

1. Publicação nº <i>INPE-3062-PRE/479</i>	2. Versão	3. Data <i>Abril, 1984</i>	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>DIN</i>	Programa <i>INFOR/PROCIM</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>PROCESSAMENTO DE IMAGENS COMPRESSÃO DE DADOS INTERPOLAÇÃO</i>			
7. C.D.U.: <i>621.376.5</i>			
8. Título <i>UTILIZAÇÃO DE INTERPOLAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO PARA COMPRESSÃO DE IMAGENS DIGITAIS</i>		10. Páginas: <i>36</i>	
		11. Última página: <i>29</i>	
		12. Revisada por	
9. Autoria <i>Ubirajara M.B.Lima</i>	<i>L. A. V. D.</i> <i>Luiz Alberto Vieira Dias</i>		
Assinatura responsável <i>Ubirajara M.B.Lima</i>		13. Autorizada por <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor Geral</i>	
14. Resumo/Notas <i>Existem vários métodos de comprimir dados relativos a imagens digitais. Dentre eles podem se destacar; a amostragem de elementos de imagem seguida de reconstituição por interpolação, e a transformação de um conjunto de elementos de imagens seguida de seleção de seus coeficientes resultantes com reconstituição de imagem por transformação inversa. Neste trabalho, um método combinando os dois citados é desenvolvido e analisado.</i>			
15. Observações <i>Este trabalho foi apresentado no VI Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional, realizado de 26 a 30 de setembro/83.</i>			



#### ABSTRACT

*When compressing digital image data, many methods may be used. Among these two may be recalled: the sampling of picture elements followed by reconstruction by interpolation; and the transformation of a set a picture elements followed by the selection of the resultant coefficients and the picture reconstruction through inverse transformation. A method combining these two is developed, and analysed in this paper.*

## SUMÁRIO

	<u>Pag.</u>
1 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2 - <u>COMPRESSÃO POR INTERPOLAÇÃO</u> .....	2
2.1 - Tipos de Amostragem.....	2
2.2 - Reconstituição.....	4
2.2.1 - Métodos não-lineares.....	9
3 - <u>COMPRESSÃO POR TRANSFORMAÇÃO</u> .....	14
3.1 - Codificação dos Coeficientes.....	18
4 - <u>COMPRESSÃO POR TRANSFORMAÇÃO E INTERPOLAÇÃO</u> .....	23
5 - <u>COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES</u> .....	27



## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Amostragem ortogonal 1:2 ..... x - elementos preservados, o - elementos suprimidos.	3
2 - Amostragem "em ziguezague"..... x - elementos preservados, o - elementos suprimidos.	3
3 - Reconstituição pelo vizinho mais próximo $\hat{Y}=4$ ..... a - amostragem ziguezague b - amostragem ortogonal	4
4 - Imagem garota - original (8 bits/elemento).....	5
5 - Imagem garota - amostragem ortogonal, reconstituição pelo vizinho mais próximo (4 bits/elemento).....	5
6 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, reconstituição pelo vizinho mais próximo (4 bits/elemento).....	6
7 - Imagem radiografia - original (8 bits/elemento).....	6
8 - Imagem radiografia - amostragem em ziguezague, reconstituição pelo vizinho mais próximo (4 bits/elemento).....	7
9 - Reconstituição pela média horizontal $\hat{Y} = \frac{A+B}{2}$ ..... x - amostragem em ziguezague y - amostragem ortogonal	7
10 - Reconstituição pela média vertical $\hat{Y} = \frac{C+D}{2}$ ..... (amostragem em ziguezague)	8
11 - Configurações locais de bordas(CLB)..... a - CLB1 - "zona uniforme" b - CLB2 - "borda vertical" c - CLB3 - "borda horizontal" d - CLB4 - "zona conturbada"	10
12 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, reconstituição pelo método "teste 1" (4 bits/elemento).....	11
13 - Imagem radiografia - amostragem em ziguezagues, reconstituição pelo método "teste 1" (4 bits/elemento).....	11
14 - Grade de elementos de imagem, com elementos de A a L.....	12
15 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, reconstituição pelo método "teste 2" (4 bits/elemento).....	13
16 - Esquema geral de codificação por transformação.....	14
17 - Subimagens de base de uma transformação de Hadamard 4 x 4 (branco = +1, hachurado = -1).....	17
18 - Codificação de coeficientes I: 54 "bytes" por janela de 16 x 16, 1.6875 bits/elemento.....	19

