

SISTEMAS DE TRANSMISSÃO OPTO-DIGITAL

TECNOLOGIA BÁSICA Nx34

Delson Meira
Jadir Antonio da Silva
Júlio César Magro

CPqD/TELEBRÁS
DTR/TR1/SISCOp
Caixa Postal 1579
13100 - Campinas - SP

RESUMO

Este trabalho descreve o Equipamento Terminal de Linha Óptica para quatro tributários à taxa de 34 Mbit/s - ELO-434, parte integrante do sistema óptico a 140 Mbit/s, que está sendo desenvolvido pelo CPqD/TELEBRÁS e que se insere no Sistema de Transmissão ópto-Digital - Tecnologia Básica Nx34 - onde sistemas de 34 a 560 Mbit/s podem ser implementados utilizando-se da tecnologia gerada a partir deste desenvolvimento.

Tal sistema permite o atendimento de forma econômica das necessidades de implantação de entroncamentos digitais de alta capacidade, tanto nas áreas urbanas e metropolitanas, como na integração de centros regionais e interurbanos.

O equipamento ELO-434 é formado pelas unidades: Interface de Tributário (TBR), Relógio Mestre de Transmissão (RMT), Codificador/Decodificador (COD), Modulador (MDL), Demodulador (DML), Recuperador de Relógio e Regenerador (RRR), Canal Programa Analógico (CPA) e Conversor de Alimentação (CVR).

1. INTRODUÇÃO

Para um melhor entendimento do atual estágio no desenvolvimento de sistemas ópticos é interessante citar o que denominamos Hierarquia ópto-digital (HOD):

HOD-I: Sistemas de Baixa Capacidade

HOD-I.1: ELO-2

HOD-I.2: ELO-8

HOD-I.3: ELO-34

HOD-II: Sistema de Alta Capacidade

HOD-II.1: ELO-434 (4x34=140 Mbit/s)

HOD-II.2: ELO-834 (8x34=280 Mbit/s)

HOD-II.3: ELO-1634 (16x34=560 Mbit/s)

Está sendo desenvolvido pela Coordenação de Áreas de Transmissão Digital e de Comunicações ópticas do CPqD/TELEBRÁS o Sistema ELO434, com capacidade de transmissão de 1920 canais (140 Mbit/s) através de fibra óptica.

Além disso, e a partir da tecnologia gerada por este projeto pretende-se atender às especificações para operação em 280 Mbit/s e 560 Mbit/s.

2. SISTEMAS DE ALTA CAPACIDADE

2.1 CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA A 140 MBIT/S

O Sistema a 140 Mbit/s permite a transmissão de até quatro sinais digitais à taxa de 34368 Kbit/s, compondo, com cabo de fibras monomodo, o equivalente a um sistema de transmissão digital de quarta hierarquia (Fig.1).

É formado por dois equipamentos:

- Equipamento Terminal de linha Óptica para quatro tributários à taxa de 34 Mbit/s - ELO-434;
- Equipamento Repetidor Óptico de Trânsito - ROT-434

Neste trabalho apresentamos o Equipamento Terminal uma vez que o Intermediário é composto, basicamente, pelas mesmas unidades.

2.1.1 Configuração do ELO-434

Apresenta-se com suas funções internas distribuídas em 11 unidades, com a seguinte composição (Fig.2):

- 04 Unidades TBR (Interface de Tributário);
- 01 Unidade RMT (Relógio Mestre de Transmissão);
- 01 Unidade COD (Codificador/Decodificador);
- 01 Unidade MDL (Modulador);
- 01 Unidade DML (Demodulador);
- 01 Unidade RRR (Recuperador de Relógio e Regenerador);
- 01 Unidade CPA (Canal Programa Analógico);
- 01 Unidade CVR (Conversor de Alimentação).

2.1.2. CARACTERÍSTICAS DO ELO-434 (ESPECIFICAÇÕES PARA PROJETO DE DESENVOLVIMENTO)

- Interface de Tributário: Conforme recomendação CCITT-G703 (Livro Vermelho)
- Taxa de Tributário: 34368 Kbit/s (+/- 20ppm)
- Número de Tributários: até 04
- Taxa de Linha Óptica: 174080 Kbit/s (NRZ) - Código 8B-10B
- Comprimento de Onda: .1300nm (1270nm a 1330nm);
ELO-434/13
.1500nm (limites em estudo);
ELO-434/15
- Potência Óptica:
 - . no ponto (T)* : -3,0/-6,0/-9,0 dBm (programável)
 - . no ponto (R)* : -40 dBm (para TEB melhor que 10E-9)
- Alimentação Primária : -48,0 VCC (+/- 25%)
(Prática TB No. 226-1152-01)
-24,0 VCC (-17% a +25%)

(*) Conforme recomendação CCITT aplicável, os pontos (T) e (R) representam a primeira conexão óptica imediatamente após o transmissor e a última conexão óptica imediatamente anterior ao receptor.

