender como as informações digitais são transferidas, no emissor, para os meios de comunicação e recuperadas posteriormente pelo receptor.

Como entenderemos no decorrer deste texto, existem duas técnicas bem diferentes : a modulação analógica e a modulação digital. Nesta apostila, estudaremos a primeira delas, e também a mais comum para o usuário iniciante : a modulação analógica. É bem provável que você já a utilize na sua casa, mesmo sem saber.

Na verdade, a grande maioria das linhas telefônicas existentes nas residências são analógicas, o que permite que as mesmas transmitam informações analógicas, como a voz. Por outro lado, para que um computador na sua residência possa se conectar à Internet, por exemplo, ele precisa transferir informações digitais. Portanto, para garantir o uso de um meio analógico como uma linha telefônica para transferência de informações digitais, precisamos de um conversor entre estes dois sistemas, ou melhor, o MODEM (MODulador/DEModulador).

#### 2. "Modulação" e "Modem"

A modulação é uma técnica que permite modificar um sinal de características conhecidas, de forma que ele seja capaz de carregar informações. Tipicamente, este sinal de características conhecidas é chamado de portadora e o sinal resultante (que vai ser colocado no meio físico pelo emissor) é o sinal modulado.

A partir do conhecimento da portadora original e de suas características, é possível ao receptor descobrir que informações foram codificadas na mesma, e assim recuperá-las, tornando a comunicação possível.

Resumindo o processo, teremos, no emissor, um equipamento<sup>1</sup> responsável pela "modulação"). Ele será responsável pela "conversão" da portadora em um sinal que contém as informações digitais. Do outro lado, teremos um outro equipamento responsável pela decodificação da informação (chamado de demodulador). Como na maior parte dos ambientes atuais é difícil separar em termos funcionais (e até mesmo físicos) o emissor e o receptor, normalmente temos um equipamento que é capaz de fazer os dois papéis ao mesmo tempo, ou melhor, um modem (a palavra vêm da junção das palavras **modulador** e **demodulador**.).

### 3. Os tipos de modulação

Quando o sinal da portadora é analógico, temos uma modulação analógica. Quando a portadora é um sinal digital, temos a modulação digital. Em ambos os casos, para efeito do nosso estudo, as informações codificadas serão sinais digitais<sup>2</sup>.

Nesta nossa primeira apostila, estudaremos as técnicas aplicáveis à modulação analógica. Só para exemplificar, quase a totalidade dos modems utilizados por usuários domésticos para conexão com a Internet são modems analógicos. Por este motivo, falamos a pouco que talvez você mesmo já usasse a modulação analógica sem saber ...

Entendendo como funciona a modulação analógica, acabaremos por conhecer o princípio de funcionamento dos modems domésticos, que é o nosso grande objetivo nesta aula.

### 4. Uma portadora típica e suas propriedades

É muito fácil observar como a natureza reage as modificações nos seus estados físicos. Por exemplo, ao tentar arrastar uma caixa pesada no chão, somos impedidos pela reação do atrito com o solo.

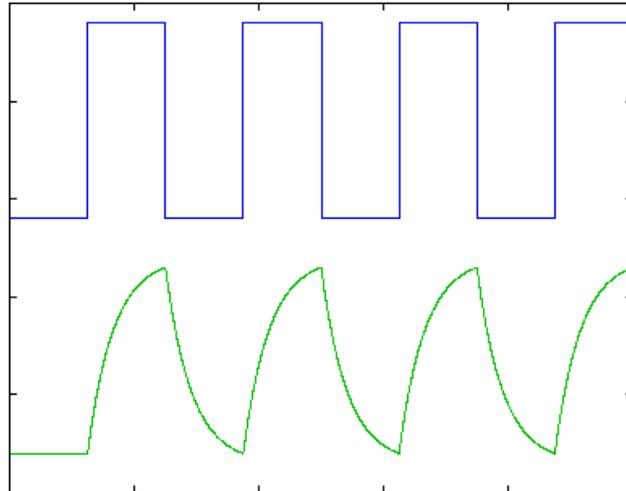
Embora não seja tão visível como neste exemplo óbvio, a natureza também reage a modificações nos estados elétricos. Esta reação, conhecida pelos engenheiros eletricitas, possui diversas formas. Ela varia em função do tipo de modificação que estamos tentando fazer. Quando por exemplo queremos provocar o movimento dos elétrons dentro de um cabo elétrico (ao passar uma corrente elétrica, por exemplo), a natureza reage sob a forma de um "atrito elétrico", tecnicamente chamado de resistência elétrica.

---

<sup>1</sup> É importante não ser muito rigoroso na interpretação da palavra "equipamento". Na verdade, um *modem* é normalmente constituído de partes de *hardware* e partes de *software/firmware* (ou até totalmente de *software*, como vemos nos microprocessadores mais modernos ...).

<sup>2</sup> Com o avanço das técnicas de representação digital de informações, cada vez mais as informações do homem moderno passam a ser representadas no formato digital. Foi assim com os discos de vinil (substituídos pelos CD's), com os telefones e agora também com a televisão (HD-TV). Tudo leva a crer, então, que em breve as informações codificadas serão praticamente todas digitais (mesmo que as portadoras não o sejam !).

No entanto, quando estamos tentando transmitir informação por um meio físico como um cabo elétrico, por exemplo, é necessário garantir que a corrente elétrica circulante tenha suas propriedades variando com o tempo, ou não conseguiremos representar nada! Por este motivo, a portadora normalmente é um sinal com propriedades variáveis com o tempo de acordo com uma função periódica qualquer.



**Figura 1** - Onda quadrada original e a onda dente-de-serra resultantes após distorção provocada pelo encaminhamento através de meio físico típico.

