

Reginaldo Palazzo Jr.

Departamento de Telemática
FEE - UNICAMP, C.P. 6101
13.081 - Campinas, SP

*Keiko V. Ono Fonseca

Departamento de Eletrônica
CEFET - PR
80.230 - Curitiba, PR

RESUMO

Neste trabalho apresentamos a propriedade de proteção desigual de erros que os códigos TCM periodicamente variantes no tempo possuem. A medida utilizada na quantificação da proteção desigual desses códigos é o vetor de distorção média. Assim, exploramos dois critérios de avaliação, ou seja, o de proteção desigual aos bytes e aos bits de informação. Consideramos alguns métodos de geração de tais códigos bem como limitantes da distância mínima. O algoritmo utilizado na avaliação desses códigos é apresentado e finalmente fornecemos algumas tabelas apresentando os ganhos assintóticos de codificação dos códigos TCM-PVT com PDE.

1. INTRODUÇÃO

Inúmeras pesquisas têm sido realizadas sobre a classe dos códigos de treliça, particularmente aquela ligada a forma combinada de codificação e modulação. Esta classe de códigos denominada TCM (Trellis Coded Modulation) apresenta características relevantes aos sistemas de comunicações quanto a não expansão da faixa, pouca potência para manter uma alta confiabilidade, etc.

Neste trabalho procuramos explorar e estabelecer regras que venham satisfazer os requisitos necessários para a aplicação desses códigos em situações reais onde se faz necessário dispor de proteções diferentes aos bytes sendo transmitidos.

Aplicações desta natureza se fazem presentes em telemetria, transmissão de dados, voz e imagem, transações bancárias e em um sem número de outras aplicações.

A proteção desigual de erros aos bytes sendo transmitidos vem não só da utilização de códigos TCM variantes no tempo (TCM-VT) através das associações de constelações de sinais no espaço de sinal com diferentes estruturas de treliça bem como o da utilização dos códigos TCM invariantes no tempo (TCM-IT).

Por outro lado, estamos interessados na proteção desigual de erros dos bytes ao invés dos bits que compõem esses bytes, não por falta de uma metodologia de análise mas pela complexidade computacional envolvida.

Este estudo traça um paralelo àquele realizado em [1] para códigos convolucionais. Dessa forma, o tratamento matemático se aplica, porém, com as adaptações apropriadas. Como resultado, apresentamos tabelas das diferentes combinações treliça-constelação tal que espelhem suas diferenças através do ganho assintótico de codificação.

Assim, este trabalho se resume à: na seção 2 o critério de avaliação apropriado para o problema em questão é estabelecido. Na seção 3, os códigos TCM com pro

teção desigual de erros são derivados. Na seção 4, o algoritmo para o cálculo da distância mínima desses códigos é apresentado. Finalmente, na seção 5 as conclusões.

2. CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO

Nesta seção iremos definir alguns parâmetros importantes para a classe de códigos TCM periodicamente variantes no tempo (PVT) superlineares que apresentam proteção desigual de erros (PDE) fundamentando-se no trabalho realizado para códigos convolucionais [1]. Para um melhor entendimento dos códigos TCM-PVT referimos ao leitor interessado a referência [6].

A importância dos códigos com proteção desigual de erros pode ser melhor elucidado através de um exemplo. Suponha que na transmissão de dados por pacotes desejamos proteger de forma não uniforme o cabeçalho, endereçamento, dados e etc. Para tal podemos utilizar um código TCM-VT com proteção desigual de erros apropriado para os níveis de proteção de cada parte constituindo o pacote. Isto é possível de ser conseguido através das combinações de estruturas de treliça e constelações de sinais no espaço de sinal.

Note que a proteção desigual de erros pode ser feita tanto a nível dos dígitos que compõem as mensagens serem codificadas como a nível dos dígitos da palavra código. Neste trabalho estaremos com nossa atenção voltada para a proteção desigual dos dígitos que compõem a mensagem, ou seja, os bytes. Entretanto, apresentaremos sucintamente como esta propriedade se aplica aos dígitos da palavra código.

