

# Um Sistema de Marca d'Água para Segurança de Dados Digitais

**Ivan O. Lopes, Celia A. Z. Barcelos, Anselmo M. Silva**  
Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Computação /FACOM,  
Uberlândia, Brasil, 38400-902  
ivan@pos.facom.ufu.br, celiazb@ufu.br, anselmodms@yahoo.com.br

e

**Marcos A. Batista**  
Universidade Federal de Goiás, Faculdade de Matemática. CAC,  
Catalão, Brasil, 75700-000  
marcos@catalao.ufg.br

## Abstract

*Digital watermarking is a potential method for copyright protection and image authenticity verification. The choice of an appropriate watermarking technique is not an easy task specially because there are several different methods presented in scientific literature. The proposed method aims at exploring texture levels or the amount boundary pixels present in the regions where the information will be inserted. The selection of these regions aims at increasing the amount of inserted information making the method more robust without degradation of the visual quality of the watermarked image. The process consists of splitting the host image into blocks and sub-blocks according to the texture level or the amount of boundary pixels belonging to each block. In order to measure the performance of the proposed method several experiments were performed and a comparison to the Wu and Shih's method is presented.*

**Keywords:** Watermark, Texture Analysis, Copyright Protection, Authentication.

## Resumo

*Técnicas de Marca d'Água digital são potencialmente usadas para proteção de direitos autorais e verificação de autenticidade de imagens. A seleção de uma técnica apropriada de marca d'água não é uma tarefa fácil pois existem vários métodos propostos na literatura científica. Neste trabalho é proposta uma técnica de marca d'água inspirada no método de Wu, que pode ser ajustada tanto para inserção de marca d'água frágil (verificação de autenticidade), quanto para inserção de marca d'água robusta (proteção de direitos autorais). O método proposto tem como principal objetivo explorar níveis de textura ou quantidade de pixels de borda das regiões onde vão ser inseridas as informações. A seleção dessas regiões visa aumentar a quantidade de informações inseridas, tornando o método mais robusto, sem degradar a qualidade visual da imagem marcada. O processo consiste em particionar a imagem hospedeira em blocos e sub-blocos de acordo com o nível de textura ou quantidade de pixels de borda dos mesmos. Uma comparação do método proposto com o método de Wu e Shih foi realizada, medindo a performance dos métodos, comprovando a superioridade da técnica proposta.*

**Palabras claves:** Marca d'Água, Análise de Textura, Proteção de Direitos Autorais, Autenticação.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente as tecnologias digitais estão presentes em muitos momentos e aspectos de nossas vidas. É possível notar que os equipamentos tecnológicos e as tecnologias de informação estão sendo desenvolvidas de maneira extremamente rápida e assim mudando a maneira como as pessoas vivem, agem e se relacionam.

Um dos principais propulsores deste desenvolvimento tecnológico foi o surgimento da Internet [6] [8], que é um meio livre para troca de informações e hoje tem possibilitado vários benefícios à sociedade, como as transações comerciais, transferências de arquivos, aplicações educacionais, entretenimento, entre outros. É fato que estes benefícios mudaram o comportamento da sociedade, como continuarão mudando no decorrer dos anos. Os recursos tecnológicos estão sendo desenvolvidos e se popularizando a cada dia.

Apesar dos benefícios propostos pelas tecnologias de informação, existem alguns problemas decorrentes do rápido desenvolvimento dessa área, como, o controle do uso das informações digitais. Com os recursos tecnológicos é possível se fazer, por exemplo, cópias de mídias, transações bancárias, alterações de documentos. Logo, como garantir segurança às informações? Como garantir os direitos autorais? Como ter garantia da autenticidade de dados?

Para tentar resolver estes problemas, geralmente a técnica de criptografia é utilizada para prover alguma segurança na transmissão dos dados digitais. Entretanto, quando o dado é *decriptografado* ele esta novamente sujeito a fraudes. Assim o dado poderá ser copiado, transmitido, manipulado, alterado [11], o que gera muitos prejuízos aos proprietários dos direitos autorais (autores, editoras).