Existem diversos tipos de portadora, cada qual representada por uma função periódica específica. Imaginando um sinal digital, vem à nossa mente a imagem de uma onda quadrada, já que esta representa os "0s" e "1s" dos bits a serem transmitidos. Infelizmente, no entanto, se decidíssemos injetar uma onda quadrada diretamente em um meio físico convencional, suas variações bruscas de tensão provocariam uma reação muito forte. Por consequência, teríamos uma distorção significativa, inviabilizando a interpretação dos dados no receptor. Na Figura 1, vemos o efeito da distorção sobre uma portadora quadrada em um meio físico típico. No entanto, em meios físicos específicos, ou com distâncias limitadas, é perfeitamente possível injetar diretamente o sinal no meio físico. Temos a chamada modulação em banda base, ou modulação digital, que será analisada na próxima apostila.

Por outro lado, por razões que só a natureza e alguns matemáticos privilegiados conseguem explicar, temos uma função periódica bem menos sujeita a estas reações naturais. Esta função é a senoide. A maior prova de que isto é verdade é que qualquer sinal, independente de sua função periódica representativa, pode ser representado pela soma de uma série de senóides. Este teorema, demonstrado pelo matemático Fourier a muito tempo atrás, é chamado de "transformada de Fourier". Nós vamos entender melhor as aplicações deste teorema um pouco mais tarde, mas vale a pena saber de sua existência só para mostrar porque a senoide foi a função periódica escolhida como ideal como portadora nos sistemas de comunicação.

De nada adiantaria uma portadora se não tivéssemos a intenção de modificar as suas propriedades para inserir as informações desejadas. Por este motivo, é muito importante conhecer as principais propriedades de uma portadora típica. Na Figura 2, vemos um senoide típica e suas propriedades.

**Amplitude** : é a diferença de ordenada entre o ponto mais alto e mais baixo do sinal. É medida normalmente em volts (V), no caso de sinais elétricos.

**Período** : como o gráfico representa uma função periódica com o tempo, o eixo dos  $x$  representa o tempo. O período é o tempo para montagem de um ciclo completo da portadora, medido em segundos.

**Frequência** : representa a quantidade de vezes por segundo

em que o sinal sofre alterações de no seu estado, ou melhor, o inverso do período. É medida em Hertz (Hz). No caso específico de comunicação de dados, pode também ser usada a unidade *baud*, um termo cada dia menos utilizado.

**Fase** : analisando o gráfico, esta corresponde ao período de tempo decorrido entre o início dos tempos (posição 0,0 do gráfico) e o início do próximo ciclo. No entanto, ao invés de ser medida em segundos, a fase é medida em graus. Considera-se que um ciclo completo “mede”  $360^\circ$ . Como a fase será sempre menor que um ciclo (observe o prolongamento pontilhado à esquerda do “primeiro” ciclo), seu valor pode variar entre  $0^\circ$  e  $360^\circ$ .

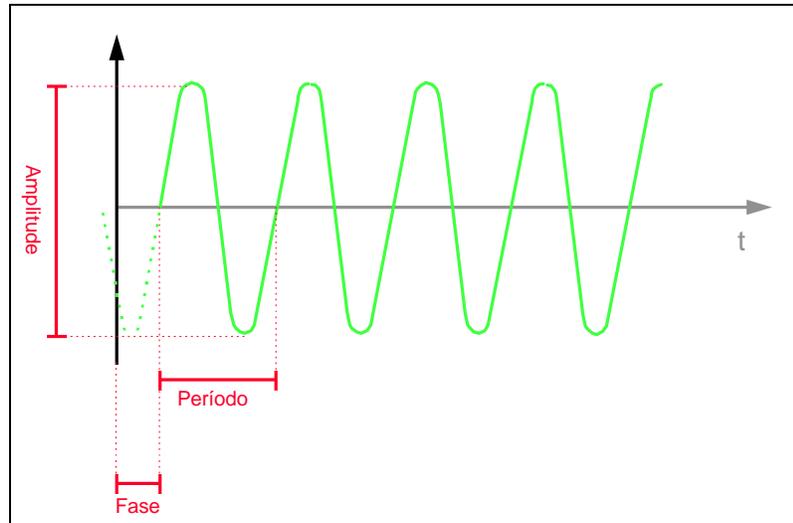


Figura 2 - Uma portadora típica e suas propriedades

## 5. O limite Nyquist & Portadoras em Linhas Telefônicas

Criadas para comunicação direta entre pessoas, as linhas telefônicas são hoje muito utilizadas também para tráfego de dados. Tal uso implica em uma série de limitações de performance, segurança e estabilidade. Estas limitações atingem todo o sistema público de linhas chaveadas para telefonia (PSTN - *Public Switched Telephone Network*).

Entre as principais limitações a que está sujeita uma linha telefônica está a baixa frequência de sinalização. Como a voz humana pode ser representada por sinais sonoros com frequência variando entre 300 e 3.300 Hz, a faixa de frequências (também conhecida como banda de passagem) necessária para a transmissão da voz é de apenas 3.000 Hz, uma faixa muito estreita para as aplicações de comunicação de dados. Isto também implica na limitação da frequência máxima da portadora. É ainda mais fácil explicar esta limitação se discutirmos um conceito matemático descoberto em 1928.

Foi em 1928 que o matemático Nyquist demonstrou uma relação entre a frequência de um sinal e a taxa de amostragem necessária para garantir a reprodução do

mesmo sinal em um receptor. Esta relação, conhecida como **limite Nyquist**, determina que a taxa de sinalização em Hz não precisa ser superior a duas vezes a frequência do sinal. Garantindo este limite, temos a recepção do sinal sem perda de informação. Somando isto à redução de 50% provocada pelas técnicas de modulação, chegamos a uma taxa de sinalização igual ou inferior a 3.000 Hz (tipicamente 2.400 Hz).