Sejam f_i e f_p o nível de proteção associado à cada dígito das palavras código e o fator de proteção da palavra código de comprimento n , respectivamente. Assim, o valor de f_p é dado por

$$f_p = \min_{1 \leq i \leq n} \{f_i\}$$

Associando à cada dígito das palavras código um ní-

* Este trabalho recebeu o suporte financeiro do Programa CAPES-PICD.

vel de proteção f_i , os códigos com PDE garantem a correção de f erros ($f \leq f_i$) na transmissão das palavras códigos protegidas. O fator de proteção f_p da palavra código é o menor valor dos níveis de proteção f_i de cada dígito.

A geração de códigos de bloco com PDE foi descrita por Masnick e Wolf [2] e detalhes sobre esta classe de códigos são encontrados em [3]-[5]. Entretanto, o procedimento estabelecido em [2] também se estende à forma combinada de codificação e modulação onde códigos de bloco, ao invés de códigos convolucionais, são utilizados. Este estudo está sendo realizado onde os resultados serão divulgados oportunamente.

Devido à falta de uma estrutura algébrica para a geração de códigos convolucionais um procedimento sistemático de busca de bons códigos convolucionais com PDE e consequentemente de códigos TCM-VT com PDE fica bastante difícil.

A seleção e avaliação das classes de códigos com PDE tanto convolucionais como TCM-VT se faz através da função distorção média. A definição do vetor distorção média para códigos convolucionais [1] será aqui utilizada de maneira equivalente para códigos TCM-VT superlineares permutando-se somente os valores de distâncias de Hamming para distâncias Euclidianas no segundo caso. A justificativa deste procedimento baseia-se no fato de que os fatores preponderantes na correção de erros para ambos os códigos são a distância mínima e o número de caminhos com esta distância. No caso de códigos convolucionais a medida é a distância de Hamming quando o canal é suposto discreto e sem memória. Por outro lado, quando o canal é suposto aditivo gaussiano branco, como no caso do TCM, a distância resultante é a Euclidiana. Assim,

Definição 1: Para códigos TCM variantes e invariantes no tempo com taxa $r = k/n$ e v memórias, o vetor distorção média

$$d(c) = \{d(1), d(2), \dots, d(k)\}$$

com $k > 1$ é definido por

$$d(i) = \min_{\alpha} \text{grau} \left\{ \frac{d}{dz} T(s_1, s_2, \dots, z, D) \right\}_{\alpha}$$

onde:

- $\alpha = \{z = 1, s_1 = 1, s_j = 0, j \neq 1\}$
- $T(\cdot)$ é a função de transferência para códigos TCM-IT ou a função de transferência dinâmica para códigos TCM-PVT, (veja [1]);
- z é o erro de codificação;
- D é a função de Bhathacharyya;
- s_i 's são funções distorções tais que $s_i = 0$ se o i -ésimo dígito de informação transmitido e decodificado são iguais e $s_i = 1$ caso contrário, para $1 \leq i \leq k$.

Quando o vetor $d(c)$ possui componentes não mutuamente iguais o código é denominado código TCM-IT ou TCM-VT com PDE.

Cabe aqui observar que o cálculo da função de transferência dinâmica bem como da proteção individual de cada bit no caso de códigos TCM apresenta uma complexidade de computacional enorme quando o número de estados e transições paralelas aumenta. Dessa forma, o nosso interesse concentra-se basicamente na análise e discussão de como ocorre a proteção na mensagem transmitida.

Seja $d(c_1)$ o vetor distorção média associado ao i -ésimo código TCM-IT. Através da Fig. 1 podemos observar que: ao formar um código TCM-PVT a partir de códigos TCM-IT, aquele pode apresentar proteção diferente aos bytes da seqüência de informação sendo transmitida resultando desta forma em um código pertencente à classe dos códigos com PDE.