	<u>Pág.</u>
19 - Codificação de coeficientes II: 82 "bytes" por janela 16 x 16, 2.5625 bits/elemento.....	19
20 - Imagem garota, transformação de Hadamard, codificação para 2.5625 bits/elemento.....	20
21 - Imagem garota, transformação de Hadamard, codificação para 1.6875 bits/elemento.....	20
22 - Imagem garota, transformação cosseno codificação para 2.5625 bits/elemento.....	21
23 - Imagem garota, transformação cosseno codificação para 1.6875 bits/elemento.....	21
24 - Imagem radiografia, transformação cosseno codificação para 2.5625 bits/elemento.....	22
25 - Imagem radiografia, transformação cosseno codificação para 1.6875 bits/elemento.....	22
26 - Esquema geral de compressão por transformação e interpolação.....	23
27 - Imagem garota - amostragem em ziguezague etapa intermediária ilustrativa.....	24
28 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, transformação cosseno, transformação direta mais inversa etapa intermediária ilustrativa.....	25
29 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, transformação cosseno com codificação II e interpolação pelo vizinho mais próximo.....	25
30 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, transformação cosseno com codificação I e interpolação pelo vizinho mais próximo.....	26
31 - Imagem radiografia - amostragem em ziguezague, transformação cosseno com codificação I e interpolação pelo vizinho mais próximo.....	26

## 1 - INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas encontrados em processamento de imagens digitais é a grande quantidade de dados envolvida. Surge então a idéia de comprimir imagens para que estas possam ser armazenadas, ou transmitidas, de maneira a ocupar uma capacidade mais aceitável de memória, no caso de armazenamento, ou do canal de transmissão.

Há duas classes fundamentais de compressão de dados: compressão sem perda de informação (compressão reversível) e compressão com perda de parte da informação (compressão irreversível). No caso de imagens digitais, aceita-se naturalmente perda de informação, desde que a imagem resultante do processo de compressão não seja excessivamente degradada.

Existem vários métodos de compressão de imagens, tais como: métodos preditivos, interpolativos, codificação por transformação, codificação híbrida predição-transformação, códigos de comprimento de corrida ("run length"), aglomeração ("clustering"), etc. Sugere-se como referência o artigo de Netravali e Limb (1980), onde os autores apresentam um breve histórico e algumas características de diversos métodos. Vale ressaltar que não existe um método ideal de compressão de imagens. Poder-se-ia dizer que a multiplicidade de métodos corrobora esse fato. Por outro lado, a não-existência de um método ideal pode ser explicada em parte pelo fato de que imagens de documentos (fac-símile), de teledifusão, de radiografias, de satélites meteorológicos, ou de recursos naturais são bastante distintas entre si, não propriamente quanto à sua forma intrínseca, mas fundamentalmente quanto aos propósitos a que elas se destinam.

Considerando os métodos de compressão que introduzem alguma irreversibilidade, pode-se dizer que há duas tendências básicas: na primeira conservam-se todos os elementos da imagem e tenta-se obter compressão através de uma redução do número de bits por elemento, ou seja armazena-se (ou transmite-se) uma informação para cada elemen

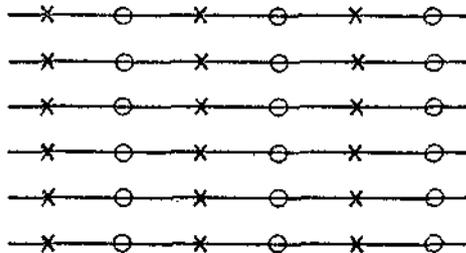


Fig. 1 - Amostragem ortogonal 1:2  
x - elementos preservados,  
o - elementos suprimidos.

Já no caso da amostragem em ziguezague (Figura 2), as amostras estão deslocadas entre si segundo as linhas.

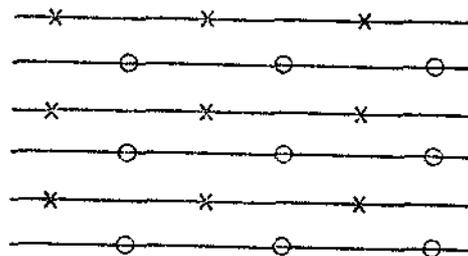


Fig. 2 - Amostragem "em ziguezague"  
x - elementos preservados,  
o - elementos suprimidos.

to da imagem (métodos preditivos, aglomeração). Nota-se que esta informação não se refere necessariamente ao valor (nível de cinza) do elemento de imagem; essa informação pode se referir a uma diferença entre o valor predito e o valor real de um elemento ou, então, a que classe ("cluster") pertence o elemento. No segundo caso, a informação retida pode se referir a um conjunto de elementos de imagem (interpolação, transformação, comprimento de corrida).

Neste trabalho consideram-se primordialmente os métodos de compressão por interpolação e por transformação, inicialmente tomados separadamente; em seguida, apresenta-se uma tentativa de utilização conjunta dessas duas técnicas.

## 2 - COMPRESSÃO POR INTERPOLAÇÃO

O princípio básico consiste em tomar convenientemente amostras na imagem, ou seja, preservar determinados elementos de imagem eliminando outros. No processo de reconstituição da imagem são utilizados, obviamente, apenas os elementos preservados e os demais são obtidos por alguma técnica de interpolação.

### 2.1 - Tipos de Amostragem

Existem duas técnicas básicas de amostragem de imagens invariantes no tempo e sem entrelaçamento entre as linhas, que é o caso das imagens a ser consideradas neste trabalho: amostragem ortogonal e amostragem ziguezague <sup>(1)</sup>.

Diz-se que uma amostragem é ortogonal (Figura 1) quando todas as amostras estão geometricamente alinhadas, ou seja, as amostras encontram-se na mesma posição em todas as linhas consideradas.