No entanto, como sabemos, existem modems que superam, e muito, a taxa de 3.000 bps. A solução adotada pelos fabricantes para permitir tais taxas de transferência mais elevadas foi projetar modems que agrupassem uma seqüência de bits, associando cada possível conjunto de bits a um valor específico no momento da modulação. Obviamente, isto implica em abandonar o sistema binário, já que passarão a existir diversos estados diferentes a serem codificados. No entanto, como cada um dos diferentes estados na verdade representa um conjunto de bits, adota-se sistemas de numeração múltiplos de 2 apenas durante a modulação/demodulação. Esta técnica pode formar, por exemplo, grupos de dois ou três bits e transmiti-los com base em valores de amplitude ou fase de um grupo de 4 ( $2^2$ ) ou 8 ( $2^3$ ) estados possíveis de amplitude/fase.

## 6. As técnicas (ou tipos) de modulação convencionais :

A alteração de uma das propriedades de uma portadora de forma a representar informações digitais é a modulação propriamente dita. Como vimos, temos três propriedades diferentes que podem ser modificadas. Consequentemente, podemos ter a modulação por amplitude, por frequência ou por fase. A seguir apresentamos os três diferentes tipos de modulação. Como veremos, o termo chaveamento, ou *keying*, em inglês, é também utilizado para representar a modulação.

### 6.1. ASK (*Amplitude Shift-Keying*) ou Modulação por Amplitude :

Como o próprio nome já diz, trata-se da modulação onde a propriedade alterada é a amplitude da portadora. Na Figura 3, podemos ver o efeito deste tipo de modulação em uma portadora senoidal. Observem que o sinal

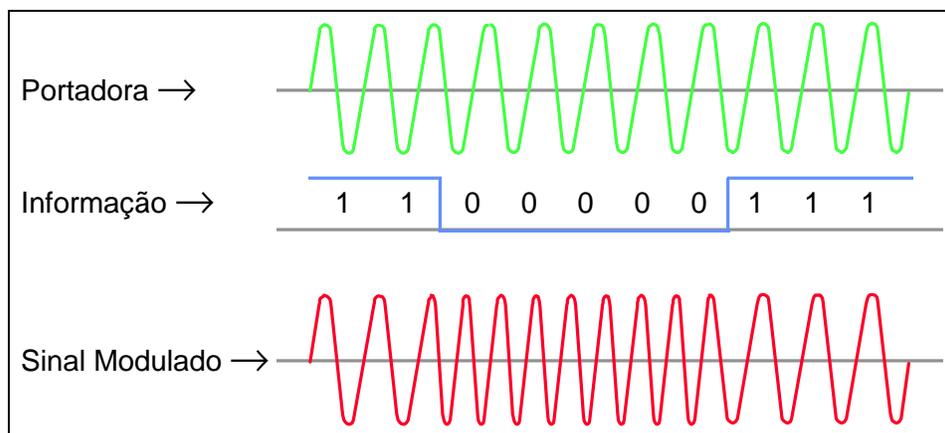


Figura 3 - Efeito da modulação ASK sobre uma portadora senoidal

modulado (em vermelho), tem sua amplitude variando em função do valor binário da informação (em azul). No entanto, as demais características da portadora (em verde), como frequência e fase, são mantidas.

Bastante simples de entender e também de implementar, a modulação em amplitude vem sendo utilizada a muito tempo em telecomunicações em geral. É o método utilizado pelas emissoras de rádio AM (dá para adivinhar o que significa AM ?), pelo sinal de vídeo da televisão de nossas casas etc. No entanto, para aplicações de comunicação de dados, a modulação em amplitude pura<sup>3</sup> tem alguns problemas.

Para entender o principal problema associado à modulação em amplitude, é importante discutir a natureza dos ruídos, ou sinais interferentes. Entende-se como ruído um sinal indesejado que se apresenta agregado ao sinal modulado no receptor.

A maior parte das fontes naturais e artificiais de ruídos provocam alterações na amplitude dos sinais modulados. Desta forma, uma alteração causada pelo ruído pode ser confundida com a informação codificada, já que ambas alteram a amplitude do sinal modulado. Felizmente o uso do sistema de codificação digital binário torna mais difícil confundir ruído com informação. No entanto, ruídos de amplitude mais elevada ou sistemas que utilizem codificação com mais de dois estados<sup>4</sup> (não binários) tornam a modulação por amplitude demasiadamente sujeita a falhas causadas por interferências.

Outro problema é a chamada distorção de atenuação. Muitos meios físicos e equipamentos ativos são sujeitos a distorções causadas pela variação indesejada da atenuação de um sinal em função de características não controladas. Como esta atenuação variável acaba implicando em variações de amplitude, o receptor pode confundir a distorção com informação, o que é inaceitável. Recursos mais modernos permitem garantir uma resposta de amplitude estável no meio de transmissão, o que acaba por minimizar os efeitos deste problema.

Estes problemas acabaram por reduzir significativamente a utilização da modulação em amplitude em ambientes de comunicação de dados.