Sem perda de generalidades, suponha que desejamos combinar dois códigos TCM-IT segundo um entrelaçamento previamente especificado das respectivas treliças, tal que o código TCM-IT, c_1 , tenha periodicidade $N-1$ no arranjo e o código TCM-IT, c_2 , tenha periodicidade 1 conduzindo à um período N . Note que esta seqüência de entrelaçamento $c_1c_1 \dots c_2c_2$ é uma possível seqüência, dentre as n possíveis seqüências, e que todas as $N-1$ seqüências restantes deverão ser consideradas. Por exemplo, assumamos que o período é 4 e a periodicidade de c_1 é 3 e de c_2 é 1, então as seqüências de entrelaçamento a serem consideradas são $c_1c_1c_1c_2$, $c_1c_1c_2c_1$, $c_1c_2c_1c_1$, $c_2c_1c_1c_1$. Com a repetição cíclica de cada uma dessas seqüências tem-se códigos TCM-PVT distintos quanto à localização da proteção. Note também que eventos de erros podem ser distintos para uma dessas seqüências.

Agora, seja $d_{\min}(i)$ a distância mínima associada à i -ésima seqüência de entrelaçamento. Se $N-1 > v$, onde v é o comprimento de restrição de memória, então podemos concluir que a distância mínima é $d(c_1)$ para as $N-v$ seqüências de entrelaçamento ou está muito próxima de $d(c_2)$ para algumas seqüências possivelmente aquelas onde c_2 está contido no intervalo do evento de erro até a restrição de memória. Indo para o outro extremo, ou seja, o código TCM-IT, c_2 , possui periodicidade $N-1$ e o código TCM-IT, c_1 , periodicidade 1. Se $N-1 > v$, então podemos novamente concluir que a distância mínima é $d(c_2)$ para as $N-v$ seqüências de entrelaçamento ou está muito próxima de $d(c_1)$ para algumas seqüências possivelmente aquelas onde c_1 está contido no intervalo de erro até a restrição de memória. Para o caso intermediário de periodicidade dos códigos c_1 e c_2 , isto é, periodicidade de c_1 iguala a $N-k$ e de c_2 iguala a k , com k um inteiro, temos que para as $N-k+1-v$ seqüências contendo c_1 , a distância mínima é $d(c_1)$ e para as demais $(k+v-1)$ seqüências a distância mínima está próxima de $d(c_2)$. Logo, concluímos que dependendo da periodicidade dos códigos c_1 e c_2 no arranjo, a distância mínima do código resultante, $d_{\min}(R)$, estará limitada inferiormente e superiormente por

$$\inf \{d(c_1), d(c_2)\} \leq d_{\min}(R) \leq \sup \{d(c_1), d(c_2)\}$$

Dessa forma, acabamos de demonstrar a seguinte proposição:

Proposição 2: O nível de proteção dos bytes de um código TCM-PVT com taxa $r = k/n$ e v memórias é pelo menos i igual ao nível de proteção do código de menor valor do vetor distorção média e no máximo igual ao nível de proteção do código de maior valor do vetor distorção média.

Através desta Proposição podemos inferir a proteção mínima que cada grupo de bits terá ao ser transmitido.

Como estamos interessados na proteção desigual dos bytes de informação o vetor distorção média de cada seqüência do entrelaçamento fica equivalente à distância mínima de cada seqüência. Assim, sendo

$$d_{mi} = d_{\min}(i)$$

A distância d_{mi} é obtida da seguinte maneira:

- escolhe-se o i -ésimo arranjo das treliças dentre os possíveis arranjos periódicos como condição inicial das seqüências a serem comparadas;
- comparam-se aos pares todas as seqüências que partem do i -ésimo arranjo e calcula-se as distâncias entre estas;
- a menor distância Euclidiana encontrada será d_{mi} , isto é,

$$d_{mi} = \min d_{i1}, d_{i2}, \dots$$

com d_{ij} a distância Euclidiana do j -ésimo caminho que inicia na i -ésima seqüência do entrelaçamento.

A Fig. 2 ilustra o caso em que temos três códigos TCM-IT, c_1 , c_2 e c_3 segundo um arranjo periódico cujo padrão é c_1, c_2, c_3 . Os três primeiros bits têm proteção d_{m1} e os subsequentes proteções d_{m2} e d_{m3} , respectivamente. Note que este padrão se repete ciclicamente.