Como os sistemas de criptografia provêm segurança apenas no momento de transmissão, foram desenvolvidos os sistemas de marca d'água digital, que podem ser utilizados como complemento a esses sistemas, provendo proteção aos dados digitais em sua forma original. Desta maneira os sistemas de marca d'água podem ser utilizados para uma variedade de aplicações, como proteção de direitos autorais e verificação de autenticidade. Segundo Cox [4], Marca d'água digital é a arte de inserir uma mensagem em um trabalho, alterando-o de uma maneira visualmente imperceptível. Em outras palavras, o dado marcado, ou seja, aquele que recebeu a mensagem, é perceptivelmente igual ao dado original.

Os sistemas de marca d'água digital podem ser classificados em duas categorias: sistemas de marca d'água frágil e sistema de marca d'água robusto. A inserção da marca pode ser feita tanto no domínio do espaço [8] [12] [15], quanto no domínio da frequência [2] [7] [9].

No domínio do espaço, a inserção de uma marca d'água em uma imagem original pode ser feita simplesmente através de modificação de LSB (Least Significant Bit), pois esta modificação é perceptivelmente insignificante, onde o LSB da imagem original é modificado pelo bit da marca d'água. Entretanto estas modificações podem ser facilmente eliminadas através de simples operações de processamentos de imagem [11] [13]. As técnicas de inserção no domínio do espaço são mais utilizadas para marcas d'água frágil (autenticação) [3].

As inserções feitas no domínio da frequência, geralmente são efetuadas através de transformações de imagens como a DCT (*Discrete Transform Cosine*), DFT (*Discrete Fourier Transform*) e HDT (*Hadamard Discrete Transform*) [5]. As técnicas realizadas neste domínio são mais robustas a operações de processamento de imagens e são mais utilizadas para proteção de direitos autorais, isso porque a marca, ao menos na teoria, permanece na imagem marcada mesmo após esta ser adulterada. O problema das inserções no domínio da frequência é o tamanho da informação a ser inserida, que não pode ser grande, para não deteriorar significativamente a qualidade visual da imagem marcada.

Estudos têm mostrado que para criar marcas d'água robusta, as inserções devem ser feitas nos componentes perceptivelmente significantes, isto devido ao fato que estes componentes são menos afetados por operações de processamentos de imagens como compressão JPEG [2].

As técnicas de marca d'água digital podem ser aplicadas a qualquer tipo de dado digital, como áudio, vídeo, texto e imagens. Entretanto no contexto deste trabalho estaremos referenciando técnicas de marca d'água aplicadas a imagens estáticas, de modo que freqüentemente será utilizado o termo imagem marcada para referenciar dado marcado, assim como, imagem original para referenciar dado original.

Referenciamos a seguir algumas técnicas de marca d'água digital aplicadas a imagens. Yeung e Mintzer [14] propõem uma técnica de marca d'água frágil, baseada em criptografia de chave privada, a inserção da marca é realizada no domínio do espaço. Wong [15], apresenta uma técnica de marca d'água frágil baseada em blocos, que é muito similar a técnica apresentada em [14], porém a técnica é baseada em criptografia de chave pública, a inserção da marca é feita no domínio do espaço, através de modificação de LSB. Celik [1], propõem uma melhora no algoritmo de Wong, através de uma marca d'água hierárquica. Koch, Rindfrey e Zhao [10], propõem um método de marca d'água, onde a inserção é realizada no domínio da frequência, nesta técnica a marca é constituída de uma seqüência de 0 e 1, e é inserida nos coeficiente de *middle-frequency*, da imagem levada ao domínio da frequência através da DCT (Transformada Discreta do Co-seno). Uma das técnicas mais populares de marca d'água robusta, foi introduzida por Cox et al [2], que propõem uma técnica baseada na comunicação *spread spectrum*, a marca é inserida nos maiores coeficientes da imagem levada para o domínio da frequência.

Sistemas de marca d'água geralmente são desenvolvidos ou para verificação de autenticidade, ou para proteção de direitos autorais. Wu e Shih [16] propuseram um método que pode ser ajustado tanto para inserção de marca d'água robusta, como para inserção de marca d'água frágil. O método proposto baseia-se no método de Wu e Shih, algumas alterações foram realizadas com o intuito de inserir um maior número de informação para marcas robustas, preservando a qualidade visual da imagem marcada e a robustez do sistema. Estas alterações são baseadas em uma análise de pixels

de borda ou textura feita sobre a imagem original, para identificar regiões que podem receber mais ou menos informações.

Este artigo está organizado da seguinte forma, na sessão 2 são descritos alguns métodos correlatos com o método proposto. Na seção 3 é descrito o método proposto e na seção 4 é apresentada uma maneira de extrair características baseadas em pixel. Os resultados obtidos são apresentados na sessão 5. Ficando para a seção 6, a conclusão do trabalho.