## 6.2. FSK (*Frequency Shift-Keying*) ou Modulação por Frequência :

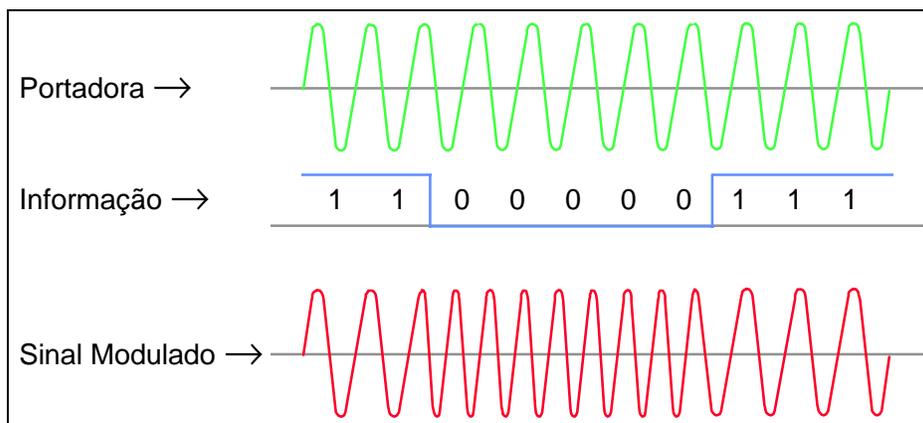
Nesta técnica, a propriedade alterada é a frequência da portadora. Através de uma associação de valores digitais a frequências específicas, é possível ao demodulador identificar o valor codificado pelo modulador. Para uma transmissão de valores binários, por exemplo, basta especificar duas frequências diferentes, uma para o 0 e outra para o 1. Observe Figura 4 o

---

<sup>3</sup> Como veremos a seguir, nesta mesma apostila, a modulação em amplitude é largamente utilizada em conjunto com outras técnicas de modulação. No entanto, neste momento, estamos analisando a modulação em amplitude “pura”, ou seja, sem o uso de outras técnicas agregadas.

<sup>4</sup> Veremos, também nesta apostila, que este tipo de técnica é comum em modems de alta velocidade.

efeito obtido em uma portadora senoidal. As cores de cada um dos sinais foram mantidas para maior facilidade.



**Figura 4** - Efeito da modulação FSK sobre uma portadora senoidal

A modulação em frequência de sinais analógicos é muito conhecida por ser utilizada para a codificação de sinais de áudio nas emissoras FM (o nome é auto-explicativo). Também usada para a transmissão do sinal sonoro nas emissoras de Televisão, a modulação em frequência é reconhecida como sendo relativamente imune a ruídos, garantindo transmissões de alta qualidade.

No entanto, no nosso caso, o que interessa é a transmissão de dados digitais através desta técnica de modulação. Considerando no entanto as características técnicas de uma linha telefônica típica, normalmente trabalhamos com uma frequência máxima de sinalização de 2.400 Hz. Com isto, não é possível grandes variações na frequência da portadora, e, por consequência, transportamos menor quantidade de informação representada<sup>5</sup>. Por isto a modulação em frequência em linhas telefônicas é tipicamente utilizada apenas para modems com taxas de transferência reduzidas, até 1.200 bps.

Um outro detalhe é que temos duas diferentes alternativas de modulação em frequência : na modulação coerente não ocorre mudança de fase para dígitos do mesmo valor; já na modulação não coerente, pode haver mudança de fase para dígitos de mesmo valor. O exemplo da Figura 4 é de modulação não coerente.

### 6.3. PM (*Phase Modulation*) ou Modulação por Fase

Nesta terceira técnica, alteramos a fase da portadora. Em uma transmissão binária (também conhecida como modulação de bit único), tudo funciona como se existissem duas portadoras, uma defasada 180° em relação à outra.

<sup>5</sup> Lembramos que a representação digital pressupõe uma diferença marcante entre valores adjacentes, para garantir imunidade a ruídos e portanto, qualidade de comunicação.

A chegada de um bit "1" ou "0" permite a seleção de qual portadora será transmitida (veja Figura 5). O problema neste caso é garantir o sincronismo de fase entre emissor e receptor.

Uma outra questão até agora não discutida é a necessidade de ampliação na taxa de transferência nominal. Em uma linha telefônica, por exemplo, se codificarmos apenas um bit em cada ciclo da portadora, a taxa de transferência máxima que pode ser obtida será de 2.400 bps, ou seja, igual à taxa de sinalização típica em Hz. Para resolver o problema do sincronismo de fase, e ainda conseguir aumentar a taxa de transferência nominal, temos outros tipos de modulação de fase.

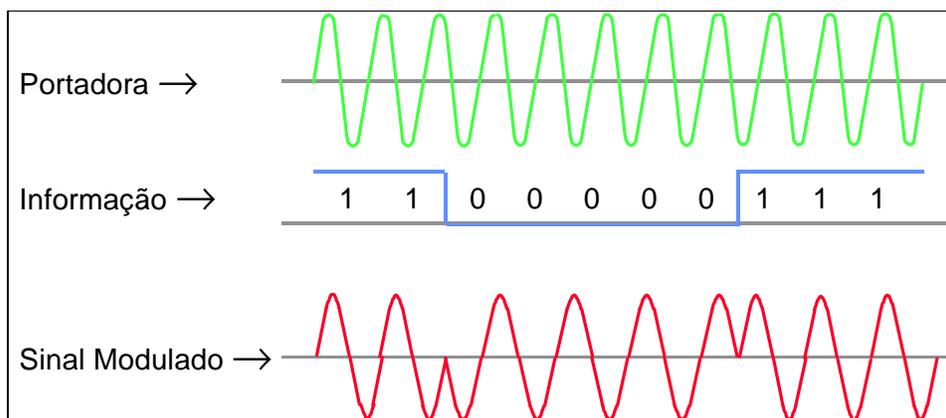


Figura 5 - Efeito da modulação PM convencional sobre uma portadora senoidal

Na **modulação diferencial de fase (PSK - Phase Shift Keying)**, por exemplo, o modulador muda a fase da portadora por um determinado número de "graus" para um valor "0" e utiliza um deslocamento de fase diferente para o valor "1".