As proteções dos bytes associados à cada intervalo de codificação na treliça passam a ser relacionadas com a distância mínima do código e assim iremos supor que todos os bits possuem proteção idêntica e igual à mínima. Note que alguns bits poderão apresentar valores maiores de proteção do que a mínima.

Exemplo 1: na Fig. 2, considerando o primeiro intervalo de codificação como o referente a um código TCM-IT, configuração A, mapeado em 16-QAM, e o segundo intervalo de codificação como referente ao código TCM-IT, configuração A, mapeado em 16-PSK, os valores de $d(c_1)$ e $d(c_2)$ são 1.6 e 1.476, respectivamente. Desta forma, para cada três bits de informação sendo codificados, dependendo do seu posicionamento na seqüência de três bits de informação terão proteções iguais a 1.6 e 1.476, respectivamente. A interpretação do fator de proteção de mensagens utilizando um código TCM-PVT do exemplo é que o grupo de três bits de informação ao ser codificado do possuirá no mínimo um fator de proteção igual a 1.476.

3. CÓDIGOS TCM-PVT COM PDE

Os códigos TCM-IT utilizados para obtenção dos códigos TCM-PVT foram escolhidos de modo a mostrar uma ga-

ma variada de ganhos assintóticos de codificação em relação ao 8-PSK não codificado (vide Tabela 1).

Gostaríamos de salientar que os códigos apresentados são não catastróficos. Infelizmente não conseguimos divisar uma regra que fosse bastante eficiente para a eliminação de tais códigos.

Assim, foram escolhidos dois arranjos de memórias para o codificador convolucional relacionados com as entradas a serem codificadas como ilustra a Fig. 3. Estes arranjos das memórias estabelecem dois tipos de treliças diferentes. A utilização de treliças de cujos estados partem transições paralelas para somente outros dois estados, configuração A, é justificada pela maior facilidade de cálculo das distâncias entre seqüências transmitidas. Este fato também influi no comprimento das seqüências de distância mínima do código uma vez que as seqüências divergentes da correta demoram mais para retornar à seqüência correta pois só existem dois estados possíveis de serem alcançados (de cada estado) em cada transição.

A treliça derivada da configuração B, ou seja, aquela onde de cada estado partem duas transições paralelas para quatro outros estados, é utilizada preferencialmente quando na configuração A a distância mínima do código se encontra entre transições paralelas.

Como na configuração B o número de estados alcançados partindo-se de cada estado é duas vezes o da configuração A e conseqüentemente o número de subconjuntos associados às transições paralelas também o é, utilizaremos na configuração B subconjuntos do nível de partição inferior aos utilizados na configuração A, garantindo assim uma distância maior entre as transições paralelas. A desvantagem neste caso é o aumento de probabilidade de existirem caminhos que divergem da seqüência de referência de distância mínima com comprimentos menores de divergência do que os correspondentes na treliça da configuração A.

Cabe aqui enfatizar que seqüências que divergem da seqüência de referência de comprimentos menores de divergência não implicam necessariamente em distâncias menores entre as seqüências. O fato de existir um número maior de estados alcançados de um único estado da treliça da configuração B em relação à configuração A faz com que ocorram um número maior de eventos de erro simples de comprimento menores, note que neste caso são necessários no mínimo dois intervalos de codificação para que um caminho divergente retorne ao caminho correto, enquanto que na treliça da configuração A são necessários no mínimo 3 intervalos de codificação.

A distância da seqüência divergente está relacionada com as distâncias dos subconjuntos obtidos da partição associados ao conjunto de transições paralelas entre dois estados. Por isso, embora haja um número maior de eventos de erros de menor duração na configuração B, o fato de associarmos às transições entre dois estados subconjuntos de um nível inferior ao nível de partição utilizado na treliça de configuração A, implica em um

aumento nos valores das distâncias mínimas das seqüências divergentes na treliça da configuração B.

