

## 2. MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO DE TEMPO E TRANSMISSÃO DIGITAL

### 2.1 Introdução.

A multiplexação é uma operação que consiste em agrupar vários canais de informação não relacionados, de modo a transmiti-los simultaneamente em um mesmo meio físico (cabo, enlace de rádio, satélite, fibra ótica, etc) sem que haja mistura ou interferência dos canais. A demultiplexação é a separação dos canais, recuperando a informação individual de cada canal.

Os motivos econômicos são os que determinam o uso da multiplexação nas mais diversas situações. Apesar de um sistema que utiliza a multiplexação necessitar de mais equipamentos, muitas vezes o custo do equipamento multiplexador pode ser compensado pela economia gerada ao se compartilhar um mesmo meio de transmissão entre  $z$  canais, conforme mostra a figura.

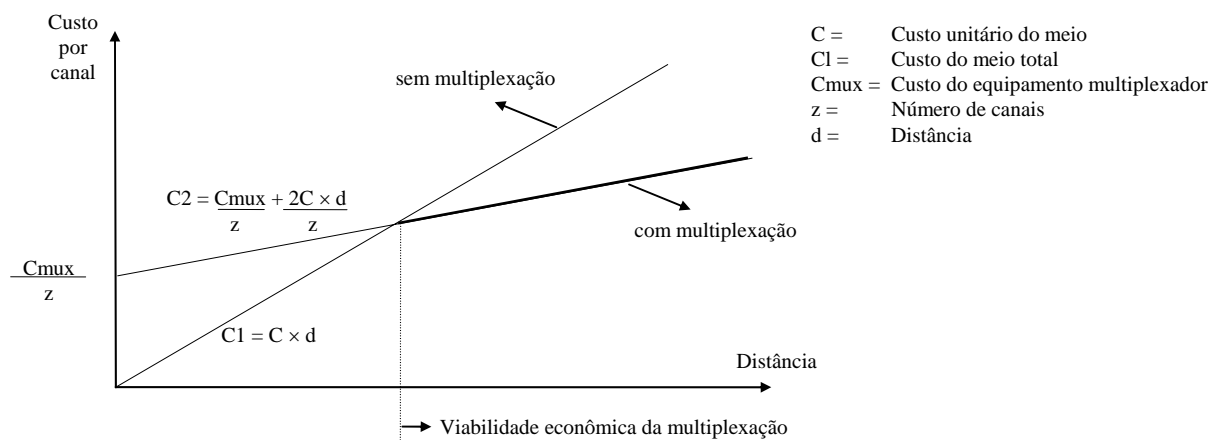


Figura 2.1 - Aspectos Econômicos do uso da Multiplexação.

### 2.2 Tipos de Multiplexação

Existem basicamente três tipos de multiplexação, que são a multiplexação por divisão do espectro de frequências, a multiplexação por divisão do tempo e a multiplexação por divisão de comprimento de onda.

#### a) Multiplexação por Divisão de Frequências - FDM

Na multiplexação por divisão de frequências é designada uma faixa de frequência para cada canal. O sinal deve ser deslocado em frequência para sua posição antes de ser realizada a multiplexação dos canais. O deslocamento do canal até uma posição específica do espectro de frequências é feita através de um processo de modulação. Este processo deve ser feito de tal forma que o sinal modulado não interfira nos outros canais a serem multiplexados.

A multiplexação FDM é basicamente uma *separação em frequência* dos  $z$  canais a serem multiplexados, resultando em uma *sobreposição no tempo* dos sinais.

Em telefonia, a FDM é implementada através de modulação AM - SSB, sendo designada uma faixa de 4 kHz para cada canal telefônico (300 a 3400 Hz).

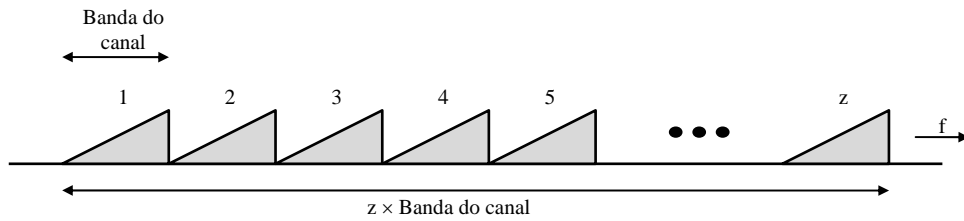


Figura 2.2 - Multiplexação por Divisão de Frequências.

**2.2.2 Multiplexação por Divisão de Tempo - TDM**

Na multiplexação por divisão de tempo os  $z$  canais são amostrados, e suas amostras distribuídas periodicamente no tempo através de um dos processo de modulação por pulsos. Desta forma os pulsos em uma linha multiplex TDM correspondem a intercalação dos pulsos de vários canais. A criação do sinal TDM é feita através da amostragem sincronizada de diversos canais, sendo que os pulsos de cada canal são deslocados no tempo em relação aos outros.

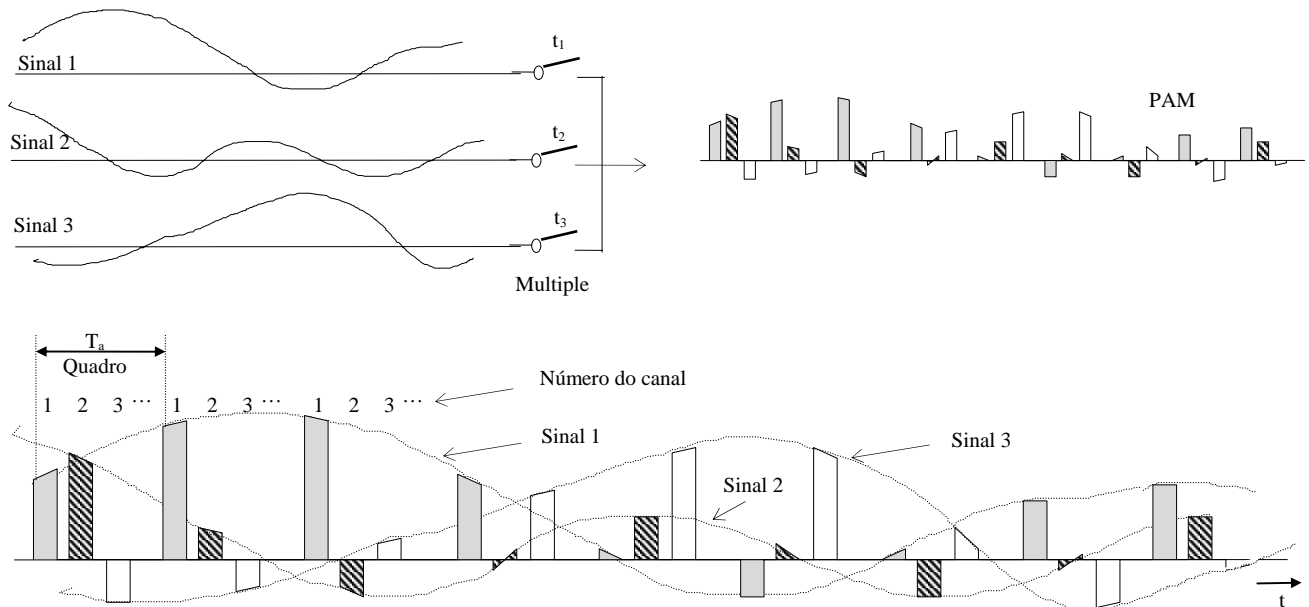


Figura 2.3 - Multiplexação por Divisão de Tempo com modulação PAM.

Os  $z$  canais distribuídos no tempo formam um quadro<sup>1</sup> cuja duração deve ser igual ao período de amostragem ( $T_a$ ).

O tipo de modulação por pulsos a ser utilizada pode ser analógica (PAM, PWM, PPM) ou digital (PCM).

Na multiplexação TDM, os canais ficam *separados no tempo e sobrepostos em frequência*.

Como o tempo é um valor relativo, a TDM necessita de um ponto de referência no quadro, para que o receptor possa ser sincronizado em frequência e fase de forma a poder extrair o sinal correspondente a cada canal. Este sincronismo é obtido pela envio periódico de um sinal de referência.

**2.2.3 Multiplexação por Divisão de Comprimento de onda - WDM**

A multiplexação por divisão de comprimento de onda é utilizada em sistema com fibras óticas, em conjunto com a multiplexação TDM, visando ampliar o uso da fibra com taxas de transmissão maiores. Nesta multiplexação cada sinal TDM é transformado em um comprimento de onda diferente

<sup>1</sup> Frame

através de diodos LASER, e transmitido em um única fibra. O número de comprimento de ondas multiplexada utilizadas são  $2\lambda$ ,  $4\lambda$ ,  $16\lambda$ ,  $40\lambda$ ,  $64\lambda$  sendo as taxas de TDM 2.5Gbit/s, 10 Gbit/s e 40 Gbit/s. O equipamentos da *Alcatel 1640 OM-WM* atinge a taxa de 400 Gbit/s trabalhando no comprimento de onda de 1528 a 1565 nm.

### 2.3 O espectro do sinal multiplexado.

No capítulo anterior, analisamos o espectro de um trem de pulsos e obtivemos uma série de impulsos nas frequências harmônicas da frequência de amostragem com a amplitude dada pela função de amostragem  $AdSa(nd\pi)$ . Do estudo da *Transformação de Fourier*, sabe-se pela *Propriedade do deslocamento* que o deslocamento de uma função  $f(t)$  no tempo de  $t_0$ , faz com que o espectro de amplitude  $|F(w)|$  permaneça inalterado, e o seu espectro de fase é alterado de  $-wt_0$ .

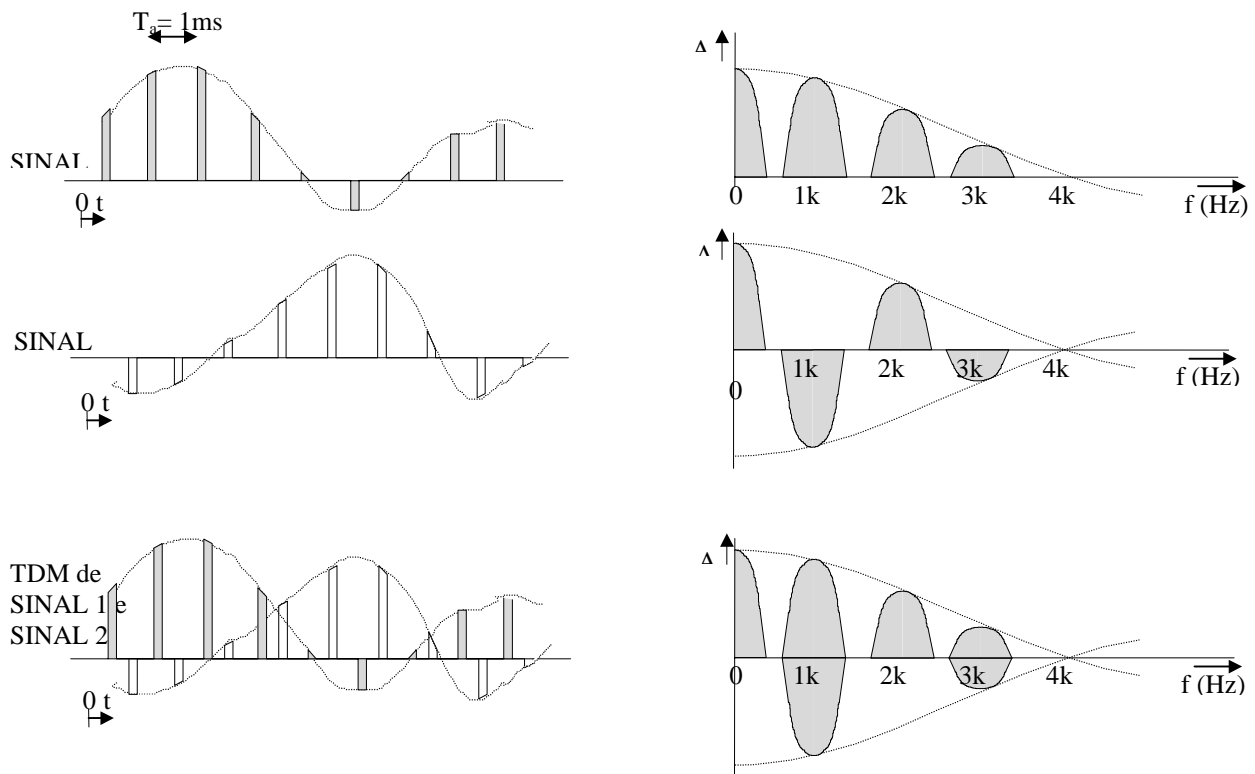


Figura 2.4 - Determinação do espectro de frequência de um sinal TDM.