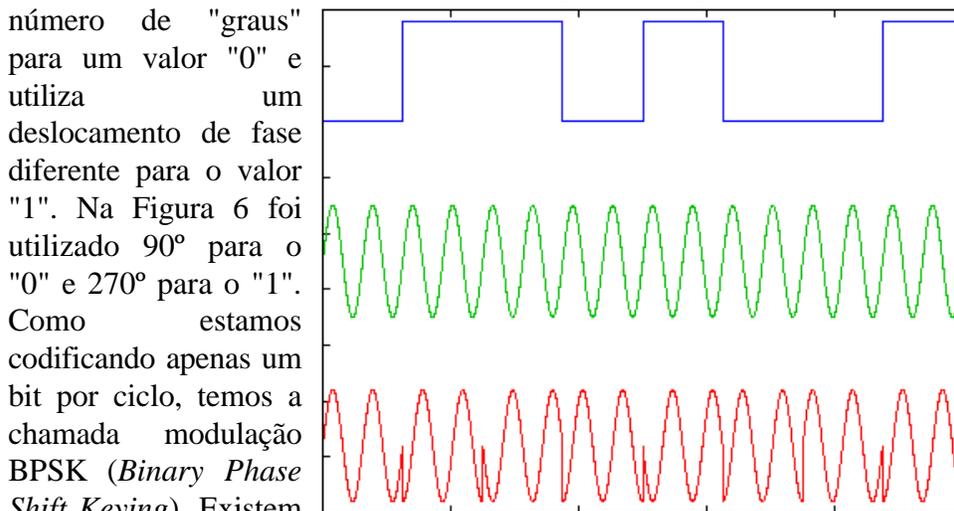


Figura 6 - Modulação diferencial de fase binária (BPSK)

Como estamos codificando apenas um bit por ciclo, temos a chamada modulação BPSK (*Binary Phase Shift Keying*). Existem também esquemas de codificação para 4 diferentes fases (2 bits por ciclo), chamado de QPSK e com 8 fases diferentes, chamada de 8PSK (3 bits por ciclo).

Modems analógicos antigos, que operavam na faixa entre 600 e 4.800 bps, utilizavam a modulação por deslocamento de fase em vários níveis. Alguns dos padrões mais utilizados pelos modems que utilizam a codificação por dupla de bits e terno de bits estão listados na Tabela 1.

Bits Transmitidos	Valores de Ângulo de Fase Possíveis (Graus)		
	00	0	45
01	90	135	0
10	180	225	270
11	270	315	180
000	0	22,5	45
001	45	67,5	0
010	90	112,5	90
011	135	157,5	135
100	180	202,5	180
101	225	247,5	225
110	270	292,5	270
111	315	337,5	315

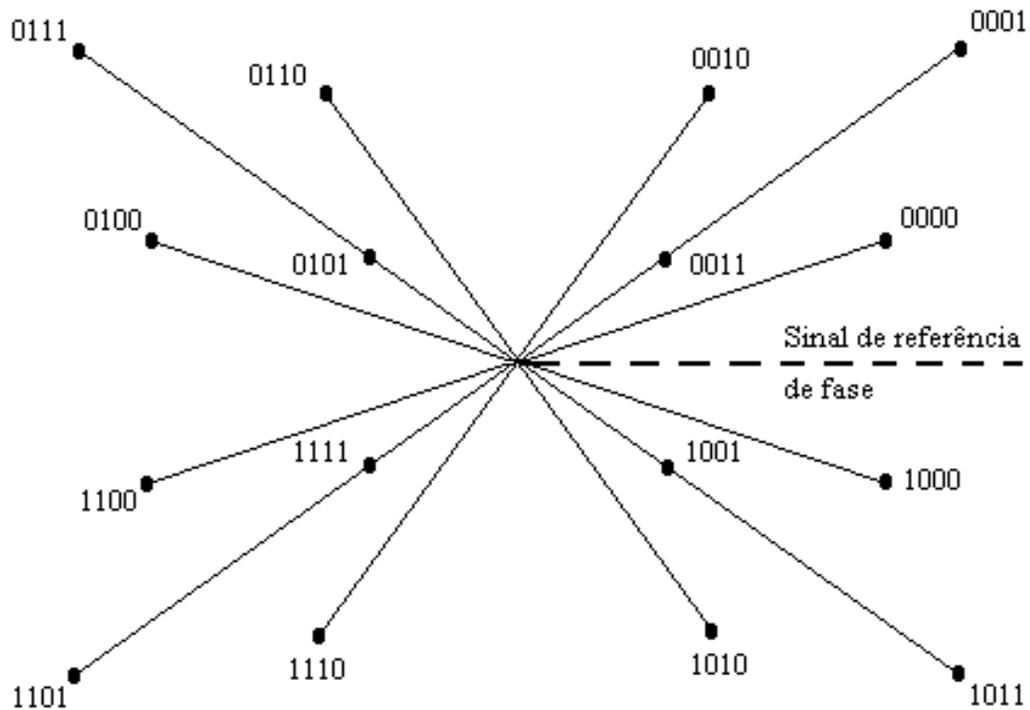
Tabela 1 - Ângulos de fase típicos

## 7. Técnicas Combinadas de Modulação :

Combinando diferentes técnicas de modulação (tipicamente amplitude e fase), torna-se possível aumentar a quantidade de estados possíveis para representação de conjuntos de bits. Como sabemos, a cada duplicação no número de estados, pode-se acrescentar um novo bit por ciclo, aumentando a taxa de transferência nominal do esquema de modulação.

Foi assim que tornou-se possível a transmissão de dados em alta velocidade usando circuitos de voz. A técnica combinada de modulação mais habitualmente utilizada é a **Modulação de Amplitude em Quadratura (QAM - Quadrature Amplitude Modulation)**.