A seguir, apresentamos a Tabela 2 os códigos TCM-PVT de periodicidade 1, resultantes de combinações de códigos da Tabela 1. As diferenças entre o ganho do código resultante e os ganhos do código invariante no tempo que o origina são apresentadas em colunas desta tabela. Por exemplo, na primeira linha da Tabela 2.a, o ganho assintótico de codificação ($G = 0.35238$) mapeados nas constelações I e II (16-AM e 16 QAM), em relação ao código mapeado na constelação I ($G = 0.93958$), possui uma diferença de ganho que denominaremos Q_v-I . A diferença de ganho da combinação da primeira linha da Tabela 2.a em relação ao código TCM-IT cujo mapeamento ocorre na constelação I, Q_v-I é 1.30337 dB.

Nas Tabelas 2.a até 2.f todos os códigos estão na configuração A. Nas Tabelas 2.g a 2.k, os códigos mapeados nas constelações II e III estão na configuração B.

Combinando-se as constelações 16-PSK e 16-QAM nas duas estruturas de treliças dadas pelas configurações A e B, obtivemos a Tabela 3 que lista códigos TCM-PVT com periodicidade 1 ou 2.

A avaliação das diferenças entre os ganhos dos códigos obtidos em relação aos códigos invariantes no tempo originadores mostrou que aumentando-se a periodicidade de um dos códigos invariantes no tempo, o valor do ganho assintótico do código resultante se aproxima do valor do ganho assintótico de codificação do código de maior periodicidade, verificando desse modo a Proposição 2.

4. ALGORITMO PARA CÁLCULO DA DISTÂNCIA DOS CÓDIGOS TCM-PVT

O algoritmo implementado calcula um limitante inferior do número de caminhos de distância mínima de um código TCM, bem como o valor desta distância mínima para códigos com taxa $r = 3/4$, $m = 3$, duas configurações de memórias nas entradas do codificador convolucional e quatro tipos de constelações diferentes. O algoritmo trabalha com códigos TCM-PVT superlineares com períodos de no máximo três intervalos de codificação.

Para o cálculo das distâncias mínimas em treliças periodicamente variantes no tempo, o algoritmo de Viterbi é empregado com distâncias Euclidianas. Como cada intervalo de codificação pode corresponder a uma combinação treliça-constelação diferente, o período do código TCM-PVT deve especificar a seqüência destas combinações. Calculam-se então as distâncias d_{mi} para cada seqüência possível de combinações treliça - configuração no período e a mínima d_{mi} , ou seja, a menor distância Euclidiana encontrada entre todas as distâncias Euclidianas é comparada com a distância Euclidiana entre as transições paralelas e a menor distância entre estas é escolhida como a distância mínima do código.

O algoritmo utilizado calcula a distância d_{mi} das seqüências de até três combinações treliça - constelação. Estas combinações podem envolver dois tipos de treliças

e quatro tipos de constelações. Os codificadores convolucionais devem ter no máximo duas entradas com um número de memórias de no máximo três. Os casos considerados de arranjos de memórias associadas às entradas dos codificadores convolucionais correspondem às configurações A e B de treliças.

O programa inicialmente é carregado com os valores de distância mínima dos subconjuntos de cada nível de partição das constelações a serem combinadas. O usuário define então a associação dos subconjuntos às estruturas de treliça (determinadas pelas configurações A e B) a serem combinadas. Uma vez introduzidos estes dados a busca ocorrerá somente entre as constelações e treliças previamente definidas. O programa necessita também do período e da periodicidade bem como a ordem (seqüência) de constelações-treliças que compõem o período do código, apresentando em seguida o valor da distância mínima e o limitante inferior do número de caminhos com estas distâncias.

O programa detecta também a existência de possíveis códigos catastróficos e cessa a busca após L intervalos de codificação. Neste trabalho L foi fixado em 15. Os valores encontrados foram confirmados por uma avaliação manual realizada através das treliças montadas uma-a-uma para cada caso estudado e os resultados constam nas tabelas apresentadas.

É interessante mencionar que um número maior de entradas sem memórias não altera o valor das distâncias encontradas pelo algoritmo uma vez que isto corresponde a um aumento do número de transições paralelas entre estados. Gostaríamos de mencionar que em nenhum dos códigos encontrados o limitante do número de vizinhos com distância mínima foi maior do que um. Por esta razão não há nenhuma referência a estes limitantes nas tabelas apresentadas.