No exemplo acima, é mostrada a multiplexação TDM das amostras de dois sinais. O sinal 1 é amostrado por um trem de pulsos com ciclo de trabalho  $d = 0.25$  e período  $T = 1\text{ms}$ , e o sinal 2 por um trem de pulsos atrasado de  $0.5\text{ms}$  em relação ao primeiro. Em ambos os casos, o espectro de frequência do sinal amostrado tem o mesmo módulo, porém a fase é diferente. Aplicando a Propriedade do deslocamento, podemos determinar que a fase do segundo sinal  $\phi = 0$  para  $n = 0, 2, 4, \dots$  e  $\phi = \pi$  para  $n = 1, 3, 5, \dots$ . Como  $\phi = \pi$  corresponde a inversão da polaridade do sinal, o espectro do segundo sinal pode também ser representado como tendo uma fase nula, e um espectro de amplitude com sinais alternados entre positivo e negativo, conforme é mostrado na figura 2.4. A multiplexação TDM deste sinais é a soma dos sinais no tempo. O espectro do sinal TDM é obtido pela soma dos espectros dos sinais, desde que os sinais não possuam valores diferentes de zero ao mesmo tempo.

### 2.4 Parâmetros da multiplexação TDM/PCM.

A multiplexação TDM é geralmente utilizada em conjunto com a modulação PCM das amostras, possuindo os seguintes parâmetros:

- *Taxa de transmissão global* de bits ( $D$ )
- *Número de canais* multiplexados ( $z$ )
- *Estrutura do quadro* - seqüência em que os símbolos dos canais e símbolos auxiliares aparecem no tempo. Se repete a cada período de amostragem  $T_a = 1 / f_a$  (125  $\mu$ s).
- *Parâmetros da modulação digital* - frequência de amostragem  $f_a$  (8 kHz), lei de quantização (Lei A ou  $\mu$ ), código (binário simétrico), número de níveis de quantização (256 níveis) e número de bits utilizados por canal  $n$  (8 bits).
- *Parâmetros de transmissão* - meio, modo de transmissão, taxa de símbolos (baud rate), probabilidade de erro, código de linha.

## **2.5 Vantagens e desvantagens da multiplexação TDM/PCM.**

A principal vantagem do uso da TDM/PCM é a possibilidade de regenerar a informação transmitida durante a transmissão. Por isso, mesmo na presença de ruído pode-se assegurar uma excelente qualidade de transmissão, independente da distância da transmissão.

Outras vantagens da multiplexação TDM/PCM são: melhor uso da rede telefônica já instalada através do aumento no número de circuitos; maior facilidade de integração de circuitos, e melhor estabilidade quando comparado com o FDM; permitir a integração de diversos serviços (voz, imagem, dados, etc) em uma Rede Digital de Serviços Integrados - RDSI<sup>2</sup>; utilização da fibra ótica como meio de transmissão.

A grande desvantagem do TDM/PCM é a necessidade de uma largura de banda maior que nos outros sistemas. No entanto um sistema TDM/PCM pode utilizar um meio de transmissão com péssimas qualidades (atenuação, diafonia, ruído) desde que o tenha largura de banda suficiente. A largura de banda ( $B$ ) necessária para transmitir a uma taxa de bits ( $D$ ) para fins práticos é dada pela equação:

$$B = 0,8 \times D$$

Como exemplo, na transmissão de voz em um sistema analógico é necessário uma largura de banda de 3100 Hz, enquanto que para a transmissão digital da voz a largura de banda necessária é de 51 kHz.

A medida que são multiplexados mais canais de voz através de TDM, os pulsos que transmitem as amostras ficam mais estreitos, aumentando assim a largura da banda necessária. Se tivermos 32 canais de 64 kbits multiplexados, será necessária no mínimo uma largura de banda de 1.6 MHz.

## **2.6 Estrutura Física de um sistema de transmissão TDM/PCM**

Um sistema TDM/PCM típico ligado a um par trançado é composto dos seguintes módulos:

- *Equipamento Terminal*: está situado nos dois extremos da linha, tem a função de realizar a multiplexação por divisão de tempo dos canais, convertendo as informações analógicas dos canais de entrada em um sinal digital (TDM/PCM) e vice-versa. Além disso, realiza as funções de interface como: sinalização, adaptação de níveis de tensão, adaptação de impedância, monitoração, sincronização e alimentação.
- *Equipamento de Linha ou Regenerador*: está distribuído ao longo da linha em intervalos regulares, e tem a função de regenerar o sinal que carrega a informação.

Os sistemas TDM/PCM são sempre realizados com circuito a 4 fios, sendo dois fios para a transmissão do sinal TDM/PCM e dois fios para a recepção.

No caso dos canais de entrada do sistema de transmissão serem sinais codificados em PCM, o circuito de transmissão é simplificado, pois os conversores A/D e D/A não são necessários.

<sup>2</sup> ISDN - Integrated Service Digital Network

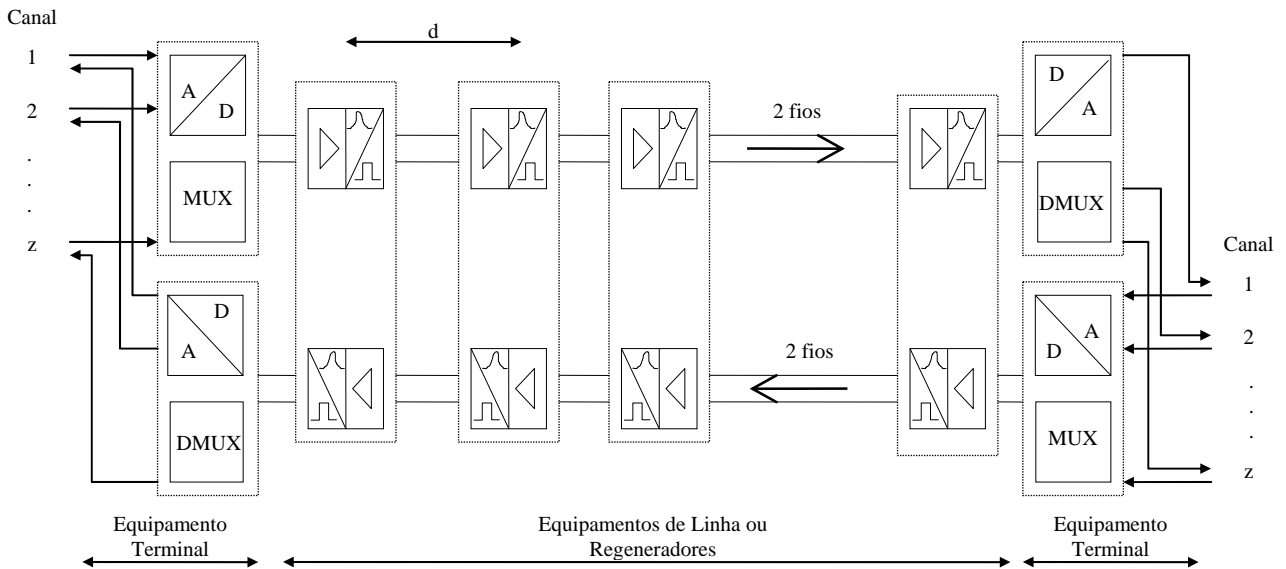


Figura 2.5 - Estrutura Física do TDM/PCM.

### 2.7 Codificação de linha

Os sinais utilizados na transmissão de informações digitais precisa ter as seguintes características:

- Ausência de componente contínua no sinal ao longo do caminho de transmissão.
- Reduzir a banda de frequência necessária.
- Permitir uma adequada transmissão da informação do relógio.
- Facilitar a detecção de erros no código transmitido.

O sinal binário não apresenta nenhuma das características acima e não deve ser utilizado na transmissão digital.

O processo de codificação de linha consiste modificar o sinal de modo a atender as condições para transmissão acima.

#### a) Código Bipolar ou AMI<sup>3</sup>.

O processo de codificação consiste em gerar marcas (pulsos) positivas e negativas alternadamente cada vez que a informação é "1". Os espaços "0" são caracterizados pela ausência de pulsos.

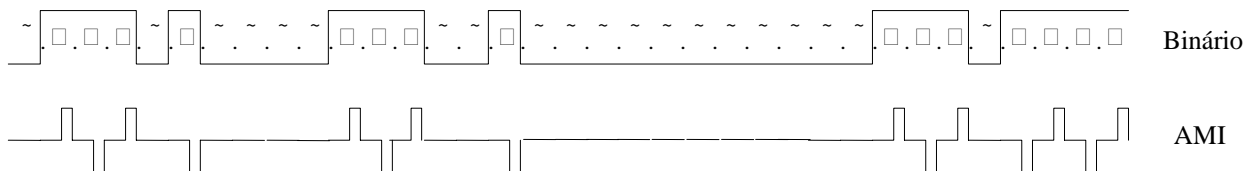


Figura 2.6 - Codificação AMI ou Bipolar

A principal limitação do código AMI é a ausência da informação de relógio quando a mensagem binária tem longas seqüências de espaços. Por este motivo é comum o código AMI ser utilizado em conjunto com um circuito embaralhador de bits ("scrambler"), que é um circuito feito utilizando uma porta ou exclusiva e um registrador de deslocamento.

No código AMI, a presença ocasional de erros, nas marcas ou espaços, são detectadas pela descontinuidade da seqüência alternada de marcas.

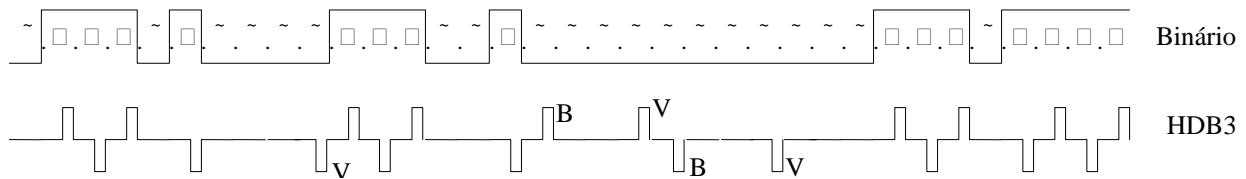
<sup>3</sup> AMI - Alternate Mark Invention

**b) Código HDBn<sup>4</sup>.**

É um código semelhante ao AMI, mas que evita as seqüências de mais de "n" espaços sucessivos, através da substituição do zero "n+1" por um marca de violação ("V"). A violação consiste em um pulso com a mesma polaridade que o pulso anterior.

A versão mais utilizada é o código HDB3 onde n = 3, que é empregado nos sistemas multiplex de 1ª e 2ª ordem. As regras do HDB3 se aplicam a seqüência de 4 espaços são:

- O 2º e 3º espaços são sempre representados pela ausência de pulsos.
- O 4º espaço é sempre uma violação.
- O 1º espaço será substituído por uma marca (B) se o pulso que o precede tem a mesma polaridade da última violação.
- O 1º espaço será substituído por uma marca (B) se o pulso que o precede é uma violação.
- O 1º espaço será representado pela ausência de se o pulso que o precede tem a polaridade inversa a última violação, ou se é a primeira seqüência de 4 zeros.



**Figura 2.7 - Codificação HDB3**

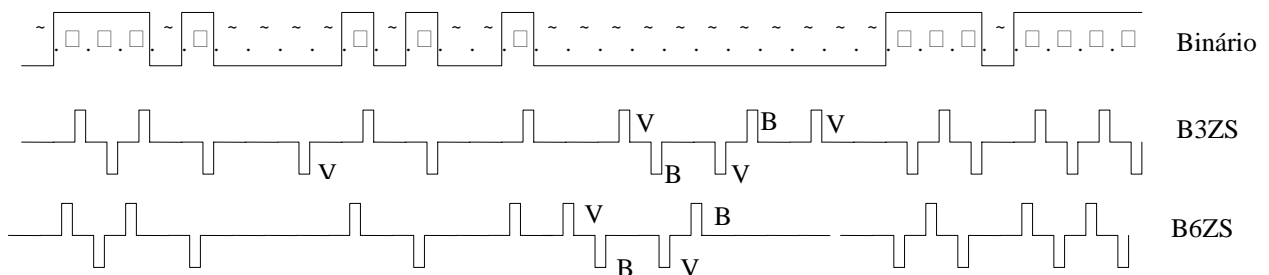
O uso destas regras faz com que a componente contínua permaneça constante e possibilita uma boa transmissão do relógio independente da informação transmitida conter longas seqüências de zeros.

**c) Códigos BnZS<sup>5</sup>.**

São códigos semelhantes ao HDBn, onde a seqüência AMI é seguida a não ser que uma seqüência consecutiva de n zeros ocorra. Supondo n igual a 3 teremos:

No código B3ZS, se uma seqüência de três zeros consecutivos ocorrer, ela será substituída pela seqüência B0V ou 00V, onde B é um pulso em conformidade com a regra AMI, e V representa um pulso que viola a regra. A seqüência B0V ou 00V é selecionada de tal modo que o número de pulsos não violados entre pulsos violados consecutivos seja ímpar.

No código B6ZS, se uma seqüência de seis zeros consecutivos ocorrer, ela será substituída pela seqüência 0VB0VB.