2.1.3. DESCRIÇÃO FUNCIONAL DAS UNIDADES

2.1.3.1. Unidade Interface de Tributário (TBR)

Esta unidade tem como função principal o interfaceamento dos sinais de entrada e saída de tributários digitais a 34368 Kbit/s (Fig.3).

O sinal do tributário de entrada, a ser

transmitido opticamente acessa o equipamento através da Interface de Entrada (IE) responsável pela sua equalização e amplificação.

O circuito integrado dedicado "TB 17", desenvolvido pelo CPqD, realiza várias funções tanto na transmissão como na recepção.

Na transmissão o "TB 17" além de realizar a conversão do sinal HDB3 em binário, também promove o embaralhamento e a justificação deste sinal.

O bloco embaralhador é necessário considerando que este sinal será utilizado como entrada de um codificador de blocos nB-mB que necessita, para seu perfeito funcionamento, de sinais decorrelacionados tanto no tempo como entre si.

A justificação é o processo que permite a sincronização do sinal de tributário, à taxa de 34816 Kbit/s.

Pelo lado da recepção o CI dedicado "TB 17" realiza o processo de dejustificação no qual se recupera, na taxa original de 34368 Kbit/s, a informação do tributário distante. Além disso, executa as funções de desembaralhamento e conversão binário para HDB3.

O bloco "Rec.Rel." é um circuito do tipo "PLL" que recupera a informação original do relógio de tributário para utilização interna à unidade.

Esta unidade possui ainda detetores de atividade que monitoram seu funcionamento.

2.1.3.2. Unidade Relógio Mestre da Transmissão (RMT)

A unidade RMT é responsável pela geração de todas as ondas de controle e sinais de relógio necessários ao processamento digital realizado no lado de transmissão do ELO-434.

Na Fig.4 pode-se observar o diagrama em blocos.

Os blocos Oscilador à XTAL e Quadrador geram o relógio de 34816 KHz utilizado como referência pelos circuitos de transmissão.

O "PLL" ("Phase Locked Loop"), sintetiza o sinal de 174080 KHz a partir do relógio de 34816 KHz.

O Gerador de Ondas de Controle fornece as ondas necessárias à montagem do sinal de tributário justificado, que são derivadas do relógio de 34816 KHz e periódicas a cada quadro de tributário.

2.1.3.3 Unidade Codificador/Decodificador (COD)

Essa unidade é responsável pelo processamento digital do sinal de tráfego conformando-o para atender às necessidades de transmissão via fibra óptica. O diagrama em blocos pode ser observado na figura 5.

O codificador processa os sinais provenientes das unidades Interface de Tributário (TBR) concentrando-os e fornecendo um único sinal binário à unidade Modulador (MDL).

Cada tributário, com taxa nominal de 34816 Kbit/s, é dividido em dois sinais de 17408 Kbit/s. Os 8 sinais resultantes são mapeados segundo um processo de codificação em blocos tipo 8B-10B. Nesse processo a taxa de linha é aumentada para 174080 Kbit/s contra 139264 Kbit/s que seria a taxa caso não se utilizasse qualquer codificação.

A redundância obtida nesse processo de codificação é utilizada com os seguintes objetivos:

- conformação espectral;
- avaliação da taxa de erro da transmissão;
- transmissão de canais de serviço digitais;
- transmissão de informações de supervisão.

O decodificador recebe o sinal regenerado, serial, a 174080 Kbit/s, transformando-o, inicialmente, em blocos de 10 bits a 17408 Kbit/s.

Estes blocos são então associados a palavras de 8 bits, de modo reverso ao realizado na codificação.

Os oito sinais de saída são então combinados dois a dois formando quatro sinais de tributários.

A idéia básica do circuito alinhador é decidir por uma condição de falta de alinhamento de bloco, a partir da incidência elevada de palavras que violam a lei de formação, ativando a função de alinhamento e promovendo o ajuste da fase do bloco.

O monitor da taxa de erro também se utiliza da informação do número e violações para, em base de tempo adequada, esteriorizar os sinais indicadores de falha por taxa de erro maior que $10E-3$, ou maior que $10E-6$.