O diagrama de fluxo do algoritmo é apresentado na Tabela 4.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho procuramos explorar a propriedade de proteção desigual de erros que os códigos TCM periodicamente variantes no tempo possuem. Para isso apresentamos dois critérios de avaliação. Um deles se relaciona com a proteção desigual aos bits da informação enquanto que o outro com os bytes. Foram também considerados alguns métodos de geração bem como limitantes da distância mínima dos códigos TCM-PVT com PDE. O algoritmo utilizado na implementação de tais códigos foi descrito com razoável detalhe. Finalmente, apresentamos em forma de tabelas os ganhos assintóticos de codificação alcançados pelos códigos considerados.

6. REFERÊNCIAS

- [1] R. Palazzo Jr., "On the Unequal Error Protection Convolutional Codes", IEEE Proceedings Globecom-86, Houston, Texas, USA, Dec. 1986.
- [2] B. Masnick e J.K. Wolf, "On the Linear Unequal

Error Protection Codes", IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. IT-13m Ict. 1967.

[3] I.M. Boyarinov e G.L. Katsman, "Linear Unequal Error Protection Codes", IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. IT-27, Mar. 1981.

[4] J.W. Van Gills, "Linear Unequal Error Protection from Shorter Codes", IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. IT-30, May 1984.

[5] L.A. Dunning e W.E. Robbins, "Optimal Encodings of Linear Block Codes for Unequal Error Protection", Information and Control, vol. 37, 1978.

[6] R. Palazzo Jr. e Keiko V.O. Fonseca, "Códigos TCM Variantes no Tempo. Parte 1: Propriedades Estruturais e de Distância", 6º Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Campina Grande, Pb, 1988.

Tabela 1

Constelação	Configuração A		Configuração B	
	d_{\min}^2	G (dB)	d_{\min}^2	G (dB)
I) 16 AM	0.4705	-0.95098	0.4235	-
II) 16 QAM	1.6	4.3638	2	5.333
III) 16 AM-PM	0.7273	0.93958	0.9091	1.90868
IV) 16 PSK	1.476	4.0136	1.3238	3.5408

Tabela 2.b

Combinação	IV e II	II e IV	Constelação	G (dB)
G_{mi} (dB)	4.36388	4.36388	II	4.36388
Qv-IV	0.3502	0.3502	IV	4.0136
Qv-II	0.0	0.0		

Tabela 2.d

Combinação	II e III	III e II	Constelação	G (dB)
G_{mi} (dB)	1.08998	1.08998	I	4.3638
Qv-II	-3.27382	-3.27382	III	0.93958
Qv-III	0.1504	0.1504		

Tabela 2.f

Combinação	I e III	III e I	Constelação	G (dB)
G_{mi} (dB)	0.14267	0.93958	III	0.93958
Qv-I	1.09365	1.89056	I	-0.95098
Qv-III	-0.79691	0.0		

Tabela 2.h

Combinação	II e III	III e II	Constelação	G (dB)
G_{mi} (dB)	4.74168	3.37	II	5.333
Qv-II	-0.59165	-1.963	III	1.9087
Qv-III	2.833	1.4624		

Tabela 2.a

Combinação	I e II	II e I	Constelação	G (dB)
G_{mi} (dB)	0.35238	1.08998	I	-0.95098
Qv-I	1.30337	2.04096	II	4.3638
Qv-II	-4.0114	-3.2738		

Tabela 2.c

Combinação	I e IV	IV e I	Constelação	G (dB)
G_{mi} (dB)	-0.075	1.08998	I	-0.95098
Qv-I	0.87598	2.04096	IV	4.3638
Qv-IV	-4.4388	-3.27382		

Tabela 2.e

Combinação	III e IV	IV e III	Constelação	G (dB)
G_{mi} (dB)	1.08998	1.08998	III	0.93958
Qv-III	0.1504	0.1504	IV	4.0136
Qv-IV	-2.92362	-2.92362		