**Figura 2.8 - Codificações B3ZS e B6ZS**

**d) Código bifase (Manchester)**

O código bifase usa um ciclo de uma onda quadrada em uma fase para codificar o 1 e um ciclo na fase oposta para codificar o 0. Devido a esta característica, sempre existirá uma transição no centro de cada intervalo de bit, fazendo com que a componente do relógio seja muito forte. A oscilação lenta

<sup>4</sup> HDBn - High Density Bipolar de ordem n  
<sup>5</sup> BnZS - Binary n Zero Substitution

do nível de tensão contínua também não existe, mas no entanto este código não permite a monitoração do seu desempenho, e necessita de uma banda de frequência maior.

O código bifase é utilizado em enlaces curtos onde o custo do codificador é mais significativo que o uso da banda do meio. As redes locais Ethernet usam este código.

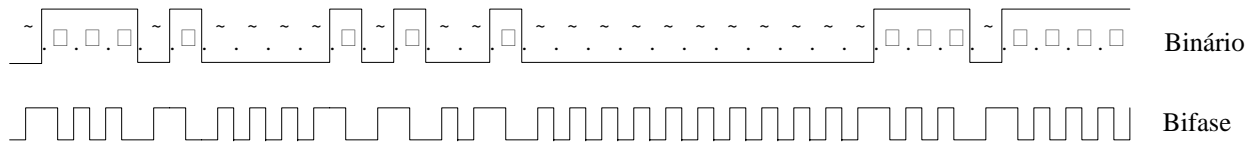


Figura 2.9 - Codificação bifase

**e) Código CMI<sup>6</sup>.**

O código CMI é um código do tipo 1B/2B onde cada bit binário é representado por 2 bits. Neste código, os zeros são sempre representados por "01", e as marcas são representadas alternadamente por "11" e "00".

O CMI possui a vantagem de ser um código binário que elimina a componente de baixa frequência do sinal, e possibilita uma excelente transmissão da informação de relógio. A maior limitação do CMI é a necessidade de maior largura de banda.

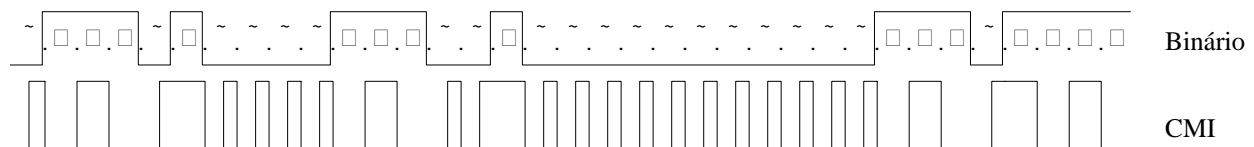


Figura 2.10 - Codificação CMI

**f) Código 4B/3T.**

Neste código, os dígitos binários são agrupados em grupos de 4 bits, e cada grupo de 4 bits é convertido em 3 dígitos ternários. O resultado desta codificação é uma redução da taxa de sinalização (símbolos) de 3/4.

Como na conversão de 16 combinações binárias em 27 combinações ternárias existem muitas seqüências sobrando, a conversão é feita de forma que sejam utilizadas duas seqüências diferentes para aquelas combinações que têm uma polarização (disparidade) de corrente contínua.

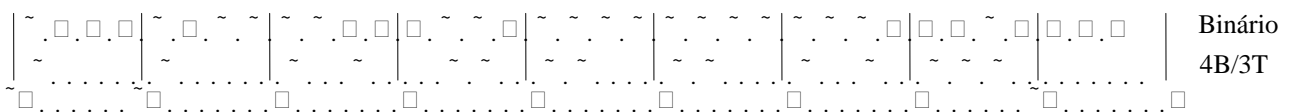


Figura 2.12 - Codificação 4B/3T

A escolha da seqüência é feita de acordo com o valor médio atual da componente contínua do sinal. A seqüência "000" não é utilizada, por não ser boa para a transmissão do relógio.

<sup>6</sup> CMI - Code Mark Inversion

Palavra Binária	Modo Positivo	Modo Negativo	Disparidade DC
0 0 0 0	0 - +	0 - +	0
0 0 0 1	- + 0	- + 0	0
0 0 1 0	- 0 +	- 0 +	0
0 0 1 1	+ - +	+ - +	1
0 1 0 0	0 + +	0 - -	2
0 1 0 1	0 + 0	0 - 0	1
0 1 1 0	0 0 +	0 0 -	1
0 1 1 1	- + +	+ - -	1
1 0 0 0	0 + -	0 + -	0
1 0 0 1	+ - 0	+ - 0	0
1 0 1 0	+ 0 -	+ 0 -	0
1 0 1 1	+ 0 0	- 0 0	1
1 1 0 0	+ 0 +	- 0 -	2
1 1 0 1	+ + 0	- - 0	2
1 1 1 0	+ + -	- - +	1
1 1 1 1	+ + +	- - -	3

Figura 2.11 - Alfabeto do código 4B/3T

Existem seis estados possíveis em relação a disparidade DC (-3, -2, -1, +1, +2, +3). Como o estado nulo não existe, é feita a passagem direta do estado -1 para +1 e vice-versa no acréscimo de +1 na disparidade DC ou -1.

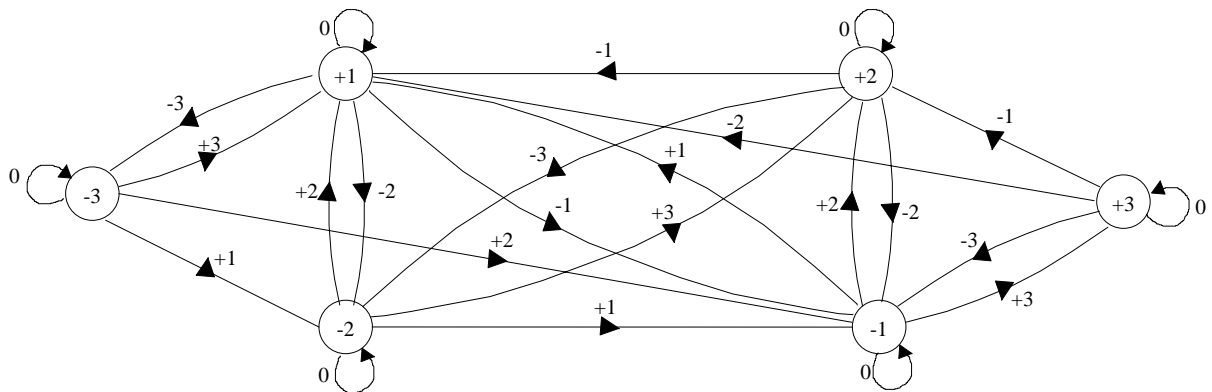


Figura 2.13 - Diagrama de transição de estados para a codificação 4B/3T

**g) Código PTS<sup>7</sup>**

Esta é uma codificação do tipo 2B/2T, na qual inicialmente os bits são pareados, formando seqüências de palavras de 2 bits. Estas palavras são então transformadas em dois dígitos ternários para a transmissão. Na escolha do código existe uma grande flexibilidade uma vez que são nove códigos ternários para serem atribuídos a 4 códigos binários. Uma codificação possível é mostrada na figura 2.14, na qual além de uma boa transmissão do relógio, consegue-se prevenir a oscilação do nível DC. O uso deste código facilita a detecção de perdas de alinhamento no receptor uma vez que elas causam eventualmente os códigos 00, ++ e -- que não são utilizados.

Palavra Binária	Modo positivo	Modo Negativo
00	- +	- +
01	0 +	0 -
10	+ 0	- 0
11	+ -	+ -

Figura 2.14 - Alfabeto do código PTS

<sup>7</sup> PTS - Pair Selected ternary





## 2.8 Estrutura lógica do sistema TDM/PCM

### a) Organização do Quadro

Cada canal digital em um sistema TDM/PCM utiliza o mesmo número de bits  $b$  que correspondem a amostra codificada ou parte de uma mensagem digital. Ao conjunto de bits ou bit isolado destinado a cada canal denominamos de intervalo de tempo de canal  $ITC$  ou *time slot*. A repetição dos grupos de  $b$  bits pertencentes a cada canal ocorre após um período de amostragem  $T_a$ , de forma que a taxa de transmissão de bits por canal é dada pela equação:

$$D_{canal} = f_a \times b$$

No caso do PCM telefônico, temos 8 bits por canal e uma frequência de amostragem de 8 kHz. Portanto a taxa de transmissão de bits é de 64000 bits/s (64 kbits/s).

Quando os  $z$  canais são multiplexados na forma TDM, o conjunto das  $z$  palavras de  $b$  bits acrescido dos bits auxiliares, constitui um *quadro*. Em telefonia, a duração de um quadro é 125  $\mu$ s.

A organização do quadro determina a forma como os bits dos canais e bits auxiliares são distribuídos:

- **Intercalação de Palavras:** neste caso o quadro é dividido em  $z$  time slot, onde cada time slot contém os  $b$  bits de cada canal. A multiplexação é feita através do envio de uma palavra de cada canal.
- **Intercalação de Bits:** O quadro é dividido em  $b$  grupos sendo que cada um contém  $z$  bits. Cada grupo contém um bit de cada canal. A multiplexação é feita através do envio de um bit de cada canal.

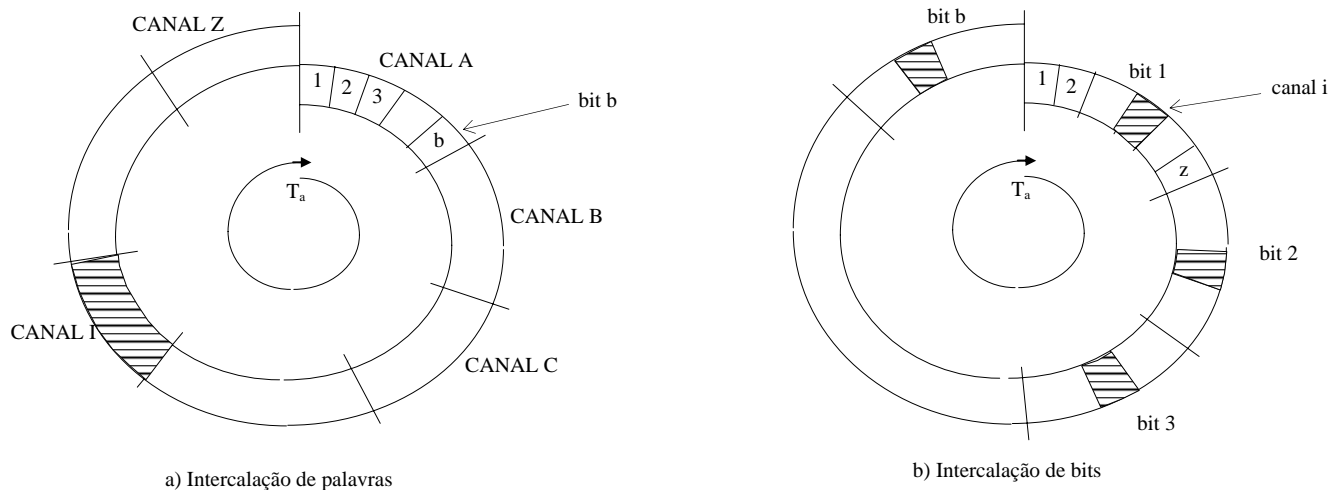


Figura 2.18 - Estruturas de quadro.

A intercalação de palavras ocorre nos sistemas PCM primários, uma vez que estão disponíveis separadamente o conjunto de 8 bits referentes a cada canal. Nos sistemas TDM de ordem superior geralmente é usada a intercalação de bits, uma vez que seus tributários são considerados como sendo um fluxo contínuo de bits.

### b) Alinhamento do Quadro

O alinhamento do quadro é uma operação que consiste em sincronizar o receptor em frequência e fase com os ciclos de símbolos recebidos. Esta operação deve ser realizada cada vez que o receptor é ligado, e periodicamente para detectar eventuais perdas de sincronismo.

Para criar a referência de tempo necessária para sincronização do quadro, é utilizado um padrão de bits que se repete periodicamente no quadro.

As principais considerações na escolha do procedimento e padrão de alinhamento são: o tempo necessário para estabelecer o alinhamento; os efeitos de erros nos canais sobre a manutenção do

alinhamento; a imunidade do padrão a imitações por deslocamento no tempo dos bits; o número de bits acrescidos na transmissão; a complexidade do circuito de alinhamento.

Os erros no padrão de alinhamento são utilizados como forma de monitorar o desempenho da transmissão. Quando o número de erros ultrapassa um certo limite estabelecido é disparada uma condição de alarme.

A perda do alinhamento pode ser causada por: perda de sincronismo do relógio local com o relógio da linha, causando perda ou duplicação de bits; erros de bits criando falsas perdas de sincronismo.

O procedimento de alinhamento deve garantir que a ocorrência de uma falsa perda de alinhamento não seja interpretada como perda de alinhamento.

Quando o receptor perde o alinhamento de quadro, as informações transmitidas em todos os canais são perdidas, até que seja novamente feito o alinhamento.