(1) Às vezes conhecida como amostragens em quincôncio ou quincunce.

Intuitivamente, pode-se pensar que a amostragem em zigue zague é mais adequada dado ao fato de que as amostras encontram-se mais bem distribuídas espacialmente. Isso pode ser observado através de uma análise mais profunda das imagens no plano da transformada Fourier (Kretz et Sabatier, 1981).

Neste trabalho são consideradas apenas imagens amostradas à razão 1:2, ou seja, a cada dois elementos de uma linha, um deles é preservado (tomado como amostra). Como as imagens utilizadas têm 8 bits por elemento, e para sua representação conservam-se 8 bits, pode-se dizer que, em média, a imagem amostrada tem 4 bits por elemento.

## 2.2 - Reconstituição

Vários métodos de reconstituição dos elementos ausentes, a partir de elementos remanescentes, são possíveis:

- a) Vizinho mais próximo - é o método de reconstituição mais simples que consiste em repetir o elemento precedente - corresponde a  $\hat{Y} = A$ , na Figura 3; pode ser utilizado nos dois casos de amostragem. A região crítica, neste caso, é aquela em que há presença de bordas verticais, onde a imagem reconstituída pode apresentar bastante degradações em relação à original.



Fig. 3 - Reconstituição pelo vizinho mais próximo  $\hat{Y} = A$

- a - amostragem ziguezague,  
b - amostragem ortogonal.

As Figuras 5 e 6 apresentam imagens amostradas à razão 1:2 ortogonalmente e em ziguezague, respectivamente, e reconstituídas pelo método do vizinho mais próximo, a partir da imagem original GAROTA, mostrada na Figura 4 <sup>(2)</sup>.



Fig. 4 - Imagem garota - original (8 bits/elemento)



Fig. 5 - Imagem garota - amostragem ortogonal, reconstituição pelo vizinho mais próximo (4 bits/elemento)

---

<sup>(2)</sup> A diferença de tonalidade e/ou de contraste eventualmente existentes entre as diversas fotos são resultantes do processo de fotografia e/ou revelação.



Fig. 6 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, reconstituição pelo vizinho mais próximo (4 bits/elemento)

Na Figura 7 mostra-se a imagem original RADIOGRAFIA, a qual, depois de amostrada em ziguezague e reconstituída pelo vizinho mais próximo, é apresentada na Figura 8.



Fig. 7 - Imagem radiografia - original (8 bits/elemento)

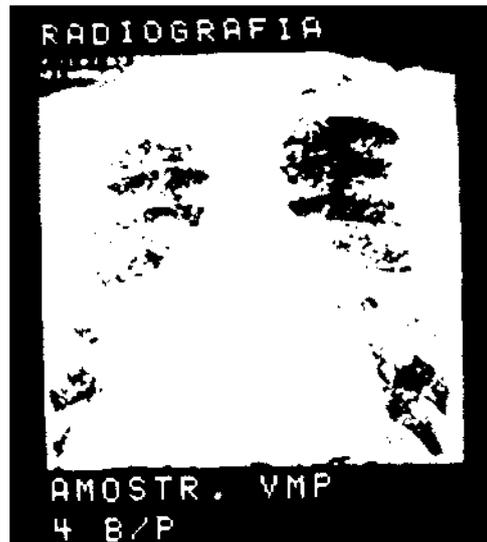


Fig. 8 - Imagem radiografia - amostragem em ziguezague, reconstituição pelo vizinho mais próximo (4 bits/elemento)

b) Média horizontal ou vertical - neste caso o elemento ausente é reconstituído pelo valor médio dos elementos vizinhos na mesma linha (média horizontal), ou alinhados verticalmente (média vertical) como ilustrado nas Figuras 9 e 10. Pode-se observar facilmente que a média vertical só é possível no caso de amostragem em ziguezague.

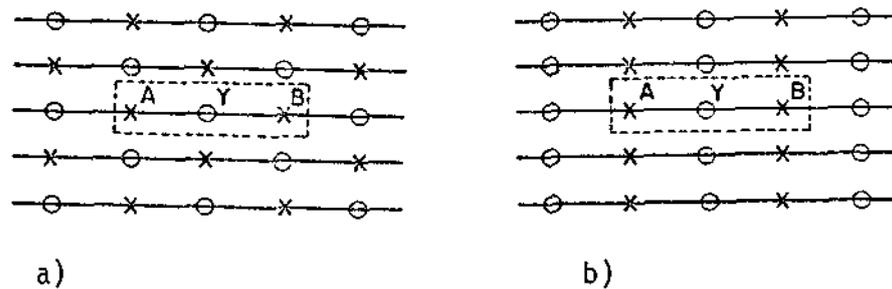


Fig. 9 - Reconstituição pela média horizontal  $\hat{Y} = \frac{A+B}{2}$   
a - amostragem em ziguezague,  
b - amostragem ortogonal.