2.1.3.4. Unidade Modulador Eletro-Óptico (MDL)

A unidade Modulador tem por função fazer a conversão eletro-óptica do sinal codificado a ser transmitido gerando o sinal óptico que é acoplado à fibra. Utiliza como conversor eletro-óptico um diodo laser de InGaAsP/InP, o qual emite um sinal óptico na faixa do infra-vermelho, em um comprimento de onda de 1300nm, com espectro de emissão monomodo. A potência óptica medida à saída do conector é -3 dBm (ou -6 ou -9 dBm, programável).

O dispositivo laser incorpora num mesmo encapsulamento, além do diodo laser, um fotodetector (para monitoração da potência óptica emitida), uma junção Peltier (para resfriamento) e um termistor. Mantendo uma temperatura constante ($\sim 20^{\circ}\text{C}$) sobre o diodo laser assegura-se uma operação estável do mesmo.

O diagrama em blocos da figura 6 mostra a unidade MDL contendo: dispositivo laser, "line receiver", fonte controlada de corrente de modulação, controle automático de potência, fonte controlada de corrente de polarização, controle automático de temperatura, circuitos de proteção do laser e alarmes.

O circuito "line receiver" recebe o sinal codificado proveniente da Unidade COD, à taxa de 174080 Kbit/s, e tem como função interfacear adequadamente tal sinal. O sinal de saída deste circuito é entregue, de forma balanceada, a fonte controlada de corrente de modulação. O diodo laser é polarizado em seu ponto de operação, através de um sinal de corrente contínua (I_p). Esta corrente é ajustada e controlada pelo controle automático de potência a fim de compensar as flutuações no rendimento do diodo laser, mantendo a potência óptica média constante.

Os circuitos de proteção e alarmes impedem que o diodo laser opere em condições desfavoráveis.

Um sinal FM transportando o canal programa de transmissão, proveniente da Unidade CPA, pode sobremodular o diodo laser, permitindo a utilização de um canal analógico de alta fidelidade.

2.1.3.5. Unidade Demoduladora (DML)

A unidade demoduladora tem como função realizar a conversão ópto-elétrica do sinal óptico recebido e a extração do canal programa, transmitido através da sobremodulação do laser.

Para realizar a conversão ópto-elétrica utiliza-se um módulo receptor PIN-FET, no qual o fotodetector e o primeiro estágio de amplificação estão integrados em um único encapsulamento.

O diagrama em blocos da figura 7 mostra a unidade DML, contendo: módulo PIN-FET, estágio amplificador (1), filtro e equalizador, estágio amplificador (2), controle automático de ganho, filtro do canal programa, amplificador do canal programa (3) e detetor de nível.

A sensibilidade óptica de entrada para uma taxa de erro de $10E-9$ é aproximadamente * -38dBm.

O módulo PIN-FET é seguido de um estágio amplificador (1) que realiza a amplificação do sinal e provê o casamento de impedância de entrada para os circuitos de filtragem e equalização. Estes têm como parâmetros: impedância de entrada/saída de 50 ohms, taxa do sinal recebido igual a 174080 Kbit/s, sinal NRZ e máxima perda por inserção de 3dB. O estágio amplificador (2) fornece o sinal demodulado à unidade RRR.

O controle automático de ganho (CAG) mantém o nível do sinal demodulado constante, e sua faixa dinâmica elétrica é de 60 dB. O amplificador (3) do canal programa é responsável pela amplificação do sinal extraído da sobremodulação, proveniente do filtro passa - baixas .

(*) varia conforme o fabricante do PIN-FET

2.1.3.6. Unidade Recuperador de Relógio e Regenerador (RRR)

A unidade RRR tem como função básica gerar as ondas de controle e os sinais de relógio necessários ao tratamento dos sinais de tráfego e de tributários, nos circuitos de recepção.

Na Fig.8 pode - se observar o diagrama em blocos onde o relógio a 174080 KHz é sintetizado a partir do sinal demodulado de recepção.

Os blocos que formam este sintetizador podem ser entendidos como um "PLL", no qual o circuito "VCO" seria o conjunto de blocos contidos pela linha tracejada, implementado desta forma devido a necessidade de um relacionamento preciso de fase entre o relógio mestre de tributário na recepção e o relógio a 174080 KHz regenerado.