Em relação ao modo como o padrão está localizado no quadro, ele pode ser:

- *Padrão de bits agrupados*: o padrão de alinhamento é um conjunto de  $v$  bits consecutivos no começo do quadro.
- *Padrão de bits distribuídos*: o padrão de alinhamento é um conjunto de bits que aparecem a intervalos regulares de tempo dentro de um quadro ou em diversos quadros sucessivos.

Uma forma alternativa de se conseguir alinhar o quadro é através da violação do código de linha empregado, permitindo uma rápida identificação dos limites do quadro. Uma das vantagens deste método é que o padrão de alinhamento não pode ser produzido pelas informações transmitidas. Desta forma o alinhamento ocorre imediatamente após o recebimento do padrão de alinhamento, bem como a perda do alinhamento é percebida imediatamente.

### c) Sinalização

A sinalização tem por objetivo transmitir as informações auxiliares de uma estação comutadora para outra estação comutadora, de modo a controlar a comutação e possibilitar o gerenciamento da rede.

A sinalização utilizada nos sistemas TDM/PCM pode ser feita das seguintes formas:

- *Sinalização por MFC*: A mesma utilizada no sistema analógico, só que neste caso os sinais são convertidos em digitais pelos CODEC's.
- *Sinalização no byte, canal por canal ("bit Stealing")*: o bit menos significativo da palavra PCM é periodicamente reservado para a sinalização, resultando em uma degradação imperceptível na qualidade da transmissão telefônica, mas em uma restrição muito grande para a transmissão de dados.
- *Sinalização fora do byte, canal por canal*: cada canal possui além dos bits da palavra PCM, mais um ou vários bits para a sinalização, sendo que estes bits de sinalização podem estar distribuídos ou agrupados.
- *Sinalização por canal comum*: um conjunto de bits é reservado para a sinalização formando um canal de comunicação de dados. O canal de dados é utilizado de acordo com a necessidade por todos os canais. A sinalização é feita através de mensagens rotuladas, onde o rótulo indica o canal a qual a mensagem pertence. Este tipo de sinalização é muito adequada para a transmissão direta de informações auxiliares entre os processadores de centrais CPA.

## 2.9 Sistemas PCM de 1ª Ordem

Os sistemas de transmissão digital utilizados em telefonia são todos derivados hierarquicamente de dois sistemas básicos de 1ª ordem, que são o PCM24 e PCM30.

### 2.9.1 Sistema PCM24 (G733 do CCITT)

Este sistema é utilizado no Japão, nos EUA e em todos os países cujo código internacional é 1, sendo também conhecido como sistema T1 ou sistema de 1.5M. No PCM24, é possível transmitir simultaneamente 24 canais de voz, amostrados a 8 kHz, utilizando a Lei  $\mu$  na compensação do sinal e 8 bits na codificação das palavras PCM.

Os canais de voz são combinados através da intercalação de palavras, formando uma seqüência ininterrupta de 192 bits. O quadro é formado adicionando um bit  $x$  ao começo da seqüência. O bit adicional  $x$  é utilizado para a transmissão do padrão de alinhamento de quadro e multiquadro (PAQ e PAMQ). Ao todo o quadro possui 193 bits, resultando em uma taxa de transmissão global de 1544 kbits/s (1.5 Mbits/s).

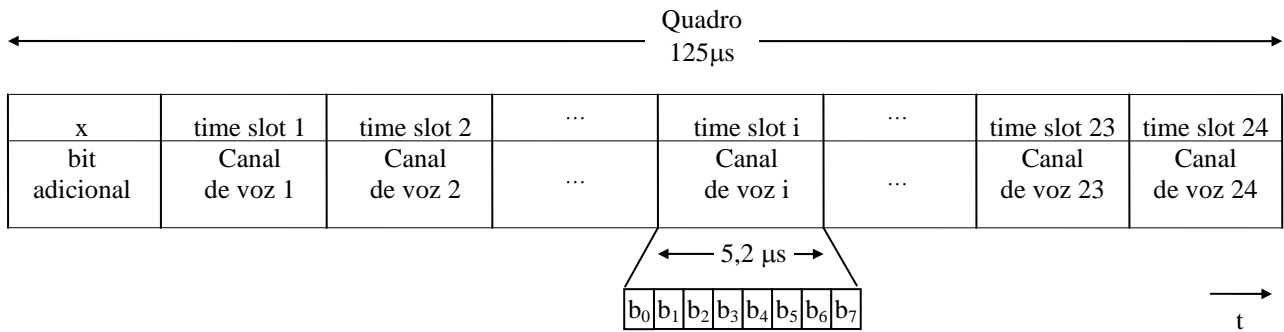


Figura 2.19 - Estrutura do quadro do PCM24

O multiquadro é a estrutura formada pelo conjunto de 12 quadros numerados de Q<sub>1</sub> a Q<sub>12</sub> que completam todas as sinalizações e palavras de alinhamento. O PAQ (101010) é transmitido no bit adicional dos quadros ímpares (Q<sub>1</sub>, Q<sub>3</sub>, Q<sub>5</sub> ...), enquanto que o PAMQ (001110) é transmitido nos quadros pares (Q<sub>2</sub>, Q<sub>4</sub>, Q<sub>6</sub> ...). Para alinhar o quadro e multiquadro é necessário examinar 6 bits separados de 386 bits uns dos outros, tornando a tarefa de alinhamento bastante complexa. O tempo médio para encontrar o alinhamento no PCM24 é da ordem de 24 ms quando é utilizada a busca seqüencial, e de 1ms quando é utilizada a busca paralela.

Quadro	Uso do bit adicional $x$		Uso dos bits dos time slots 1 a 24	
	Palavra de alinhamento de quadro	Palavra de alinhamento de multiquadro (ou Canal Comum)	Canal telefônico de voz	Canal de sinalização de linha
Q <sub>1</sub>	1	-	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>	-
Q <sub>2</sub>	-	0 ou C	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>	-
Q <sub>3</sub>	0	-	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>	-
Q <sub>4</sub>	-	0 ou C	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>	-
Q <sub>5</sub>	1	-	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>	-
Q <sub>6</sub>	-	1 ou C	b <sub>1</sub> ... b <sub>7</sub>	b <sub>0</sub> → canal a
Q <sub>7</sub>	0	-	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>	-
Q <sub>8</sub>	-	1 ou C	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>	-
Q <sub>9</sub>	1	-	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>	-
Q <sub>10</sub>	-	1 ou C	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>	-
Q <sub>11</sub>	0	-	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>	-
Q <sub>12</sub>	-	0 ou C	b <sub>1</sub> ... b <sub>7</sub>	b <sub>0</sub> → canal b

Figura 2.20 - Estrutura do multiquadro do PCM24

Para a sinalização de alarme de perda de alinhamento, pode ser utilizado o bit adicional (bit  $x = 1$ ) do último quadro (Q<sub>12</sub>), ou através da mudança do segundo bit de todos os canais de voz para 0.

Para a sinalização de linha de cada canal adota-se a técnica da sinalização no byte, sendo que, a cada seis quadros ( $Q_6$  e  $Q_{12}$ ) utiliza-se o bit menos significativo ( $b_0$ ) de cada canal, para a transmissão da informação dos canais de sinalização  $a$  e  $b$  da através de codificação digital R2.

Com a redução do número médio de bits por canal de 8 para  $7 \frac{5}{6}$ , existe uma perda de qualidade no sinal de voz, que correspondente a -1.8dB na relação sinal/ruído, além de impossibilitar o seu uso na transmissão de dados a 8 bits.

Nos casos em que é utilizada a sinalização por canal comum, a estrutura do multiquadro desaparece, e o bit auxiliar dos quadros pares forma um canal de dados de 4 kbits/s. O uso da sinalização de canal comum faz com que os canais de voz passam a ter sempre 8 bits, melhorando a qualidade do sinal de voz.

## 2.9.2 Sistema PCM30 (G732 do CCITT)

Este sistema é utilizado na Europa, América do Sul, na maioria dos países incluindo os enlaces internacionais, sendo conhecido como sistema CEPT1, E1 ou 2M. No PCM30 é possível transmitir simultaneamente 30 canais de voz, amostrados a 8 kHz, utilizando a Lei A em 13 segmentos na compensação do sinal e 8 bits para a codificação das palavras PCM.

Os canais de voz são combinados através da intercalação de palavras, formando um quadro de 30 palavras para os canais de voz e mais duas palavras de 8 bits (time slot 0 e 16) para as funções de alinhamento e sinalização, de forma que o quadro possui 256 bits, resultando em uma taxa de transmissão global de 2048 kbits/s (2 Mbits/s).

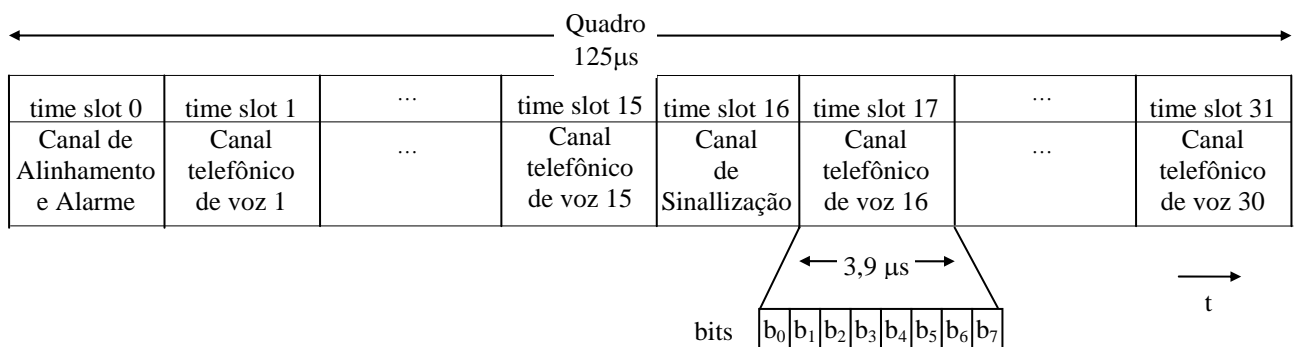


Figura 2.21 - Estrutura do quadro do PCM30

A estrutura de multiquadro é um conjunto de 16 quadros numerados de  $Q_0$  a  $Q_{15}$ , dentro da qual podemos observar as seguintes características:

- A palavra de alinhamento de quadro (PAQ = "0011011") são os bits  $b_1$   $b_2$   $b_3$   $b_4$   $b_5$   $b_6$   $b_7$  do *time slot 0* dos quadros pares  $Q_0$ ,  $Q_2$ ,  $Q_4$ ....
- A palavra de alinhamento de multiquadro (PAMQ = "0000") são os bits  $b_0$   $b_1$   $b_2$   $b_3$  do *time slot 16* do quadro  $Q_0$ .
- O alarme de perda de alinhamento do multiquadro é o  $b_5$  do *time slot 16* do quadro  $Q_0$ .
- A palavra de serviço é formado pelos bits  $b_1$   $b_2$   $b_3$   $b_4$   $b_5$   $b_6$   $b_7$  do *time slot 0* dos quadros ímpares  $Q_1$ ,  $Q_3$ ,  $Q_5$ .... O bit  $b_1$  da palavra de serviço é fixado em 1 para evitar a simulação da PAQ. O bit  $b_2$  é utilizado para indicar alarme urgente, onde 1 indica a presença de um dos seguintes alarmes: falha na fonte, falha no CODEC, perda de alinhamento do quadro, perda do sinal de entrada de 2.048 kbits/s, erro do sinal de alinhamento de quadro superior a  $10^{-3}$ .
- A sinalização de linha é transmitida nos 8 bits do *time slot 16* dos quadros  $Q_1$  a  $Q_{15}$ . O significado dos bits muda conforme o número do quadro, sendo que no quadro  $Q_i$  os bits  $b_0$   $b_1$   $b_2$   $b_3$  correspondem a sinalização de linha do *canal telefônico i* e os bits  $b_4$   $b_5$   $b_6$   $b_7$  correspondem ao *canal telefônico i+15*.
- O bit  $b_0$  do *time slot 0* assinalado com R é reservado para uso internacional, enquanto que os bits assinalados com X são reservados para uso nacional.