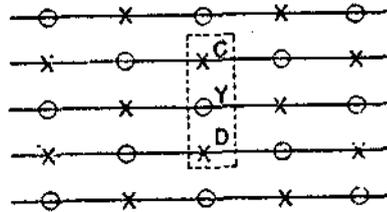


Fig. 10 - Reconstituição pela média vertical  $\hat{Y} = \frac{C+D}{2}$   
(amostragem em ziguezague)

Em relação ao vizinho mais próximo, a média horizontal tende a suavizar as degradações decorrentes do processo de amostragem (mas não eliminar); a média vertical diminui sensivelmente essas degradações; entretanto, introduz em regiões de imagem onde há presença de bordas horizontais.

- c) Média dos quatro vizinhos - método aplicado apenas no caso de amostragem em ziguezague: o elemento ausente é determinado pelo valor médio dos quatro elementos vizinhos, ou seja:  $\hat{Y} = \frac{A + B + C + D}{4}$ . Este método, por tratar de combinação da média vertical com média horizontal:

$$\left[ \hat{Y} = \frac{\frac{A + B}{2} + \frac{C + D}{2}}{2} \right],$$

tende a diminuir o efeito das degradações (notadamente em regiões mais uniformes), causando porém uma certa perda de resolução em regiões mais conturbadas. Pode-se tentar reduzir esse efeito mediante métodos não-lineares (Lima, 1979), como são vistos a seguir.

### 2.2.1 - Métodos não-lineares

Uma maneira bastante simples de reconstituir a imagem me diante uma adaptação às condições locais (presença ou não de bordas) é feita da seguinte forma:

- Determinam-se as diferenças, em valor absoluto, dos valores dos elementos vizinhos horizontal e verticalmente ( $|A-B|$  e  $|C-D|$ ).
- Comparam-se essas diferenças com um dado limiar  $L$ ; há então quatro possíveis configurações locais de bordas (CLB):

CLB1	-	$ A-B  < L$	e	$ C-D  < L$
CLB2	-	$ A-B  > L$	e	$ C-D  < L$
CLB3	-	$ A-B  < L$	e	$ C-D  > L$
CLB4	-	$ A-B  > L$	e	$ C-D  > L$

Quando uma das diferenças, em valor absoluto, for superior ao limiar, diz-se que existe um elemento de borda (EB) entre os elementos da imagem. Apresentam-se quatro configurações com seus respectivos EBs na Figura 11.

O elemento de imagem ausente  $Y$  é reconstituído da seguinte maneira:

$$Y = \frac{C + D}{2}, \quad \text{no caso de CLB2;}$$

$$Y = \frac{A + B}{2}, \quad \text{no caso de CLB3;}$$

$$Y = \frac{A + B + C + D}{4}, \quad \text{nos casos de CLB1 e CLB4.}$$





Fig. 12 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, reconstituição pelo método "teste 1" (4 bits/elemento)



Fig. 13 - Imagem radiografia - amostragem em ziguezague, reconstituição pelo método "teste 1" (4 bits/elemento)

Pode-se dizer que, de maneira geral, este método apresenta resultados visualmente superior em relação aos outros métodos vistos anteriormente. Entretanto, uma ligeira melhora, em alguns casos, pode ser obtida através de outro método chamado "teste 2", descrito a seguir (Lima, 1979).

- Consideram-se os elementos A a L, conforme assinalado na Figura 14.

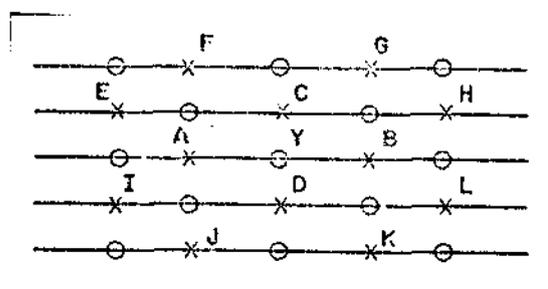


Fig. 14 - Grade de elementos de imagem, com elementos de A a L

- Determinam-se os elementos de borda verticais (EBV) e horizontais (EBH) entre os elementos de imagem A a L, do mesmo modo que no caso anterior; nota-se que há um máximo de 5 EBV ou EBH para cada grade considerada.

- O elemento ausente Y é reconstituído por:

$$Y = \frac{A + B}{2}, \text{ se a somatória dos EBHs for maior que a somatória dos EBVs;}$$

$\hat{Y} = \frac{C + D}{2}$  , se a somat6ria dos EBHs for menor que a dos EBVs;

$\hat{Y} = \frac{A + B + C + D}{2}$  , se a somat6ria dos EBHs for igual que a somat6ria dos EBVs.

A Figura 15 mostra a imagem Garota reconstituída por este m6todo (limiar 25).



Fig. 15 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, reconstitu6o pelo m6todo "teste 2" (4 bits/elemento)

### 3 - COMPRESSÃO POR TRANSFORMAÇÃO

O princípio básico consiste em aplicar uma transformação linear à imagem, ou então a uma janela <sup>(3)</sup> da imagem, de maneira a deixar os coeficientes mais importantes da imagem transformada concentrados próximo a um ponto definido (por exemplo: centro da imagem transformada). A transformação deve ser tal que uma vez aplicada sua inversa, a imagem original possa ser reconstituída. A transformação em si não representa compressão da imagem, mas pode-se obter compressão devido ao fato de que os coeficientes menos significativos da imagem transformada contêm pouca informação, sendo portanto necessário um menor número de bits por coeficiente e, mesmo em alguns casos, é possível a eliminação de alguns coeficientes. A Figura 16 mostra um esquema geral de codificação por transformação.