2.1.3.7. Unidade Canal Programa Analógico (CPA)

Esta Unidade, a princípio, não é essencial ao sistema, podendo ser utilizada como um canal de

informação, opcional ao usuário, com as seguintes características:

Banda Passante: 50 a 15000 Hz
Nível TX/RX: 0 dBm
Interface: 600 ohms balanceada

Este canal é provido através da sobremodulação do trem de tráfego, por um sinal FM, realizada diretamente sobre as interfaces eletro-ópticas. Este processo está sendo implementado de forma a não causar degradação no sinal de tráfego.

3. COMENTÁRIOS

O desenvolvimento do sistema a 140 Mbit/s torna disponível novas tecnologias de ampla gama de aplicação. Este conjunto de novas tecnologias, aqui denominado Tecnologia Básica Nx34 (TB-Nx34), abre novos horizontes de aplicação que cobrem a gama de sistemas de 1 a 16 feixes de 34 Mbit/s.

Dentre estas novas tecnologias destacam-se:

a. Um circuito integrado dedicado, desenvolvido em tecnologia CMOS ($2\mu\text{m}$ de canal), que perfaz as funções de interface G-703 para taxa até 34 Mbit/s. Este circuito integrado provê a recuperação da informação de relógio de tributário, a conversão do código HDB3 para binário, além de realizar o processo de sincronismo com relógio mestre externo através da justificação positiva do sinal de tráfego;

No sentido reverso, provê a dejustificação do sinal de tráfego a recuperação do sinal de relógio de tributário original e a codificação binário/HDB3. Além disso, está disponível, acionado por programação externa, um embaralhador/desembaralhador digital para aplicações especiais;

b. Um circuito integrado dedicado, também desenvolvido em tecnologia CMOS, que perfaz as funções de codificador ou decodificador de blocos do tipo 8B:10B. Na verdade, esta função é realizada internamente por dois codificadores/decodificadores, um 3B:4B e outro 5B:6B, que podem ser utilizados em separado ou em conjunto.

Além da codificação/decodificação propriamente dita, algumas funções auxiliares estão disponíveis, tais como:

- . Monitor de taxa de erro com indicação dos limiares de $10E-3$ e $10E-6$;
- . Canais digitais auxiliares de transmissão estatística:

	3B:4B	5B:6B	8B:10B
CD1	716Kbit/s	-	1088Kbit/s
CD2	716Kbit/s	-	1088Kbit/s
CD3	-	435,2Kbit/s	272Kbit/s
CD4	-	435,2Kbit/s	272Kbit/s
CD5	-	870,4Kbit/s	544Kbit/s

- . Sincronismo de bloco interno

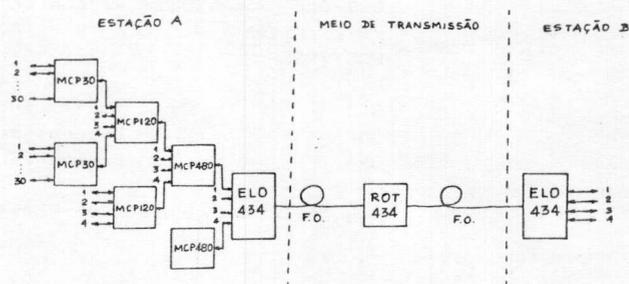
c. Conversores Eletro-óptico e óptico-elétrico que, segundo resultados parciais, demonstram operação a taxas até 500 Mbit/s, o que permitirá sua utilização em sistemas de 280 Mbit/s e, com alguns melhoramentos, estender sua aplicação a 560 Mbit/s;

d. Um canal Programa transmitido através da sobremodulação do trem de tráfego por um sinal FM, que também pode ser utilizado, sem qualquer modificação, em outros equipamentos da hierarquia Nx34.

Uma vez atingido o limite operacional da filosofia Nx34, faz-se necessário a utilização de novas tecnologias para se implementar sistemas Gigabit - Hierarquia Opto-Digital III, envolvendo, por exemplo, circuitos analógicos em SMD e GaAs, circuitos digitais dedicados ECL/GaAs, dispositivos ópto-eletrônicos e de microondas em GaAs e InP, e fibra monomodo em 1550nm.