Quadro	Uso dos bits do time slots 0						Uso dos bits do time slots 16								Uso dos time slots 1...15 e 17...31 Canal telefônico de voz								
	Palavra de alinhamento de quadro						Palavra de Serviço						Canal de sinalização de linha a b c d a b c d										
	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub> b <sub>6</sub> b <sub>7</sub>	b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>		b <sub>0</sub>	b <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	b <sub>5</sub>	b <sub>6</sub>	b <sub>7</sub>
Q <sub>0</sub>	R	0	0	1	1	0 1 1	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	0	0	X	A	X	X	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>
Q <sub>1</sub>	-	-	-	-	-	-	R	1	A	X	X	X	X	X	canal telefônico 1	canal telefônico 16	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>						
Q <sub>2</sub>	R	0	0	1	1	0 1 1	-	-	-	-	-	-	-	canal telefônico 2	canal telefônico 17	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>							
Q <sub>3</sub>	-	-	-	-	-	-	R	1	A	X	X	X	X	X	canal telefônico 3	canal telefônico 18	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>						
Q <sub>4</sub>	R	0	0	1	1	0 1 1	-	-	-	-	-	-	-	canal telefônico 4	canal telefônico 19	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>							
Q <sub>5</sub>	-	-	-	-	-	-	R	1	A	X	X	X	X	X	canal telefônico 5	canal telefônico 20	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>						
Q <sub>6</sub>	R	0	0	1	1	0 1 1	-	-	-	-	-	-	-	canal telefônico 6	canal telefônico 21	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>							
Q <sub>7</sub>	-	-	-	-	-	-	R	1	A	X	X	X	X	X	canal telefônico 7	canal telefônico 22	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>						
Q <sub>8</sub>	R	0	0	1	1	0 1 1	-	-	-	-	-	-	-	canal telefônico 8	canal telefônico 23	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>							
Q <sub>9</sub>	-	-	-	-	-	-	R	1	A	X	X	X	X	X	canal telefônico 9	canal telefônico 24	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>						
Q <sub>10</sub>	R	0	0	1	1	0 1 1	-	-	-	-	-	-	-	canal telefônico 10	canal telefônico 25	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>							
Q <sub>11</sub>	-	-	-	-	-	-	R	1	A	X	X	X	X	X	canal telefônico 11	canal telefônico 26	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>						
Q <sub>12</sub>	R	0	0	1	1	0 1 1	-	-	-	-	-	-	-	canal telefônico 12	canal telefônico 27	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>							
Q <sub>13</sub>	-	-	-	-	-	-	R	1	A	X	X	X	X	X	canal telefônico 13	canal telefônico 28	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>						
Q <sub>14</sub>	R	0	0	1	1	0 1 1	-	-	-	-	-	-	-	canal telefônico 14	canal telefônico 29	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>							
Q <sub>15</sub>	-	-	-	-	-	-	R	1	A	X	X	X	X	X	canal telefônico 15	canal telefônico 30	b <sub>0</sub> ... b <sub>7</sub>						

Figura 2.22 - Estrutura do multiquadro do PCM30

No caso do uso da sinalização de canal comum, a estrutura de multiquadro desaparece e o *time slot 16* passa a ser utilizado como um canal de dados de 64 kbits/s. Na sinalização de canal comum, além da sinalização de linha são transmitidas outras informações tais como: a seleção numérica, dados de tráfego, roteamento, otimizando assim o uso do *time slot 16*.

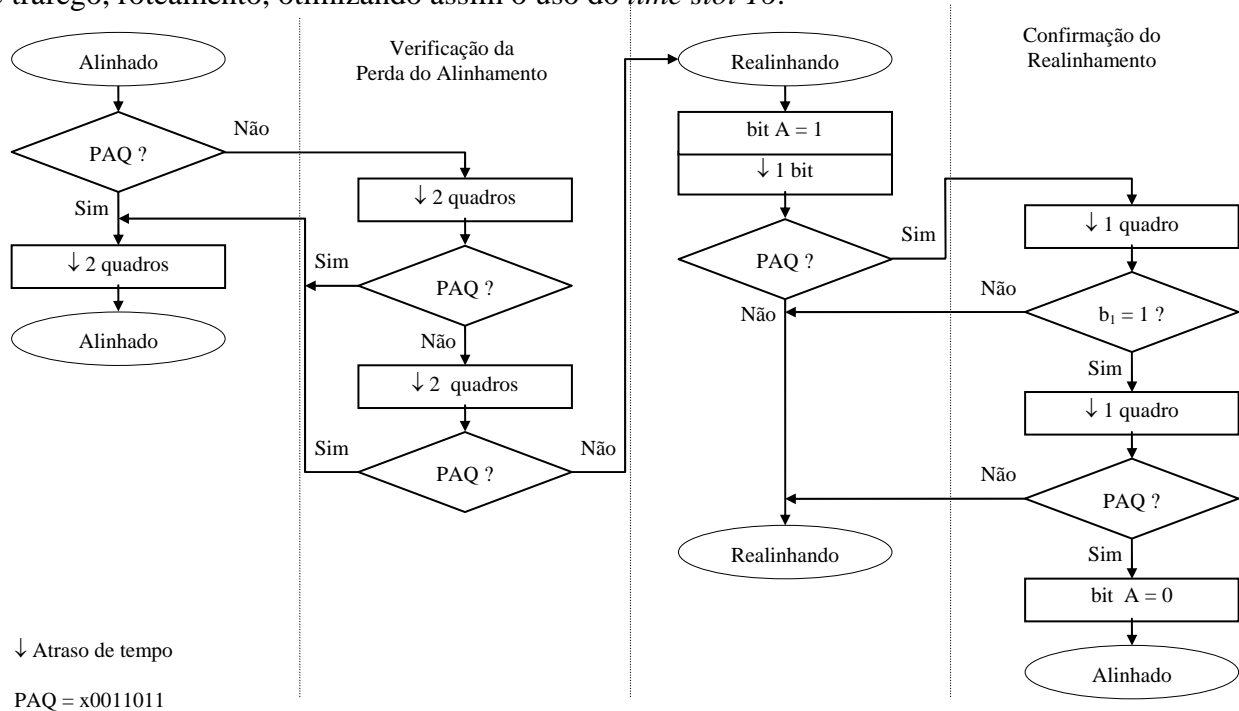


Figura 2.23 - Procedimento de alinhamento no PCM30

No PCM30 o procedimento de alinhamento de quadro utilizado é mostrado na figura 2.23. Pode se observar uma histerese no processo de monitoração, que faz com que a perda do alinhamento somente seja considerado após 3 ausências sucessivas da PAQ. A confirmação do alinhamento é feita pela presença do bit (b<sub>1</sub>=1) no *time slot 0* do quadro que segue ao que tinha a PAQ. A perda do

alinhamento de quadro é anunciada para o equipamento terminal do lado oposto através do bit de alarme urgente A ( $b_2=1$ ). São necessários 500  $\mu$ s para realinhar o quadro.

### **2.9.3 Comparação dos sistemas PCM de 1ª ordem.**

Os sistemas baseados no PCM24 foram os primeiros a serem utilizados e tinham como objetivo principal a maximização da taxa de bits útil. O sistema PCM30 foi desenvolvido visando eliminar os problemas que o PCM24 apresentava.

Comparando os dois sistemas percebe-se as seguintes vantagens do PCM30 sobre o PCM24:

- Melhor desempenho na frequência de voz, uma vez que os canais telefônicos possuem 8 bits, enquanto que no PCM24 existem em média apenas  $7\frac{5}{6}$  bits.
- Maior rapidez no realinhamento do quadro, uma vez que o PAQ é recebido agrupado a cada 500  $\mu$ s no PCM30, enquanto no PCM24, o PAQ é distribuído e se completa apenas a cada 24 ms.
- Quando utiliza sinalização por canal comum, o PCM30 tem uma taxa de transmissão 16 vezes superior a do PCM24.
- Melhor compatibilidade com as taxas de bits das centrais de comutação digital (2M e 8 Mbits/s).
- Melhor utilização da capacidade dos cabos, resultando em um aumento de 25% no número de canais de voz nos mesmos cabos.

Características Comuns	PCM30 e PCM24
Frequência de amostragem:	8 kHz
Duração de um quadro:	$1/8 \text{ kHz} = 125 \mu\text{s}$
Número de bits por palavra PCM:	8 bits
Taxa de transmissão por canal:	$8 \times 8000 = 64000 = 64 \text{ kbits/s}$

Figura 2.24a - Características comuns dos sistemas PCM24 e PCM30

Características Específicas	PCM30	PCM24
Lei de Codificação/Decodificação	A= 87,6	$\mu = 255$
Segmentos utilizados na curva	13	15
Número de canais de voz	30	24
Quantidade de bits por quadro	$8 \times 30 + 8 \times 2 = 256$	$8 \times 24 + 1 = 193$
Tempo de duração do bit	$125\mu\text{s} / 256 = 488 \text{ ns}$	$125\mu\text{s} / 193 = 650 \text{ ns}$
Taxa de bits do sistema	$256 \times 8000 = 2048 \text{ kbits/s}$	$193 \times 8000 = 1544 \text{ kbits/s}$
Largura de banda do meio	$2048 \times 0.8 = 1.64 \text{ MHz}$	$1544 \times 0.8 = 1.24 \text{ MHz}$
Duração de um time slot	$488 \times 8 = 3.9\mu\text{s}$	$650 \times 8 = 5.2\mu\text{s}$
Número de quadros por multiquadro	16	12
Duração de um multiquadro	$16 \times 125\mu\text{s} = 2 \text{ ms}$	$12 \times 125\mu\text{s} = 1.5 \text{ ms}$
Alinhamento do quadro	bits agrupados	bits distribuídos
Sinalização	fora do byte	no byte

Figura 2.24b - Características específicas dos sistemas PCM24 e PCM30

## **2.10 Hierarquia dos Sistemas de Transmissão Digital.**

Os sistemas PCM primários (PCM30 e PCM24) são apropriados para a transmissão telefônica digital, para pequenas distâncias com poucos canais de voz.

Para distâncias maiores, passa a ser necessário agrupar um grande número de canais PCM em um único meio de transmissão, formando um sistema de ordem superior. O agrupamento dos sinais PCM pode ser utilizando uma das seguintes técnicas:

- *Multiplexador PCM*: o sinal digital multiplexado é obtido a partir da multiplexação TDM de vários sinais analógicos convertidos para PCM ou das próprias palavras PCM individuais.
- *Multiplexador Digital Assíncrono (ATDM)*: o sinal digital é obtido pela multiplexação TDM de vários sinais digitais que têm a mesma taxa nominal de transmissão de bits, mas podendo variar dentro de certos limites.
- *Multiplexador Digital Síncrono (STDM)*: o sinal digital é obtido pela multiplexação TDM de vários sinais digitais que têm exatamente a mesma taxa de transmissão de bits.

Atualmente é comum o uso de STDM para taxas superiores a 140 Mbits/s, enquanto o ATDM é usado nas taxas inferiores a 140 Mbits/s.

### **2.10.1 Hierarquia Digital Plesiócrona - PDH**

A PDH utiliza a técnica ATDM para formar os diversos níveis da hierarquia. O nome plesiócrono significa que os sinais de entrada dos multiplexadores digitais (MULDEX) têm a mesma taxa nominal, mas o valor exato tem uma pequena tolerância, dada em partes por milhão (PPM). Existem 3 hierarquias distintas, sendo uma para os sistemas baseados no sistema primário PCM30, e duas no PCM24, que são a Norte Americana e a Japonesa.

<b>Ordem</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Número de tributários	-	4	7	6
Número de canais telefônicos	24	96	672	4 032
Taxa de transmissão de bits (kbits/s)	1 544	6 312	44 736	274 176
Tolerância (PPM)	50	30	20	10
Duração do bit (ns)	≈647	≈158	≈22	≈3.6
Tamanho do quadro	193	1176	4760	4704
Duração do quadro (μs)	≈125	≈186	≈106	≈17
Designação abreviada	1.5M (T1 ou DS1)	6M (T2 ou DS2)	45M (T3 ou DS3)	274 M(T4 ou DS4)

**Figura 2.25 - Características dos multiplex baseado no PCM24 (Norte Americano)**

<b>Ordem</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Número de tributários	-	4	4	4
Número de canais telefônicos	30	120	480	1 920
Taxa de transmissão de bits (kbits/s)	2 048	8 448	34 368	139 264
Tolerância (PPM)	50	30	20	15
Duração do bit (ns)	≈488	≈118	≈29	≈7.2
Tamanho do quadro	256	848	1 536	2 928
Duração do quadro (μs)	125	≈100	≈44.7	≈21
Designação abreviada	2M (E1)	8M (E2)	34M (E3)	140M (E4)

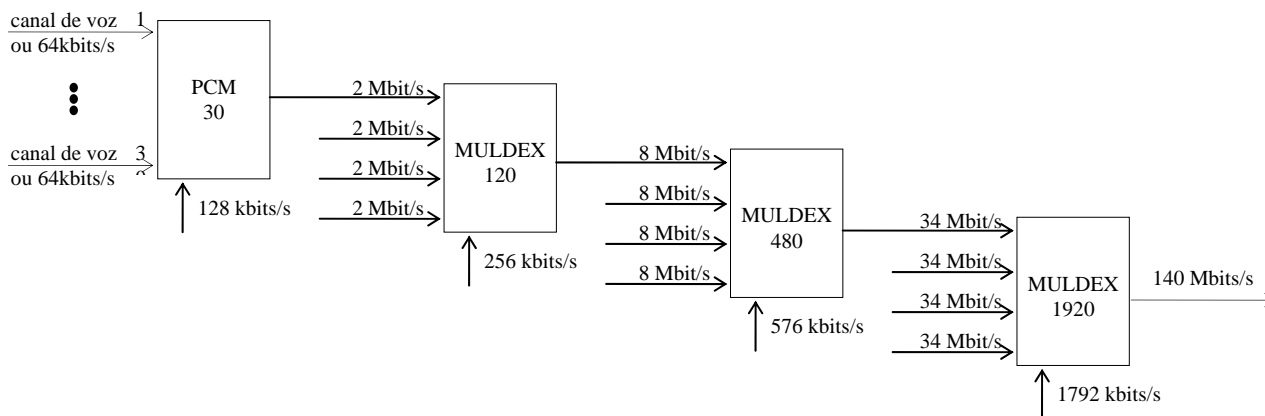
**Figura 2.26 - Características dos multiplex baseado no PCM30**

<b>Ordem</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Número de tributários	-	4	5	3
Número de canais telefônicos	24	96	480	1 440
Taxa de transmissão de bits (kbits/s)	1 544	6 312	32 064	97 728

**Figura 2.27 - Características dos multiplex baseado no PCM24 (Japonês)**

Para fins de estudo, utilizaremos apenas a hierarquia baseada no PCM30, que é empregada também no Brasil. Neste sistema, cada quadro é encabeçado por uma palavra de alinhamento de quadro para permitir a sincronização do receptor, existindo também posições definidas para transportar as informações de serviço (telesupervisão, alarmes, etc).