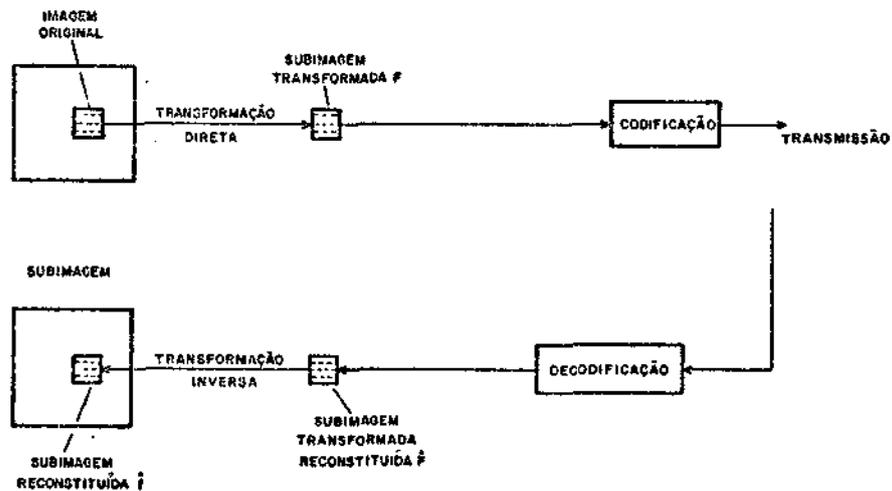


Fig. 16 - Esquema geral de codificação por transformação

<sup>(3)</sup> Em geral as janelas utilizadas têm dimensão  $N \times N$ , onde  $N = 2^q$  e  $q$  inteiro  $> 1$ .

Quanto ao tamanho da janela, para explorar satisfatoriamente as correlações espaciais e ainda segundo conceito estatístico, é desejável que o tamanho da janela seja grande (Netravali and Limb, 1980); entretanto, para facilitar a implementação e minimizar o tempo de processamento e armazenamento dos dados na memória, no caso de processamento por computador, é conveniente que o tamanho da janela seja pequeno. Uma solução de compromisso é por exemplo uma janela de dimensão 16 x 16 (Pratt, 1978).

Dentre as possíveis transformações, apenas as separáveis simétricas e as ortogonais estão sendo apresentadas.

Dada uma transformação:

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) a(x, y, u, v) \quad (1)$$

ela é considerada separável se  $a(x, y, u, v) = a'(x, u) \cdot a''(y, v)$ , e, em particular, se  $a'(x, u) = a''(y, v)$  então chamada separável simétrica. Observa-se então que, neste caso, a transformada  $F(u, v)$  pode ser obtida através de duas aplicações sucessivas da transformação unidimensional sobre as linhas da subimagem e, em seguida, sobre as colunas (ou vice-versa).

Escrevendo a Equação 1 sob a forma matricial, obtém-se:

$$F_{N \times N} = A_{N \times N} \cdot f_{N \times N} \cdot A_{N \times N}$$

Uma transformação é chamada ortogonal se sua matriz de transformação  $A$  é ortogonal, ou seja, se  $A^{-1} = c A^T$ , onde  $c$  é uma constante; é o caso das transformações que são vistas rapidamente a seguir.

1) Transformação da Hadamard

A transformação de Hadamard é definida pela expressão:

$$H(u, v) = \frac{1}{N^2} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) (-1)^{\sum_{i=0}^{n-1} [b_i(x)p_i(u) + b_i(y)p_i(v)]}$$

onde  $n = \log_2 N$ ;  $b_i(z)$  representa o  $i$ -ésimo bit na representação binária de  $z$ ; e os  $p_i(z)$  são obtidos a partir dos  $b_i(z)$  da seguinte forma:

$$p_0(z) = b_{n-1}(z), p_1(z) = b_{n-1}(z) + b_{n-2}(z), \dots, p_{n-1}(z) = b_1(z) + b_0(z).$$

Embora a definição pareça complicada, a matriz de transformação é obtida de maneira simples, e os coeficientes de  $a_p(x, y, u, v) = \frac{1}{N^2} a(x, y, u, v)$  valem sempre +1 ou -1. Esse fato significa que as operações matemáticas reduzem-se a adições e subtrações (Pratt and Andrews, 1969). A Figura 17 apresenta a decomposição de uma subimagem sobre uma base de subimagens elementares para uma transformação de Hadamard 4 x 4.