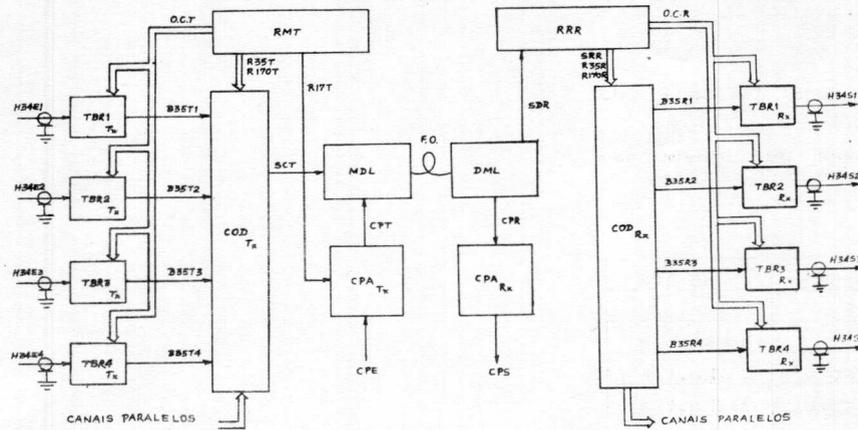
4. REFERÊNCIAS

1. Estudos de Viabilidade - ELO 434/13A
CPqD/Gerência de Transmissão/TELEBRÁS
TR1/Coordenação de Áreas de Transmissão Digital e de Comunicações Ópticas, 1986.
2. STD-140M/Especificação de Tecnologia de Sistema
Versão: Especificação de Objetivos e Requisitos
Sistema de Transmissão Digital por meio óptico a 4 x 34Mbit/s
CPqD/Gerência de Transmissão/TELEBRÁS
TR1/Coordenação de Áreas de Transmissão Digital e de Comunicações Ópticas, 1987.
3. Prospecto do Programa de Comunicações Ópticas
CPqD/TELEBRÁS
1986



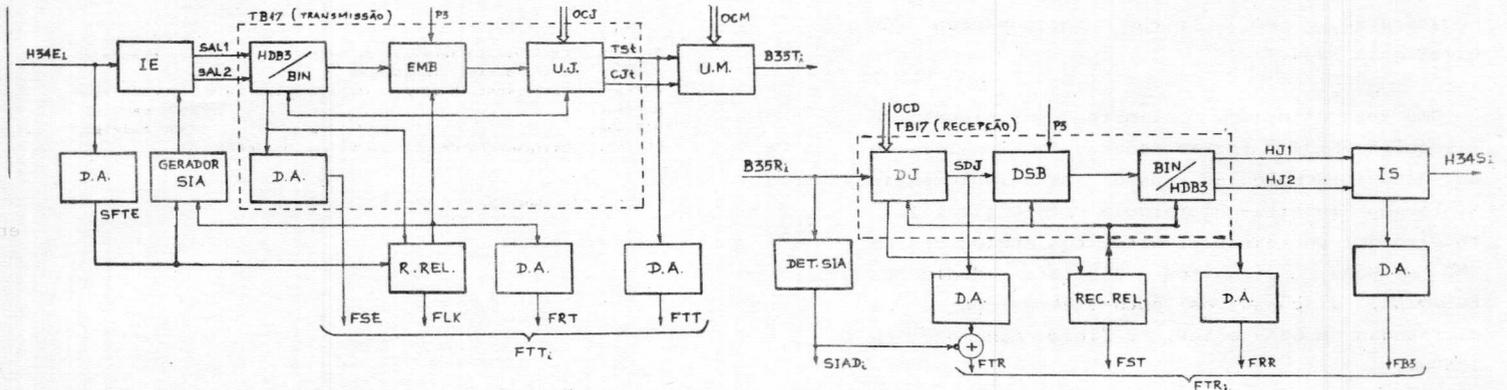
- ELO-434 - Equipamento Terminal de Linha óptica (1920 canais)
- F.O. - Fibra óptica (monomodo)
- MCP-30 - Equipamento Multiplex de 1.a Hierarquia (30 canais)
- MCP-120 - " " " 2.a " (120 canais)
- MCP-480 - " " " 3.a " (480 canais)
- ROT-434 - Equipamento Repetidor óptico de Trânsito

Fig.1 - CONFIGURAÇÃO DE APLICAÇÃO TÍPICA



- B35Ti/B35Ri - Sinal Binário Composto de Tributário Tx/Rx
- CPE/CPS - Canal Programa Entrada/Saída
- CPT/CPR - " " Tx/Rx
- H34Ei/H34Si - Sinal de Tributário à 34368 kbit/s Tx/Rx
- OCT/OCR - Ondas de Controle Tx/Rx
- R170T/R170R - Relógio à 174080 kHz Tx/Rx
- R35T/R35R - " " 34816 " "
- R17T - " " 17408 " "
- SCT - Sinal Codificado de Transmissão NRZ à 174080 kbit
- SDR - " Demodulado de Recepção
- SRR - " Regenerado " "