**Figura 2.28 - Processo de multiplexação da hierarquia baseada no PCM30**

Devido a diferença da taxa de transmissão que pode existir entre os tributários, o número de bits que chegam nas entradas de um multiplex plesiócrona pode diferir de uma para outra entrada. Por este motivo, é necessário criar um mecanismo que permita compensar esta diferença de bits, pois caso contrário ocorreria perda ou duplicação de bits (SLIP). O processo que realiza esta compensação é chamado de justificação.

### **2.10.2 Processo de Justificação**

O processo de justificação tem a função de acomodar a diferença entre a velocidade de escrita dos tributários e velocidade com que são lida as informações pela saída do multiplex digital.

No processo de justificação, existem bits de controle que informam sobre a retirada ou acréscimo de bits de informação no quadro do sinal de saída. Estes bits servem para que o receptor, ao demultiplexar o sinal, preserve todas as informações dos sinais multiplexados.

Existem dois processos básicos de justificação que são a positiva e a negativa, as quais podem ser utilizadas de forma isolada ou simultânea.

Tanto no caso do uso da justificação positiva como negativa, o tamanho do quadro não se altera nas situações em que foi feita a justificação.

A justificação negativa é feita quando a escrita dos bits é mais rápida do que a leitura dos bits do buffer de entrada do multiplex. Neste caso, existe a necessidade dar vazão aos bits a mais que chegam ao multiplex para que não haja perda de bits. Isto é feito através do uso de uma posição do quadro para cada entrada, onde é colocado um bit de informação a mais. Os bits de controle de justificação são utilizados para indicar se a justificação ocorreu, de forma que o demultiplexador saberá da existência do bit de informação a mais no quadro.

Por sua vez, a justificação positiva é feita quando a escrita dos bits é mais lenta do que a leitura dos bits. Neste caso, existe a necessidade de esperar até que novos bits cheguem ao multiplex, para evitar que um bit já transmitido para a saída seja repetido. Isto é feito através do uso de uma posição do quadro para cada entrada onde normalmente o bit de informação é escrito, quando é necessária a justificação esta posição é preenchida com um bit de enchimento (stuffing bit), que será desprezado na demultiplexação. Os bits de controle de justificação são utilizados para indicar que a justificação ocorreu, de forma que o demultiplexador saberá quais dos bits de justificação contém informações e quais são de enchimento.

O momento em que deverá ser feita a justificação é detectado pela comparação da taxa de entrada de bits no buffer de cada entrada com a taxa de saída de bits. Uma vez verificada a necessidade de justificação, o código de justificação é transmitido, e em seguida, a justificação é feita.

O código de justificação é no mínimo triplicado, para evitar que um erro de um bit resulte na perda de sincronismo de todos os demultiplexadores dependentes. Para evitar que ruídos do tipo rajada afetem simultaneamente todos os bits de controle de justificação, estes são distribuídos ao longo do quadro. A análise do código de justificação é feita por decisão majoritária, de modo que a presença

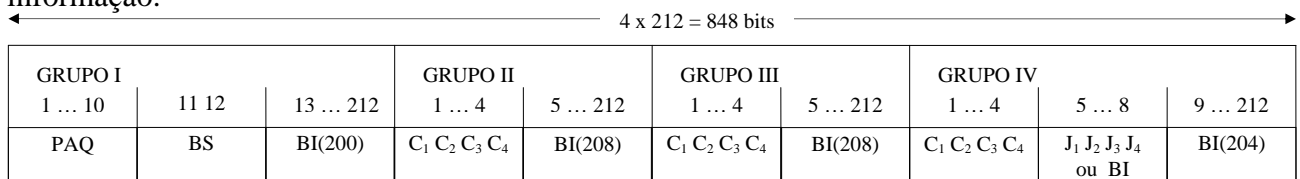
de maioria de zeros (00x, 0X0 ou x00) indica que não houve justificação, enquanto a maioria de uns (11x, 1x1 ou x11) indica que a justificação foi feita.

### 2.10.3 Hierarquia Digital Plesiócrons Europeia

A multiplexação utilizada é feita através de intercalação de bits, de modo que o fluxo contínuo de bits dos tributários é distribuído ao longo do quadro.

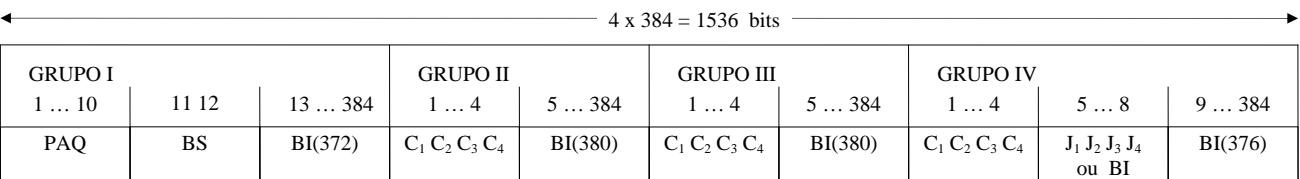
O padrão de alinhamento de quadro utilizado tem 10 bits (ou 12 bits). O aumento no número de bits do PAQ visa tornar o alinhamento mais seguro, uma vez que a perda do alinhamento implica na perda das informações transmitidas em todos os canais.

O processo de justificação positiva é utilizado. Cada tributário possui 3 bits (ou 5 bits) de controle de justificação  $C_i$ . A existência de maioria de 1s no  $C_i$  do tributário, indica que o seu bit de justificação correspondente  $J_i$  contém bits de enchimento. Caso contrário este bit conterá um bit de informação.



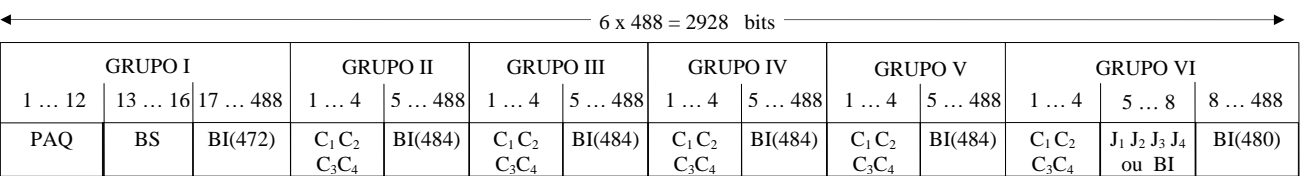
PAQ = 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 - Padrão de Alinhamento de Quadro  
 BS - Bits de Serviço  
 BI - Bits de Informação  
 $C_1 C_2 C_3 C_4$  - Bits de Controle de Justificação dos tributário 1, 2, 3 e 4  
 $J_1 J_2 J_3 J_4$  - Bits de Justificação dos tributário 1, 2, 3 e 4

Figura 2.29 - Quadro de 8 Mbits/s



PAQ = 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 - Padrão de Alinhamento de Quadro

Figura 2.30 - Quadro de 34 Mbits/s



PAQ = 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 0 0 - Padrão de Alinhamento de Quadro

Figura 2.31 - Quadro de 140 Mbits/s

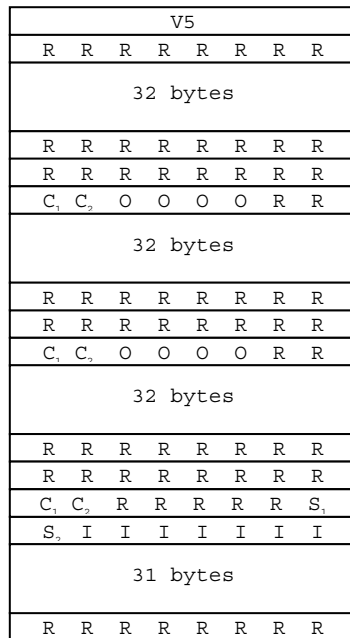
### 2.10.4 Hierarquia Digital Síncrona - SDH

Em virtude da necessidade crescente de altas taxas de transmissão de bits nos enlaces de longas distâncias entre cidades, estados, países e continentes, e também para possibilitar a implantação da RDSI de faixa larga, o CCITT especificou a Hierarquia Digital Síncrona - SDH. Neste sistema, o requisito básico é de que todos os equipamentos estejam sincronizados entre si.

A multiplexação dos tributários síncronos (STM-1, STM-4, STM-16 ...) é feita sem que ocorra um aumento de bits, através da simples intercalação de bytes, de forma que a soma das velocidades dos tributários é igual a velocidade da saída do multiplex síncrono.

Uma característica importante da SDH é aceitar como tributários algumas das taxas de transmissão do PDH Norte Americano, Japonês, as taxas do PDH Europeu (CCITT), as taxas do padrão SONET (Synchronous Optical NETWORK), permitindo compatibilizar as diversas hierarquias

pleisiócronas sem que seja necessário desmanchar os sinais multiplexados até o nível de 64 kbits/s. A compatibilização é feita através da transformação do quadro pleiocrónico em um quadro síncrono ("container"). O container adapta através de um mapeamento os tributários de baixa ordem para que estes possam ser transportados na rede síncrona. Nos casos em que os tributários são assíncronos ou pleiocrónicos no mapeamento é feito também um processo de justificação positiva de bit semelhante a aquela feita na multiplexação dos sinais pleiocrónicos.



- V5 - Cabeçalho do VC12
- I - bit de informação
- O - bit de overhead
- C<sub>1</sub> - bit de controle de justificação
- S<sub>1</sub> - bit de oportunidade de justificação negativa
- S<sub>2</sub> - bit de oportunidade de justificação positiva
- R - bit de enchimento

Figura 2.32 - Mapeamento do tributário de 2.048 kbits assíncrono no VC12.

A figura 2.32 mostra como é feito o mapeamento de um sinal assíncrono no container virtual VC12, o qual é constituído de 140 bytes, tendo a capacidade útil de 1024 ± 1 bit com uma duração de 500µs.

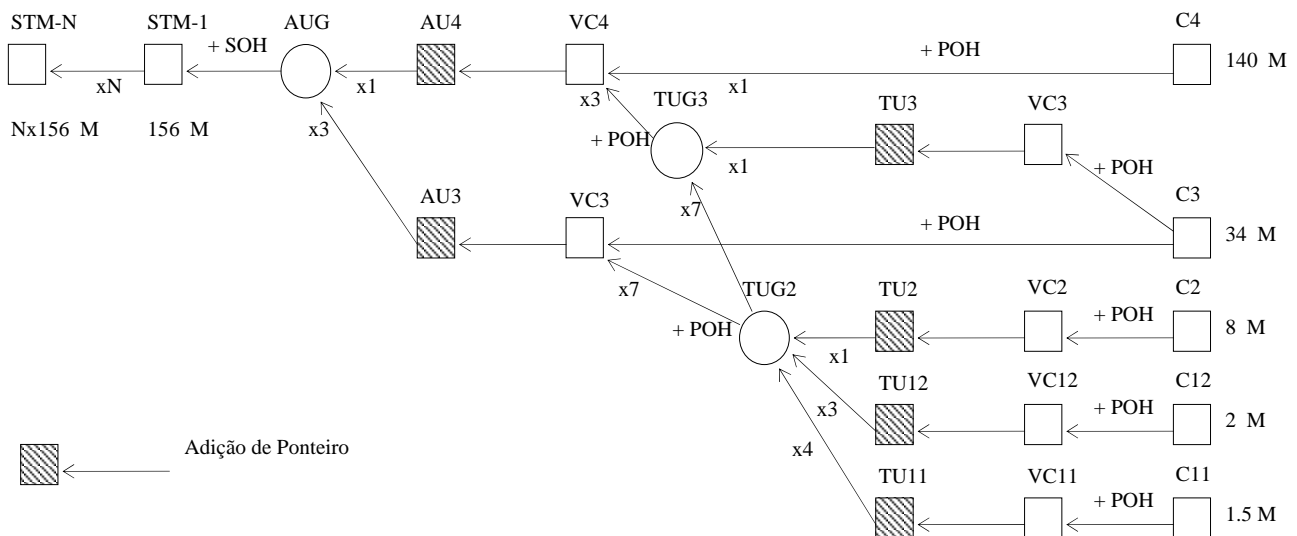


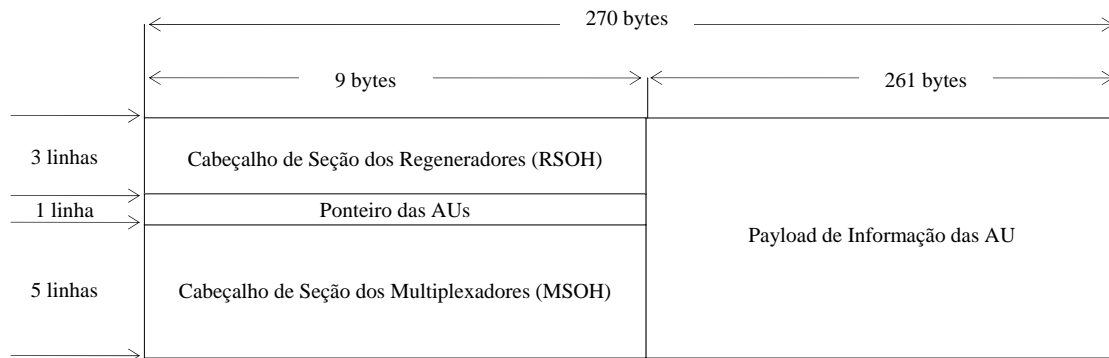
Figura 2.33 - Mapeamento dos tributários na multiplexação SDH do CCITT