A subimagem será recuperada pela transformação inversa:

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} H(u, v) (-1)^{\sum_{i=0}^{n-1} [b_i(x) p_i(u) + b_i(y) p_i(v)]}$$

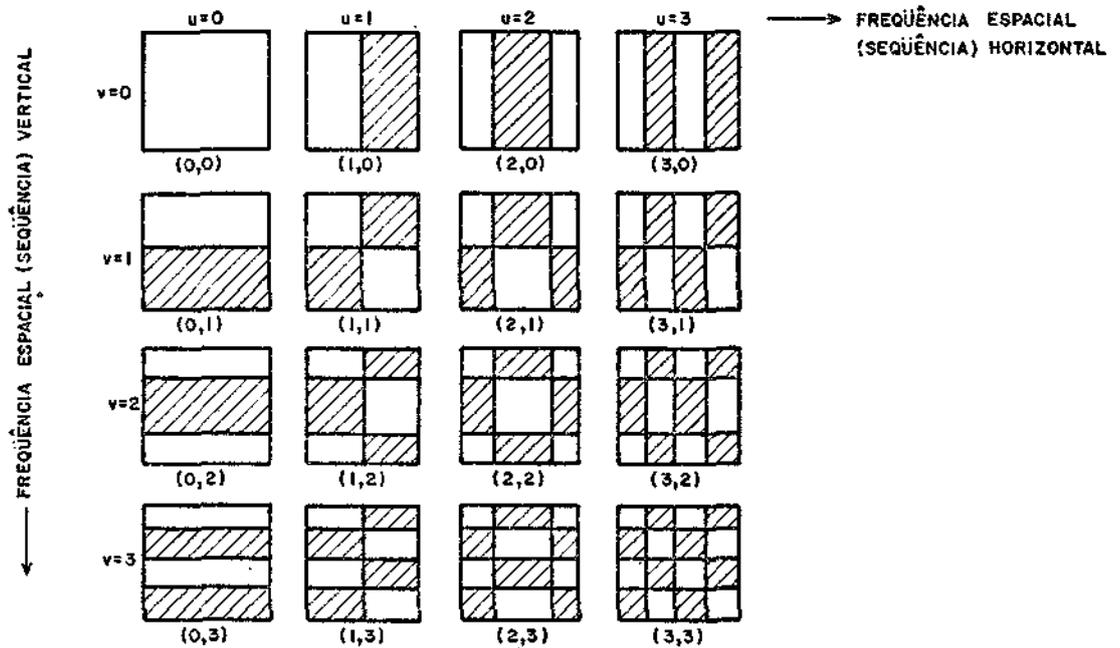


Fig. 17 - Subimagens de base de uma transformação de Hadamard 4 x 4 (branco = +1, hachurado = -1)

## 2) Transformação cosseno discreta

A transformada cosseno discreta tem o corpo unidimensional definido por:

$$a'(x,u) = \frac{1}{N}, \quad u = 0$$

$$a'(x,u) = \frac{\sqrt{2}}{N} \cos \left[ \frac{(2x+1)u \cdot \pi}{2N} \right], \quad u \neq 0.$$

Em relação à transformada da Hadamard, a transformada cosseno apresenta uma complexidade um pouco maior devido às operações matemáticas que, no caso, envolvem multiplicações de cossenos em vez de

simples adições e multiplicações (Ahmed et alii 1974; Chen and Smith, 1977).. Entretanto, a transformada cosseno concentra melhor os coeficientes mais significativos em torno da origem.

### 3.1 - Codificação dos Coeficientes

Uma das maneiras de selecionar os coeficientes a ser transmitidos consiste em:

- a) determinar, inicialmente, as propriedades características da imagem a ser transmitida através de um conjunto de imagens com características próximas às dela e
- b) determinar os coeficientes que, em média, são os mais significativos.

O procedimento seguinte é transmitir (ou armazenar) apenas os coeficientes mais significativos desprezando os outros que, na recepção, são substituídos por zeros para a reconstituição da imagem. Isso corresponde a determinar uma zona no plano transformado, dentro da qual os coeficientes são transmitidos e fora dela, eles são descartados. Pode-se verificar facilmente que esse método não é ótimo, pois subimagens particulares podem ter coeficientes de grande valor fora da zona escolhida a priori. Esse método é conhecido como "filtragem por zona".

Nesse trabalho foram utilizadas duas codificações nas quais se tentou explorar as características gerais de imagens (definição) da zona no plano transformado) procurando minimizar o efeito do erro de arredondamento (Lima, 1983). Assim, a disposição dos bits, associados aos coeficientes da transformada, apresenta-se nas Figuras 18 e 19. Em todos os casos têm-se 1 bit para o sinal de coeficiente, 2 bits para a parte fracionária (que pode assumir portanto quatro valores: 0; 0,25; 0,5 e 0,75) e o restante para a parte inteira. Os demais coeficientes são descartados.