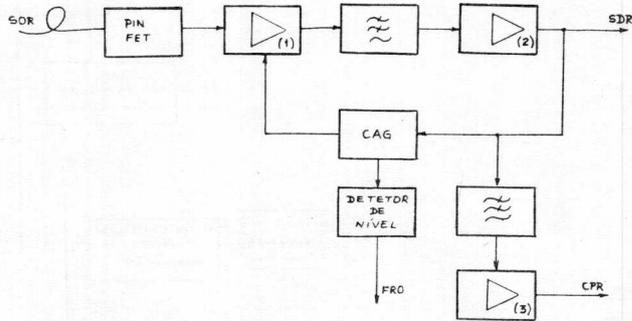
Fig. 2 - CONFIGURAÇÃO DO ELO-434



- (a) transmissão
- D.A.-detetor de atividade
- EMB-embaralhador
- HDB3/BIN-conversor HDB3 p/ binário
- I.E.-Interface de Entrada
- R. REL.-Recuper. de Relógio
- SIA-Sinal Indicativo de Alarme
- U.J.-Unidade de Justificação
- U.M.-Unidade Montadora
- B35Ti-Sinal Composto de Tributário
- CJT-Palavra de Justificação
- FTTi-Sinal de Falha de Tributário
- H34Ei- Sinal de Trib. de Entrada
- OCJ-Ondas de Contr. de Justificação
- OCM-Ondas de Controle para Montagem do sinal B35Ti
- P3-Sinal de Habilitação
- SAL1,SAL2-Sinais Decompostos HDB3
- SFTE-Sinal de Falta de Tributário de Entrada
- TST-Sinal Justificado de Transmissão

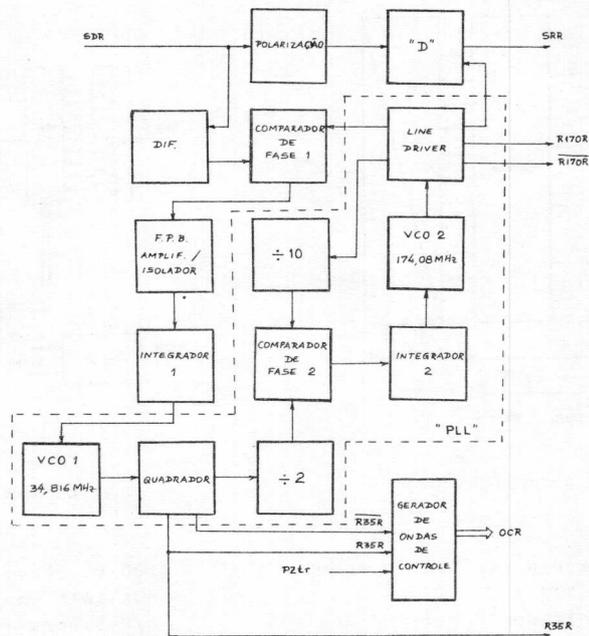
- (b) recepção:
- BIN/HDB3-Convertor Binário p/ HDB3
- D.A.-Detetor de Atividade
- DET. SIA-Detetor de SIA
- DJ-Circuito de Dejustificação
- DSB-Desembaralhador
- IS-Interface de Saída
- REC. REL.-Recuperador de Relógio
- B35Ri-Sinal Composto de Trib.
- FTRi-Falha de Tributário
- HJ1,HJ2-Sinais para Composição do HDB3
- H34Si-Sinal HDB3 de Saída
- OCJ-Ondas de Controle de Dejustificação
- P3- Sinal de Habilitação
- SIAD-Sinal Indicativo de Alarme Detetado

Fig. 3 - UNIDADE TBR



CAG - Contrôlo Automático de Ganho
 CPR - Canal Programa de Recepção
 FRO - Alarme de Falha de Recepção óptica
 SDR - Sinal Demodulado de Recepção
 SOR - Sinal óptico de Recepção

Fig.7 - UNIDADE DML



OCR-Ondas de Controle de Recepção
 PZtr - Sinal de Zeramento do Mecanismo de Justificação
 R170R-Relógio Recuperado de Recepção
 R35R-Relógio Mestre de Tributário
 SDR-Sinal Demodulado de Recepção
 SRR-Sinal Regenerado de Recepção

Fig.8 Unidade RRR