Os containers C11, C12, C2, C3 e C4 fazem o mapeamento inicial dos tributários de 1.5M, 2M, 8M, 34M e 140M respectivamente. Os containers virtuais (VC) correspondem aos containers acrescidos dos cabeçalhos (POH<sup>8</sup>).

As Unidades tributárias (TU) correspondem aos VCs acrescidos de ponteiros que indicam a posição que os VCs irão ocupar na Unidade de Grupo Administrativo (AUG). A primeira multiplexação dos sinais é feita através da justaposição de 1 até 7 TUs, formando as Unidades de Grupo Tributárias (TUG). Uma segunda multiplexação é feita através da justaposição das TUG, formando um VC de ordem superior (VC4 e VC3), os quais acrescidos de um pointer passarão a formar as Unidades Administrativas (AU). Finalmente, uma última multiplexação é feita justapondo as AUs, formando a Unidade de Grupo Administrativo (AUG).

A formação dos módulos de transporte síncrono (STM-N) ocorre através do intercalação de bytes de "N" AUGs e o acréscimo dos cabeçalhos de seção (SOH<sup>9</sup>).

A estrutura básica do quadro do STM-1 é composta de 9 linhas de 270 bytes, sendo que os nove primeiros bytes de cada linha são destinados aos cabeçalhos de seção e aos ponteiros da AUs. O restante dos bytes de cada linha é destinada ao "Payload"<sup>10</sup> de informação que contém uma AUG. A quantidade total de bits do quadro é de  $270 \times 9 \times 8 = 19440$  bits, os quais se repetem a cada  $125\mu\text{s}$  resultando em uma taxa de transmissão de bits de 155 520 kbits/s (156 M).



**Figura 2.34 - Estrutura do quadro do STM-1**

O cabeçalho de seção é dividido em duas partes que têm funções diferenciadas. O Cabeçalho de Seção dos Regeneradores (RSOH), contém as informações de alinhamento de quadro e outras informações utilizadas pelos regeneradores, enquanto o Cabeçalho de Seção dos Multiplexadores (MSOH) passa totalmente transparente pelos regeneradores, sendo utilizado para multiplexar e demultiplexar as AUs.

No caso dos módulos de transporte síncrono de ordem superior STM-4, STM-16, a estrutura básica é constituída pelas mesmas 9 linhas, sendo que cada linha possui  $N \times 270$  bytes, que correspondem a intercalação de N estruturas STM-1 byte a byte. As taxas de transmissão destes módulos são portanto de:  $\text{STM-4} = 4 \times \text{STM-1} = 622\,080$  kbits/s;  $\text{STM-16} = 16 \times \text{STM-1} = 2\,488\,320$  kbits/s.

## **2.10.5 Vantagens da SDH**

Entre as principais vantagens da hierarquia digital síncrona podemos ressaltar:

- É um padrão mundial que permite a compatibilização das hierarquias plesiócronas e síncronas existentes.
- Possui capacidade de transmissão suficiente para as futuras necessidade de transmissão.
- Possibilita o acesso direto aos tributários de baixas taxas de transmissão sem descer na hierarquia através da demultiplexação.

<sup>8</sup> POH - Path Overhead

<sup>9</sup> SOH - Section Overhead

<sup>10</sup> Payload - Espaço onde as informações dos tributários são transmitidas.

- Existe uma grande facilidade para aumentar as taxas de transmissão, devido à ausência de bits de justificação, utilizando-se exclusivamente da intercalação de bytes.
- É compatível com as técnicas de comutação ATM<sup>11</sup>.

## **2.11 Sincronização da Rede**

Todos os sistemas digitais necessitam de uma fonte de frequência ou “relógio” para temporizar as operações internas e externas. Operações temporizadas por uma fonte única de frequência não requerem fontes especialmente estáveis, uma vez que todos os elementos temporizados sofrem as mesmas variações no tempo. No entanto, a situação é totalmente diferente quando existem transferências entre dois equipamentos síncronos. Mesmo que o relógio do terminal receptor esteja sincronizado ao terminal transmissor em longo-prazo, a curto-prazo variações no relógio podem provocar danos a integridade dos dados transferidos.

A sincronização é necessária em um sistema de transmissão, para recuperar a portadora para a demodulação coerente do sinal, recuperar o relógio para amostrar os dados de entrada, e realizar o alinhamento para identificar os canais em um sinal TDM.

O sinal de relógio sempre possui uma certa instabilidade, sendo a instabilidade de frequência um dos aspectos mais importantes. A taxa em que a frequência do relógio muda pode ser rápida (jitter) ou lenta (wander)<sup>12</sup>. As principais fontes de instabilidade do relógio em uma rede são:

- Ruídos e interferências.
- Mudanças no comprimento do meio de transmissão.
- Mudanças na velocidade de propagação.
- Efeito Doppler devido ao movimento dos terminais móveis.
- Geração de relógios irregulares.

Por outro lado, quando existe a interligação entre equipamentos digitais que utilizam frequências autônomas, haverá sempre uma diferença entre os dois relógios, independente da precisão destes. Devido a diferença dos relógios, pode ocorrer a interrupção da seqüência de dados, pela perda ou duplicação de bits, efeito que é conhecido com SLIPs. A ocorrência de slips não controlados geralmente causa a perda do sincronismo de quadro, de modo que os slips devem acontecer apenas pela repetição ou apagamento de um quadro inteiro. O efeito audível dos slips na voz digitalizada é um “click” ocasional. No caso de modems analógicos de alta velocidade, a ocorrência de slips causa erros de dados.

Os motivos básicos para que os requisitos de temporização de uma rede digital sejam analisados com cuidado são: a rede deve evitar a ocorrência de slips não controlados; o plano de sincronização deve estabelecer uma taxa máxima de slips controlados.

Existem seis abordagens básicas de sincronizar uma rede digital:

- Plesiócrons.
- Bits de enchimento ao longo de toda a rede.
- Sincronização mútua.
- Sincronização através de relógio Mestre.
- Sincronização Mestre-Escravo.
- Rede Comutada a Pacotes.

### **a) Plesiócrons**

Uma rede plesiócrons não possui sincronização, mas apenas utiliza relógios altamente precisos em todos os nós de comutação, de modo que a taxa de slips entre nós seja razoavelmente baixa. Este método é de implementação mais simples pois não requer a distribuição do relógio pela rede, no

<sup>11</sup> ATM - Assynchronous Transfer Mode

<sup>12</sup> O ponto de divisão mais aceito entre wander e jitter é de 10 Hz.

entanto, implica que os pequenos nós de comutação também tenham as onerosas fontes de relógio altamente precisas.

O método plesiócrono é utilizado para sincronizar a rede de interconexão internacional. A recomendação G.811 do ITU-T estabelece como objetivo de estabilidade uma tolerância de  $10^{-11}$  para os gateways internacionais, o que representa uma taxa de um slip controlado a cada 70 dias. Para se obter esta precisão é necessário a utilização de relógios atômicos de césio nos nós internacionais.

### **b) Bits de enchimento ao longo de toda a rede**

Se todos os enlaces e nós comutadores da rede são projetados para uma taxa levemente superior a taxa nominal dos processos de digitalização, então todos os sinais de voz podem ser propagados através da rede sem que ocorram slips, colocando bits de enchimento para completar a taxa nominal do canal. Neste caso nenhum relógio precisa ser sincronizado com o outro, e podem ser utilizados relógios com um certo grau de imprecisão.

### **c) Sincronização mútua**

Na mútua sincronização, é obtido uma frequência de relógio comum através da troca de referências entre todos os nós da rede. Cada nó realiza a média das referências de entrada e utiliza esta média como relógio local e para transmissão. Após o período de inicialização, o relógio da rede normalmente converge para uma frequência estável. O principal ponto forte neste método é a não dependência de nós específicos, permanecendo operando mesmo com a falha do relógio de qualquer nó.

### **d) Sincronização Mestre**

Um relógio mestre é transmitido para todos os nós da rede, fazendo com que todos os nós fiquem amarrados em uma frequência comum. Todos os nós precisam estar conectados diretamente ao mestre da rede, implicando em meios de transmissão disponíveis para a distribuição da referência.

### **e) Sincronização Mestre-Escravo.**

É uma configuração que distribui a referência mestre da rede através dos próprios canais existentes. Inicialmente a referência é distribuída para um pequeno conjunto de nós da parte superior da hierarquia. Após estes nós sincronizarem seus relógios com a referência, removendo o jitter, a referência é passada para os nós inferior na hierarquia através dos enlaces digitais existentes. Cada nó recebe a referência de um nó de nível superior, e após se sincronizar repassa a referência para um outro nó.

Como todos os nós da rede estão sincronizados direta ou indiretamente com a mesma referência, eles tem a mesma taxa nominal, e por isso slips não devem ocorrer.

### **f) Rede Comutada a Pacotes.**

As redes comutadas a pacotes quebram as mensagens em blocos de dados identificados (pacotes). Entre os blocos os meios de transmissão da rede transmitem códigos nulos ou mensagens de controle. Neste caso, desde que os blocos sejam limitados, as diferenças de relógio podem ser absorvidas evitando a perda de dados.

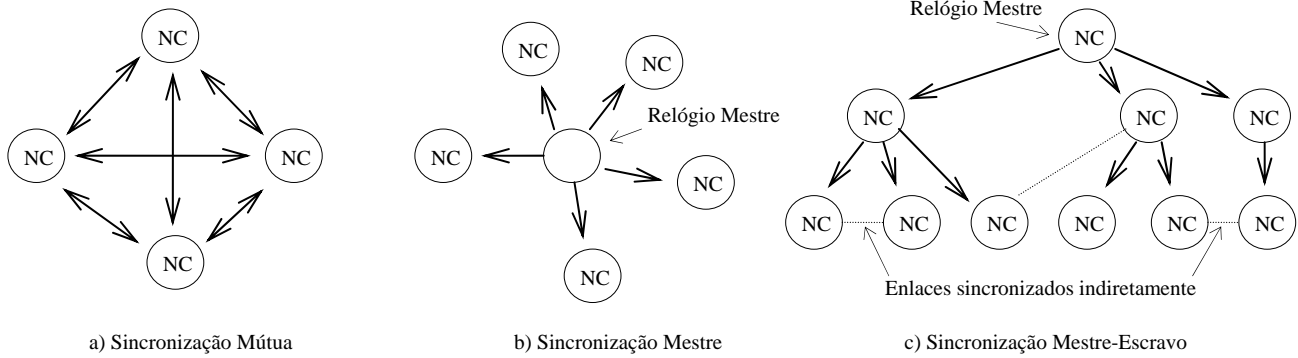


Figura 2.35 - Métodos de sincronização de rede.

### 2.12 Utilização dos meios de transmissão para a transmissão digital.

Entre os meios de transmissão utilizados para a transmissão digital, temos os condutores de cobre que também são utilizados na transmissão analógica, e as fibras óticas que são utilizadas exclusivamente para a transmissão digital. O motivo do uso exclusivo da fibra ótica como meio digital é a atual limitação tecnológica dos dispositivos de emissão e recepção de luz que são utilizados apenas na condição luz ligada e desligada (ON - OFF).