Uma das primeiras implementações da QAM envolvia 12 valores de fase e 4 valores de amplitude formando 16 estados de sinal possíveis. Isto resulta na codificação de 4 bits para cada ciclo. Considerando uma frequência de sinalização de 2.400 Hz, temos uma taxa de transferência de 9.600 bps. A Figura 7 representa os diferentes estados possíveis neste primeiro esquema de modulação, com cada estado representado junto à sua fase e amplitude proporcional :



**Figura 7** - Representação dos 16 diferentes estados possíveis em um dos primeiros esquemas de codificação QAM

Um dos primeiros modems a utilizar esta técnica foi o Bell 209, que transmitia dados a uma taxa nominal de 9.600 bps. Posteriormente, os modems de 9.600 bps aderiram ao padrão V.29 do ITU (*International Telecommunications Union - [www.itu.int](http://www.itu.int)*), uma entidade normatizadora com sede em Genebra. O padrão V.29 utiliza uma portadora de 1.700 Hz, com um esquema diferente de modulação, utilizando 8 ângulos de fase e 4 amplitudes. Pela figura vista anteriormente, podemos deduzir que a mudança no número de fases e/ou amplitudes pode mudar significativamente a taxa de transferência nominal que poderá ser obtida.

Voltando à figura anterior, podemos realizar uma análise da possível influência de interferências sobre o sinal recebido. O gráfico formado pelos pontos indicados é normalmente conhecido como **padrão em constelação**. No padrão apresentado, temos 12 ângulos diferentes, com diferença entre eles de no mínimo 30 graus, o que garante uma imunidade razoável à interferências que gerem instabilidade de fase. As 3 diferentes amplitudes também estão razoavelmente afastadas, o que garante uma certa resistência a interferências que afetem a amplitude do sinal. Em padrões mais recentes, temos um número bem mais significativo de fases e amplitudes, o que aumenta a probabilidade de erros causados por interferências.

## 8. Transmissão Assíncrona X Transmissão Síncrona

Os primeiros padrões (alguns utilizados até hoje) eram assíncronos. Estes dispositivos normalmente consideravam taxas de transferência de até 18.000 bps. Tal como já vimos em capítulos anteriores, a comunicação assíncrona considera o

uso de dispositivos mais simples, sem transferência de informações de sincronismo. Isto reduz a eficiência da comunicação, forçando o ambiente a paradas frequentes para sincronização, que são realizadas a cada bloco transmitido, delimitados por bits chamados de *start* e *stop* bits. O bloco mais comum é de um caractere, representado através do código de sete bits ASCII, com um oitavo bit usado para controle de erros através de paridade.

Modems mais modernos, que hoje chegam a taxas de até 56 Kbps em linhas de voz, podem utilizar a transmissão síncrona. Garantindo um sincronismo maior entre emissor e receptor, através da troca de informações de sincronismo, podemos ter blocos bem maiores de informação. Estes blocos contêm códigos gravados em parte dos bits com o objetivo de garantir a correção de erros. Protocolos típicos são o BISYNC, o SDLC e o HDLC, entre outros.

## 9. Aumentando a quantidade de informação transmitida

Podemos observar que, quanto maior for a taxa de transferência desejada, maior será o número de pontos no padrão em constelação. Com a maior proximidade entre eles, aumentamos a sensibilidade à interferências, o que pode causar re-transmissões mais frequentes em canais ruidosos. Na prática, o desempenho de um modem pode até ser piorar com o aumento da taxa de transferência nominal em ambientes com ruído. Desta forma, é essencial analisar a qualidade do canal antes de definir a taxa de transferência.

Alguns modems, inclusive, incluem a característica conhecida como *fall-back*, que permite a redução automática da taxa de transferência praticada ao se encontrar problemas deste tipo. Desta forma, um modem de 19.200 bps pode passar a transmitir em 9.600, 4.800 e até 2.400 bps a depender da qualidade da linha. Mais o que ocorre nestes casos de falhas na linha ?

Com a injeção de ruídos, pode ocorrer uma distorção de fase ou amplitude, fazendo com que o ponto do sinal recebido não fique na sua posição normal dentro da constelação. Nestes casos, então, o receptor seleciona o ponto de sinal, contido na constelação, que estiver mais próximo do que foi recebido. Naturalmente, quando os problemas na linha são graves o suficiente para fazer com que o ponto recebido seja mais próximo de um ponto diferente daquele que foi transmitido, ocorre um erro.

Algumas técnicas, no entanto, permitem o aumento da quantidade de informação transferida, muitas vezes sem afetar a taxa de transferência nominal.

### 9.1. Codificação em Treliça

Um modem que usa a codificação em treliça utiliza um codificador que acrescenta um bit de código redundante a cada sinalização. Considerando como exemplo uma transmissão com taxa de 14.400 bps, o transmissor do modem converte o fluxo de dados serial em símbolos de 6 bits e codifica 2

dos 6 bits utilizando um método conhecido como codificação convolucional binária. Com a codificação, acrescentamos um bit de código aos dois bits de entrada, formando três bits codificados a cada sinalização. Estes bits são agrupados aos quatro bits de dados restantes, resultando em um ponto de sinal de uma constelação com 128 pontos (27).

Para entender o método de codificação convolucional binário, vamos analisar o que aconteceria para um fluxo serial único. Para cada dois bits de entrada, o código gera um terceiro bit que é sempre o resultado da soma em módulo-2 dos últimos dois bits. Assim sendo, se os primeiros quatro bits de dados a serem codificados fossem a seqüência 1101 (b4 b3 b2 b1), teríamos :

$$P1 = b1 + b0 = 1 + 0 = 1$$

$$P2 = b2 + b1 = 0 + 1 = 1$$

$$P3 = b3 + b2 = 1 + 0 = 1$$

$$P4 = b4 + b3 = 1 + 1 = 0$$

Desta forma, a seqüência de quatro bits 1101 seria convertida na seqüência 01111011 ( P4 b4 P3 b3 P2 b2 P1 b1 ). Além de gerar dependências, já que cada bit de paridade depende dos valores dos bits de dados, determinamos, através deste codificador, que apenas alguns pontos são válidos. Desta forma, se um defeito fizer com que um ponto de sinal seja deslocado, o receptor irá então comparar o ponto observado com todos os pontos válidos e selecionará o ponto de sinal válido que estiver mais próximo ao sinal observado. Como resultado, na prática, um modem que utiliza codificação em treliça é na prática duas vezes menos suscetível a erros do que um modem QAM convencional, e seu uso pode reduzir a taxa de erros em aproximadamente três ordens de magnitude. Assim, um modem convencional que requeira que 1 em cada 10 blocos de dados seja retransmitido pode ser substituído por um modem que utilize a codificação em treliça. Neste caso, apenas 1 em cada 10.000 blocos de dados seria recebido com erro.