10	10	8	8	8	8	8	8	6	5	5	5	5	5	5	5
10	8	8	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	8	6	6	4	4	4	4								
8	6	6	4	4	4	4									
8	6	4	4	4	4										
8	4	4	4	4											
8	4	4	4												
8	4	4													
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														
5	4														

Fig. 18 - Codificação de coeficientes I: 54 "bytes" por janela de 16 x 16, 1.6875 bits/elemento

10	10	8	8	8	8	8	8	6	6	6	6	6	6	6	6
10	8	8	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	8	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	6	4	4	4	4	4	4	4	4						
8	4	4	4	4	4	4	4	4							
8	4	4	4	4	4	4	4								
8	4	4	4	4	4	4									
6	4	4	4	4	4										
6	4	4	4	4											
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												
6	4	4	4												

Fig. 19 - Codificação de coeficientes II: 82 "bytes" por janela de 16 x 16, 2.5625 bits/elemento

As Figuras 20 a 25 apresentam diversas compressões por transformação. As Figuras 20 e 21 mostram a imagem Garota com transformação de Hadamard e codificação para 1,6875 e 2,5625 bits por elemento, respectivamente. As Figuras 22 e 24 apresentam a mesma imagem com as mesmas codificações, mas com a transformação cosseno. As Figuras 24 e 25 mostram os mesmos processamentos das Figuras 22 e 23 com a imagem Radiografia.



Fig. 20 - Imagem garota, transformação de Hadamard, codificação para 2.5625 bits/elemento



Fig. 21 - Imagem garota, transformação de Hadamard, codificação para 1.6875 bit/elemento



Fig. 22 - Imagem garota, transformação cosseno  
codificação para 2.5625 bits/elemento



Fig. 23 - Imagem garota, transformação cosseno  
codificação para 1.6875 bits/elemento



Fig. 24 - Imagem radiografia, transformação cosseno codificação para 2.5625 bits/elemento



Fig. 25 - Imagem radiografia, transformação cosseno codificação para 1.6875 bits/elemento

#### 4 - COMPRESSÃO POR TRANSFORMAÇÃO E INTERPOLAÇÃO

Neste caso, a idéia é combinar as duas técnicas apresentadas de maneira a obter maior compressão. Para tal, na Figura 26 adota-se a seguinte estratégia: tomam-se amostras na imagem original, na razão de 2:1; em seguida adota-se o mesmo procedimento da compressão por transformação. Na reconstrução da imagem, após a transformação inversa, utiliza-se um método de reconstituição (vizinho mais próximo, "teste 1" ou outro).

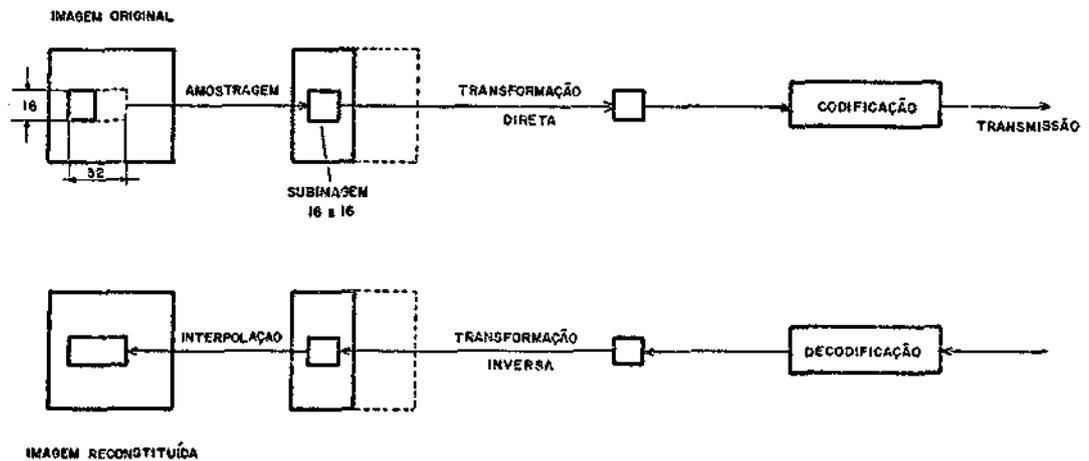


Fig. 26 - Esquema geral de compressão por transformação e interpolação

Observa-se que neste caso a taxa final de bits por elemento é igual à metade da compressão por transformação simples. Para exemplificar, toma-se uma imagem 512 x 512 elementos. No caso de transformação simples, a imagem é subdividida em 1024 subimagens de 16 x 16 (32 subimagens por bloco de 16 linhas). No caso de transformação após amostragem, obtêm-se 512 subimagens (16 por bloco de 16 linhas). Pode-se observar também que o tempo de processamento é consideravelmente reduzido, pois a parte mais custosa (transformação e transformação inversa) é reduzida à metade.

Esse procedimento é ilustrado nas Figuras 27 a 29, onde nesta última encontra-se a imagem comprimida com a codificação mostrada na Figura 19, e nas Figuras 27 e 28 encontram-se as etapas intermediárias (amostragem e transformação). Compressões com a codificação de Figura 18 são mostradas nas Figuras 30 e 31. Em todos os casos as imagens foram reconstituídas pelo vizinho mais próximo.