Meio de Transmissão		Medidas (mm) <sup>13</sup>	Frequência (MHz)
Conductor de Cobre	Par Simétrico	0.4 a 1.2	< 2
	Mini Cabo Coaxial	0.7 / 2.9	0.2 ...20
	Pequeno Cabo Coaxial	1.2 / 4.4	0.06...70
	Cabo Coaxial Normal	2.6 / 9.5	0.06...300
Meio de Transmissão		Medidas (µm) <sup>14</sup>	Comprimento de onda (nm)
Fibra Ótica	Multimodo de Índice Gradual	50 / 125	820 ...900
			1270 ...1330
	Monomodo	10 / 125	1300 ou 1550

Figura 2.36 - Características dos meios de transmissão digital.

Meio de Transmissão	2 Mbits/s	8 Mbits/s	34 Mbits/s	140 Mbits/s	565 Mbits/s
Par simétrico	HDB3 1.7...3.5 km	-	-	-	-
Mini cabo coaxial	-	HDB3 4 km	4B/3T 2 km	-	-
Cabo coaxial pequeno	-	-	4B/3T 4 km	4B/3T ou CMI 2 km	-
Cabo coaxial normal	-	-	4B/3T 9.3 km	4B/3T ou CMI 4.65 km	AMI 1.55 km
Fibra ótica multimodo de índice gradual Fonte LED: 820...900 nm 1300 nm	Binário ou CMI 8...12 km 20 km	Binário ou CMI 9...11 km 15 km	5B/6B 5.5 km 12...21 km	5B/6B 5 km 7 km	-
Fibra ótica multimodo de índice gradual Fonte LASER: 820...900 nm 1300 nm	Binário ou CMI 12...16 km 30...40 km	5B/6B 10...15 km 25...35 km	5B/6B 10...13 km 29...39 km	5B/6B 20...30 km	-
Fibra ótica monomodo Fonte LASER: 1300 nm 1550 nm	-	-	5B/6B 30...55 km	5B/6B 30...50 km 40...70 km	5B/6B 25...40 km 30...60 km

Figura 2.37 - Códigos de linha utilizados e distância entre regeneradores.

<sup>13</sup> Nos cabos coaxiais as medidas se referem ao diâmetro externo do núcleo e diâmetro interno da casca condutora.

<sup>14</sup> Nas fibras ótica as medidas se referem ao diâmetro externo do núcleo e diâmetro total da fibra de vidro.

## 2.13 Circuitos utilizados

### a) Regenerador Repetitivo

As principais funções do regenerador são:

- **Equalização** - restaurar o sinal na forma analógica para reduzir ao máximo as interferências entre símbolos e ruído.
- **Amplificação Linear** - compensar a atenuação sofrida pelo sinal.
- **Recuperação do Relógio** - retirar a informação de relógio da linha de entrada para controlar e temporizar o funcionamento do regenerador.
- **Amostragem** - extrair as amostras do sinal de entrada.
- **Discriminação de níveis** - detectar o nível no qual as amostras se enquadram.
- **Reconstrução do sinal** - criar um sinal regenerado e transmiti-lo.

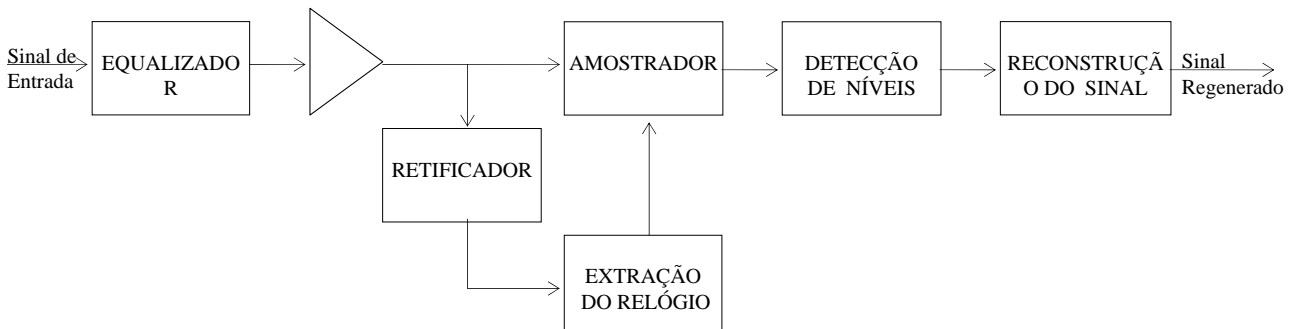


Figura 2.38 - Regenerador Repetitivo.

O modo mais comum de sincronizar um relógio de receptor com o relógio do transmissor é utilizando um circuito PLL<sup>15</sup>. O detetor de fase mede a diferença de fase do relógio externo e do relógio gerado localmente através da diferença entre os pontos em que os dois sinais cruzam o zero. Quando o relógio externo cruza o zero antes do relógio interno, um pulso positivo é gerado e caso contrário um pulso negativo é gerado. A saída do detetor de fase é filtrada para eliminar os ruídos, e então o valor da diferença de fase é utilizada para ajustar a frequência de um oscilador controlado por tensão (VCO).

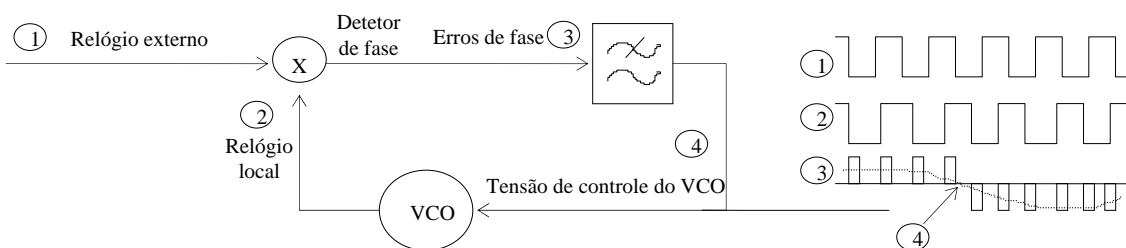


Figura 2.39 - Circuito de recuperação do relógio (PLL).

A alimentação do regenerador é feita através de um circuito fantasma que utiliza os dois pares de fios de transmissão e recepção. O princípio de funcionamento do circuito fantasma está em anular o efeito da corrente de alimentação no circuito de transmissão através do cancelamento dos fluxos magnéticos no transformador de acoplamento. A figura abaixo ilustra o circuito de alimentação.

<sup>15</sup>

PLL - Phase-locked loop



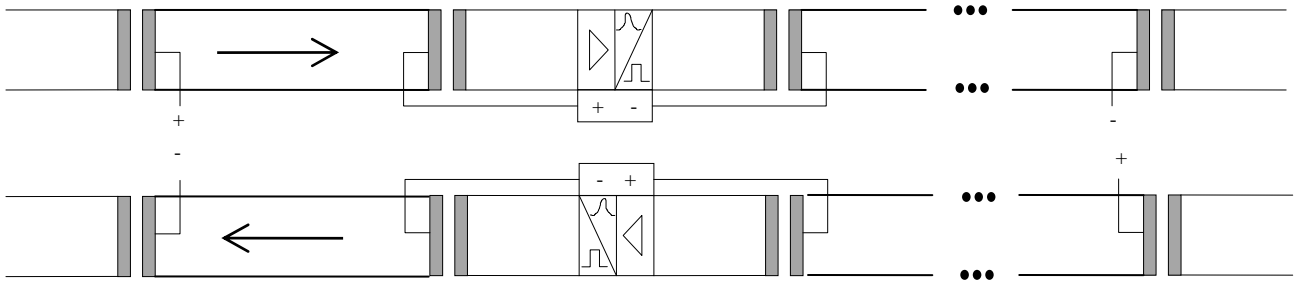


Figura 2.40 - Circuito de alimentação fantasma.

**b) Equipamento TDM/PCM primário**

É o equipamento que realiza a multiplexação e demultiplexação dos canais telefônicos. De um lado, possui as entradas e saídas dos 30 canais de telefônicos, e do outro lado possui duas linhas multiplex de entrada e saída do sistema digital primário. As funções exercidas pelo equipamento são:

- Modulação e Demodulação PCM.
- Multiplexação e Demultiplexação TDM dos 30 canais.
- Composição do quadro do PCM30 na transmissão.
- Inserção e extração da sinalização de linha de cada canal.
- Alinhamento do quadro na recepção.
- Monitoração e alarmes.
- Geração do relógio para a transmissão de 2.048 kHz ± 50 ppm.
- Recuperação do relógio a partir do sinal PCM de entrada.
- Codificação de linha.

Uma das formas de implementar o equipamento multiplex é através da multiplexação de amostras PAM, e sua posterior conversão para PCM. Esta estrutura exige um codificador rápido, mas apresenta problemas de diafonia temporal durante a multiplexação dos 30 canais em PAM.

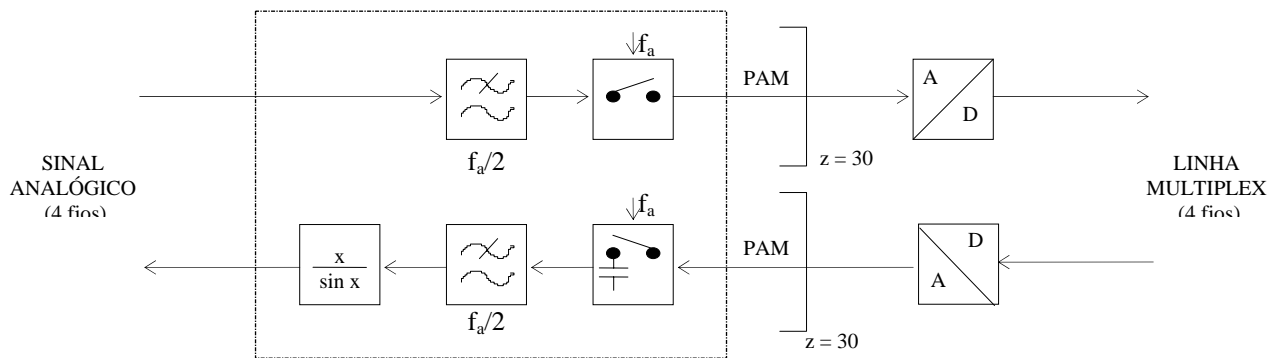


Figura 2.41 - Equipamento multiplex com CODEC compartilhado

Uma outra forma de fazer a multiplexação é realizar individualmente a conversão dos canais telefônicos em sinais PCM e depois multiplexar em TDM as palavras PCM dos canais. Neste caso é necessário um CODEC por canal. A velocidade dos CODECs é menor neste caso, e o problema da diafonia temporal deixa de existir.

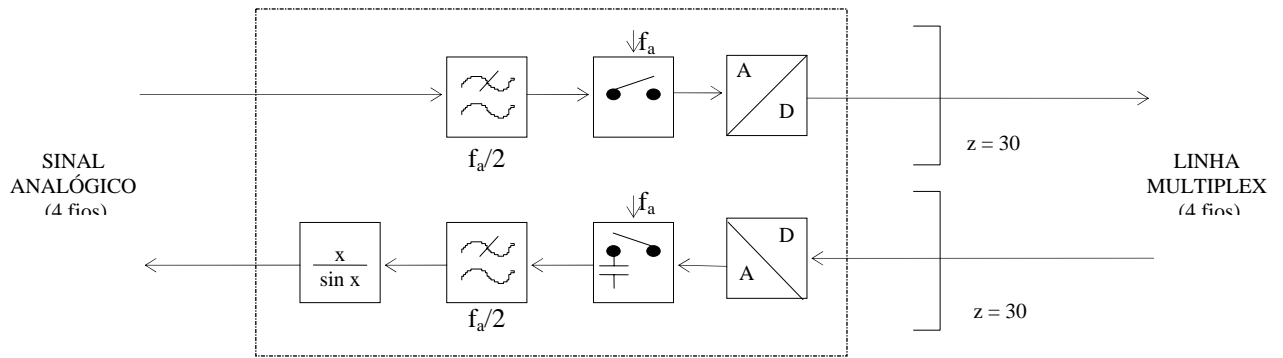


Figura 2.42 - Equipamento multiplex com um CODEC por canal.

### Referência bibliográfica.

1. ALENCAR, M.S.: *Telefonia Digital*, Érica, 1998.
2. FERRARI, A.M.: *Telecomunicações: evolução e revolução*, Erica, 1991.
3. BELLAMY, J.: *Digital Telephony*. 2 ed., Willey, New York, 1991.
4. BOCKER, P.: *ISDN - Das diensteintegrierende digitale nachrichtennetz - Konzept, Verfahren, Systeme*, 2 ed., Springer-Verlag, , 1988.
5. FONTOLLIET: *Telecommunication Systems*. Artech House - 1986.
6. KEISER, B.E. & STRNGE, E.: *Digital Telephony and Network Integration*, Van Nostrand Reinold, New York, 1985.
7. OWEN, F.F.E.: *PCM and Digital Transmission Systems*. McGraw-Hill, New York, 1982.
8. Se você procura informações atualizadas procure na INTERNET nos links indicados no site [www.etfsc-sj.rct-sc.br/~moecke](http://www.etfsc-sj.rct-sc.br/~moecke)