## 9.2. Compactação de Dados

Como os usuários sempre exigiram um desempenho de transmissão mais rápido para que transferências de arquivos e operações interativas, várias empresas projetaram modems de operação patenteada para obter taxas de transmissão de dados tidas como "impossíveis". Alguns destes modems incorporam algoritmos de compactação e descompactação de dados, que compactam os dados antes da transmissão e depois os expandem até sua forma original no modem receptor que está na outra extremidade.

A compressão de dados envolve diferentes métodos como por exemplo a *Huffman coding* e a *Run Length Coding*. O primeiro método faz com que

caracteres repetidos na seqüência utilizem menos bits do que caracteres não repetidos. O segundo método transmite o valor de um bit e o comprimento da seqüência, ao invés de enviar cadeias de bits repetidos. A principal característica dos protocolos de compressão é que eles enfileiram os dados a serem transmitidos, comprimem os mesmos e só depois disto os transferem. O modem do outro lado deve fazer o trabalho inverso. Este trabalho é muito parecido com os compactadores conhecidos no mercado (ZIP, ARJ e ARC, por exemplo). O algoritmo fica armazenado na memória dos modems emissor e receptor e devem trabalhar em tempo real. Normalmente o índice de compactação depende muito do tipo de informação a ser compactada. Arquivos EXE ou COM podem ser comprimidos em taxas tipicamente entre 40 e 50%. Já arquivos TXT, por exemplo, podem ter taxas de compressão superiores a 95%.

Como a compactação diminui o volume de dados a ser transmitido, o modem pode aceitar uma taxa de transmissão de dados de entrada maior do que ele pode transmitir. Dessa forma, um modem do tipo V.29 com uma relação de compactação de dados de 2 para 1 pode, teoricamente, transmitir dados a 19.200 bps, mesmo que opere a 9.600 bps. Como a eficiência da compactação depende da suscetibilidade dos dados aos algoritmos de compactação embutidos no modem, na realidade ele opera em uma taxa de transmissão de dados variável. Quando a compactação não é possível, o modem opera em 9.600 bps, ao passo em que o desempenho real do dispositivo aumenta à medida em que a entrada de dados se torna mais suscetível à compactação.

Até 1989, as técnicas usadas para implementar a compactação de dados não eram padronizadas. Entretanto, vários padrões **de fato** surgiram, devido à popularidade do **MNP - Microcom Networking Protocol** e outros algoritmos de compactação de dados que foram licenciados a um grande número de fabricantes de modems para incorporação aos seus produtos. Em 1989, o CCITT promulgou o padrão V.42bis, que definiu um novo tipo de compactação de dados para modems projetados para seguir este padrão.

### 9.3. Modems Packetized

Embora seja muito incomum hoje em dia, é interessante conhecer um tipo de modem não convencional que chegou ao mercado em 1986. Mais formalmente conhecido como *Modem Packetized Ensemble Protocol*, este dispositivo foi considerado um avanço revolucionário nesta tecnologia, porque incorporava um microprocessador de alta velocidade e um *software* embutido em sua EPROM (recurso que posteriormente seria utilizado por todos os modems mais modernos).

A operação de um modem neste padrão iniciava-se com a transmissão simultânea de 512 tons na linha. O modem receptor avaliava os tons e o efeito do ruído em toda a largura da banda de voz, comunicando de volta

ao dispositivo de origem as frequências que não deveriam ser utilizadas. O modem de origem então selecionava o formato de transmissão mais adequado aos tons que seriam utilizados, usando a modulação de QAM de 2, 4 ou 6 bits e "empacotando" os dados antes de sua transmissão.

Como exemplo, vamos supor que 400 tons estejam disponíveis após o teste, usando QAM de 6 bits. Isto resulta em um tamanho de quadro de  $400 \times 6 = 2400$  bits. Se cada um dos tons for variado 4 vezes por segundo, a taxa de transmissão de dados será de aproximadamente 10.000 bps. Além disto, o modem gera, a cada quadro transmitido, um teste de redundância cíclica (CRC) de 16 bits para detecção de erros. No modem receptor, um teste CRC semelhante é executado. Se o teste falhar, o modem solicita re-transmissão do quadro, para que o erro seja corrigido.

As duas vantagens principais deste tipo de tecnologia eram a capacidade de ajustar-se automaticamente às frequências utilizáveis, o que aumentava muito a largura de banda da linha, e a capacidade de diminuir a taxa de *fall-back* em pequenos intervalos, graças à multiplicidade de tons disponíveis. A seguir vemos um gráfico comparativo das taxas obtidas pelos dois tipos de modem em diversas situações de ruído na linha.

#### 9.4. Transmissão com cancelamento de eco

Com esta técnica, tanto o modem transmissor como o modem receptor utilizam a mesma frequência. Isto normalmente causaria interferência entre os sinais recebido e transmitido. Usando a tecnologia do cancelamento do eco, o receptor do modem pode cancelar o efeito do seu próprio sinal transmitido, permitindo que o modem faça a distinção do sinal recebido. O padrão CCITT V.32 utiliza o cancelamento de eco com o método QAM de 4 bits. Assim, ele opera a 2.400 bps para oferecer uma transmissão *full-duplex* a 9.600 bps através do cancelamento de eco. Além disto, a codificação de dados em treliça é um modo de operação opcional para os modems V.32 que, quando em efeito, resulta na menor probabilidade de ocorrência de um erro de bit do que na maioria dos modems que operam em taxas de transmissão de dados significativamente menores do que as do V.32.