Tabela 2.g

Combinação	I e II	II e I		
G_{mi} (dB)	0.35238	1.08998		
Qv-I	1.30337	-4.0114		
Qv-II	2.04096	-3.2738		

Tabela 2.i

Combinação	I e III	III e I	Constelação	G (dB)
G_{mi} (dB)	0.142673	0.9778	I	-0.95098
Qv-I	1.09365	1.92878	III	1.90868
Qv-III	-1.76601	-0.93088		

Tabela 2.j

Combinação	I e III	III e I	Constelação	G(dB)
G_{mi} (dB)	2.85815	3.5054	III	1.90868
Qv-III	0.9494	1.59672	IV	4.0136
Qv-IV	-1.5545	-0.5082		

Tabela 2.k

Combinação	II e IV	IV e II	Constelação	G(dB)
G_{mi} (dB)	4.758	4.587	II	5.333
Qv-II	-0.5753	-0.746	IV	4.0136
Qv-IV	0.7444	-0.5734		

Tabela 3

Combinação	G(dB)	16 QAM-B	16 PSK-B
16 QAM-B/PSK-A/PSK-A	4.1922	-1.1411	0.1786
16 PSK-A/QAM-B/PSK-A	4.444	-1.0473	0.2724
16 PSK-A/PSK-A/QAM-B	4.286	-0.889	0.4304
16 QAM-B/PSK-A	4.758	-0.575	0.7444
16 PSK-A/QAM-B	4.687	-0.646	0.6734
16 QAM-B/PSK-B	4.758	-0.575	1.2172
16 PSK-B/QAM-B	4.286	-1.0473	0.7452

Tabela 4

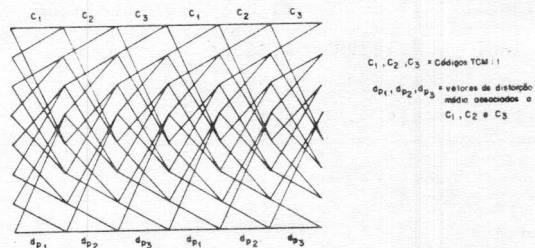
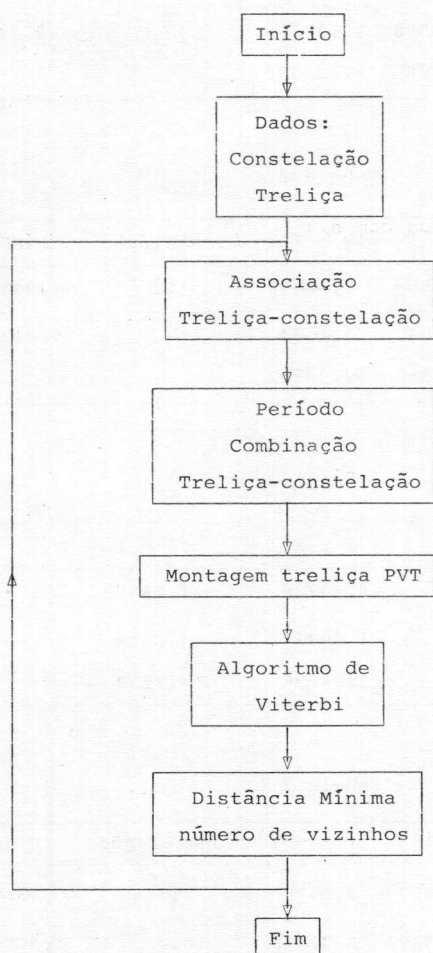


Figura 1

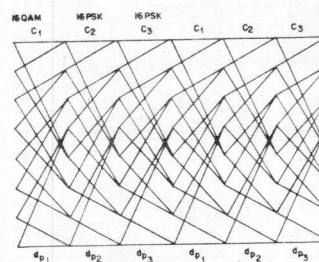


Figura 2

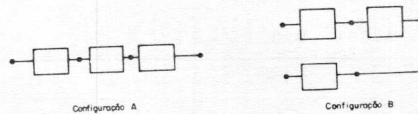


Figura 3