Fig. 27 - Imagem garota - amostragem em ziguezague etapa intermediária ilustrativa



Fig. 28 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, transformação cosseno, transformação direta mais inversa etapa inter\_ mediãria ilustrativa



Fig. 29 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, transformação cosseno com codificação II e interpolação pelo vizinho mais próximo

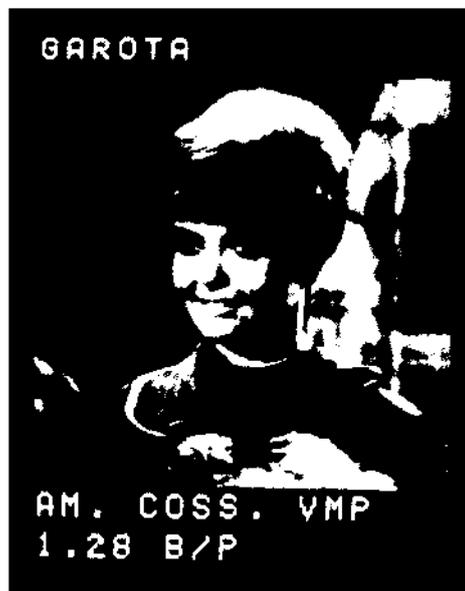


Fig. 30 - Imagem garota - amostragem em ziguezague, transformação cosseno com codificação I e interpolação pelo vizinho mais próximo



Fig. 31 - Imagem radiografia - amostragem em ziguezague, transformação cosseno com codificação I e interpolação pelo vizinho mais próximo

## 5 - COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Este trabalho não tem como objetivo apresentar uma estratégia definitiva de compressão, mas apenas mostrar métodos oriundos de diferentes princípios (interpolação e transformação) e também que a combinação deles é viável com resultados visualmente bastante aceitáveis. Convém lembrar que nem todas as potencialidades deste método foram exploradas como, por exemplo, um estudo mais detalhado sobre a codificação de coeficiente no caso específico de imagens amostradas em ziguezague.

Por outro lado, sabe-se que o processo de compressão requer um tempo de processamento considerável. Assim sendo permanece a discussão: vale a pena gastar muito tempo de processamento de computador? Ou seja, o que se torna mais econômico: ganho de memórias físicas (caso de armazenamento) mediante custo computacional, ou maior gastos com memórias com menor custo computacional? Um exemplo desse problema pode ser encontrado no caso de armazenamento de imagens do satélite LANDSAT III, onde atualmente as imagens ocupam duas fitas CCTs de densidade 800 b.p.i. Pode-se, eventualmente, mediante por exemplo um dos métodos apresentados neste trabalho, reduzir essa necessidade para uma fita CCT, com conseqüente economia de fita de maiores densidades (1600 b.p.i. ou mesmo 6250 b.p.i). Portanto, pode-se obter compressão via unidades mais avançadas sem incremento do custo computacional. Deve-se lembrar, entretanto, que unidades mais modernas custam evidentemente mais caro. Qual a solução mais adequada neste caso? A discussão está aberta. Um outro fator deve ser considerado: a enorme evolução tecnológica na área de computadores e circuitos integrados, fato que tende a se acentuar ainda mais nos próximos anos. Um dos efeitos dessa enorme evolução tecnológica é a disseminação cada dia maior do uso de microcomputadores. A evolução é tal que certos microcomputadores deverão ser mais rápidos em termos de tempo de processamento que muitos computadores de grande porte existentes hoje. Sabe-se que microcomputadores têm mais facilidade para trabalhar com disquetes ou discos Winchester (que têm, no presente, capacidade de armazenamento limitada) e menos

facilidade com discos de grande porte ou unidades de fita magnética. Portanto, tudo indica que em breve haverá um incremento na utilização de imagens em disquetes. Dado que imagens de satélites são bastante grandes, haveria necessidade de compressão? A questão está colocada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMED, N.; NATARAJAN, T.; RAO, K.R. On image processing and a discrete cosine transform. *IEEE Transactions on Computers*, C-23(1): 90-93, Jan. 1974.
- CHEN, W.H.; SMITH, C.H. Adaptive coding of monochrome and color images. *IEEE Transactions on Communications*, COM-25(11): 1285-1339, Nov. 1977.
- KESKES, N.; KRETZ, F.; MAITRE, H. Statistical study of edges in TV pictures. *IEEE Transactions on Communications*, COM-27(8): 1239-1247, Aug. 1979.
- KRETZ, F.; SABATIER, J. Échantillonnage des images de télévision: analyse dans le domaine spatio-temporel et dans le domaine de Fourier. *Annales des Télécommunications*, 36(3-4): 231-273, mai-avr 1981.
- LIMA, U.M.B. *Sous-échantillonnage d'images de télévision et reconstitution*. Thèse de Docteur Ingénieur. Rennes, Université de Rennes, 1979.
- \_\_\_\_\_. *Compressão de imagens digitais por transformação*. São José dos Campos, INPE, set. 1983. (INPE-2893-PRE/412).
- NETRAVALI, A.N.; LIMB, J.O. Picture coding: a review. *Proceedings of the IEEE*, 68(3): 366-406, Mar. 1980.
- PRATT, W.K. *Digital image processing*. New York, Wiley, 1978.
- PRATT, W.K.; ANDREWS, H.C. Hadamard transform image coding. *Proceedings of the IEEE*, 57(1): 58-68, Jan. 1969.