#### 9.5. Transmissão Assimétrica

Em diversas aplicações que requerem transmissão *full-duplex*, as taxas de transferência ideais são diferentes para cada um dos sentidos de propagação. Um exemplo bem comum é a operação de um browser. Neste caso, a taxa de transferência necessária no sentido Browser \* Servidor WEB é bem menor que a taxa Servidor WEB \* Browser. Isto se deve principalmente devido ao tipo de informação transmitida. No primeiro caso,

são os cliques no mouse e as informações digitadas no teclado. No segundo, são telas completas, gráficos, e até vídeos.

Compreendendo isso, os fabricantes desenvolveram uma nova categoria de dispositivos que usam canais largos e estreitos para transmitir simultaneamente em dois sentidos. Estes modems permitem, além desta operação diferenciada, a escolha automática da taxa de transferência apropriada para cada sentido da transmissão. Eles são conhecidos como "modems assimétricos". Um exemplo típico é o modem V.90, que transmite com taxa de 28,8K/56,6K.

## 10. Integração com Canal de Voz

Um dos últimos padrões aprovados (V.34) habilitam as chamadas aplicações DSDV (*Digital Simultaneous Voice and Data*). A norma DSVD especifica o compartilhamento de voz e dados em uma única conexão discada.

## 11. Padrões típicos

Veja a seguir uma pequena relação de padrões suportados pelo ITU (antigo CCITT). Maiores detalhes sobre estes padrões podem ser obtidos na apostila seguinte, que será posteriormente convertida em um anexo deste documento.

O padrão V.34 finalmente se aproximou do limite teórico de transmissão sobre uma linha analógica (estimado na faixa de 30kbps). Nem mesmo o padrão V.90, mais recente, permite taxa superior em transmissão *full-duplex*.

Padrão	Data (aprovação)	Taxa (bps)	Tipo de Rede	Modulação
V.21	1964	200	PSTN	FSK
V.22	1980	1200	PSTN	PSK
V.22 bis	1984	2400	PSTN	QAM
V.23	1964	1200	PSTN	FSK
V.26	1968	2400	Privada	PSK
V.26 bis	1972	2400	PSTN	PSK
V.26 ter	1984	2400	PSTN	PSK
V.27	1972	4800	Privada	PSK
V.27 bis	1976	4800	Privada	PSK
V.27 ter	1976	4800	PSTN	PSK
V.29	1976	9600	Privada	QAM
V.32	1984	9600	PSTN	QAM
V.32 bis	1991	14400		TCM
V.32 Ter		19200		TCM
V.34 (V.fast)	1994	28800		TCM

**Exercícios :**

1) Complete as frases com uma das palavras indicadas abaixo :

**Amplitude**                      **Frequência**                      **Fase**

a) A modulação por \_\_\_\_\_, também conhecida como FSK, é utilizada para transmissões de baixa velocidade, principalmente pela sua ocupação da banda de passagem.

b) Muito utilizada para transmissões em altas taxas de transferência, a modulação por \_\_\_\_\_ permite a utilização de taxas de sinalização inferiores à taxa de transferência de informação.

c) A alta sensibilidade à interferências faz com que a modulação por \_\_\_\_\_ seja utilizada apenas em meios menos sujeitos à variações de amplitude de sinal.

d) Considerando a transmissão digital e binária, tornam-se necessárias duas frequências diferentes para a transmissão por modulação de \_\_\_\_\_.

2) Associe as definições :

- (a) Modulação em duas fases
- (b) Limite Nyquist
- (c) Modulação de Amplitude em Quadratura (QAM)
- (d) V-29
- (e) Bell 209

- ( ) Através deste padrão, conseguimos uma taxa de transferência em bps igual à taxa de sinalização em Hz.
- ( ) Definido pelo CCITT, este padrão oferece taxa de transferência de 9.600 bps.
- ( ) Um dos primeiros modems a utilizar a técnica de modulação mista de amplitude e fase.
- ( ) Determina a taxa máxima de sinalização para um meio físico, dada a sua largura de banda de passagem.
- ( ) Técnica muito utilizada em modems modernos para modulação simultânea de fase e amplitude.
- ( ) Eliminando do seu gráfico representativo as linhas indicando as fases, temos o chamado padrão em constelação.

3) Considerando que a taxa típica de sinalização máxima uma linha telefônica é de 2.400 Hz, analise os dois gráficos abaixo, que representam o padrão em constelação de dois modems fictícios :



7) Das técnicas abaixo, quais são as criadas especificamente para aprimoramento da transmissão *full-duplex* ? (alternativas múltiplas)

- Cancelamento de eco.
- Codificação em treliça.
- Transmissão assimétrica.
- Transmissão triplamente modulada.

8) Em uma transmissão de arquivos no sentido *host* microcomputador, enquanto o *host* é responsável pela transmissão do arquivo, o microcomputador é responsável pela confirmação de recebimento de cada bloco de dados. Nesta situação típica, a melhor relação custo/benefício pode ser atingida com a utilização de modems :

- V.32.
- Pingue-Pongue.
- Assimétricos.
- V.42bis.

9) Uma das características importantes de um modem que utilize compactação de dados é :

- A taxa de transferência variável.
- A redução da taxa de erros.
- A transmissão *full-duplex*.
- N.R.A.

### **Bibliografia desta apostila :**

MODEM - O Guia de Referência Completo  
Gilbert Held  
Editora Campus

[www.pctechguide.com](http://www.pctechguide.com)