## 2. TRABALHOS CORRELATOS

Wong [15], propõe uma técnica de marca d'água para verificação de autenticidade de imagens, sua técnica é capaz de detectar adulterações como, alterações dos valores de pixel, redimensionamento da imagem, recorte de partes da imagem, entre outros. A segurança do método de Wong é baseada na utilização de uma chave pública e uma função criptográfica *hash*. No processo de inserção, a marca d'água é adicionada em uma imagem usando uma chave privada, e no processo de extração uma chave pública corresponde à chave privada do momento de inserção é usada para extrair a marca. Essa técnica é desenvolvida para imagens em níveis de cinza, porém pode ser aplicada a imagens coloridas, repetindo-se o processo de inserção em cada canal *RGB* (*Red, Green, Blue*) da imagem original.

Para inserir a marca d'água, considere  $H$  uma imagem original em níveis de cinza de tamanho  $M \times N$ , e  $W$  uma marca d'água binária, de mesmo tamanho da imagem original  $H$ , caso a marca seja menor que  $H$ , ela poderá ser replicada até atingir o tamanho necessário. Para obter a imagem marcada  $HW$ , particione  $H$  em blocos de tamanho  $I \times J$ , formando blocos  $H_B$ . A marca d'água denominada  $W$ , também é particionada em blocos de tamanho  $I \times J$ , formando blocos  $W_B$ . Para dar maior segurança ao método, uma função *hash* entre  $(M, N$  e  $H_B)$  é calculada, resultando em  $P_B$ . Entre  $W_B$  e  $P_B$ , é realizado um *XOR* (ou exclusivo), obtendo  $FW_B$  que é uma nova marca.  $FW_B$  será inserida nos *LSBs* de  $H_B$ , que serão compostos para formar a imagem marcada  $HW$ . Visando aumentar ainda mais a segurança do método, Wong utiliza um sistema de criptografia de chave pública calculado entre uma chave privada  $k'$  e  $FW_B$ . Desta maneira apenas quem possuir a chave pública correspondente à chave privada  $k'$ , conseguirá extrair a marca d'água  $W$  inserida.

Provavelmente o mais popular dos métodos de marca d'água robusta foi proposto por Cox et al [2]. Sua técnica é aplicada a imagens estáticas, mas pode ser ajustada para outros tipos de mídias. O autor argumenta que para se ter robustez, a marca d'água deve ser inserida nos componentes perceptivelmente mais significantes da imagem. Entretanto, essas inserções podem degradar significativamente a qualidade visual da imagem. Para resolver este problema, a marca d'água é inserida nos componentes espectrais da imagem usando técnicas similares as de comunicação *spread spectrum*. A *DCT* é utilizada para levar a imagem original  $H$ , do domínio do espaço para o domínio da frequência. No processo de inserção da marca, considere  $H$  uma imagem original em níveis de cinza,  $W$  uma seqüência gaussiana de  $N$  números reais, selecionada de uma distribuição  $N(0,1)$ , usada como marca d'água. São possíveis algumas alternativas de distribuição para gerar a marca, como:  $\{1, -1\}$ ,  $\{0, 1\}$ , ou  $[0, 1]$ . Para obter a imagem marcada  $HW$ , é aplicada a *DCT* na imagem original  $H$ , formando  $H^{DCT}$ . Os  $N$  maiores coeficientes de  $H^{DCT}$  são extraídos e denominados de  $v_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Através da fórmula apresentada na Equação (1), uma nova seqüência  $v'_i$  será gerada.

$$v'_i = v_i (1 + \alpha w_i) \quad (1)$$

onde  $\alpha$  é um parâmetro escalar, que determina a intensidade em que  $W$  vai alterar  $H$ .  $HW$  será gerada, substituindo os valores de  $v_i$  em  $H^{DCT}$  pelos valores da nova seqüência  $v'_i$ .

No processo de Extração da marca, tanto a imagem marcada  $HW$ , quanto a imagem original  $H$ , são utilizadas. Elas são levadas para o domínio da frequência através da *DCT*. A diferença entre as duas imagens, calculada através da inversa da fórmula usada no processo de inserção, é a marca d'água extraída  $W_{EX}$ . Para se fazer alguma asserção sobre a propriedade da imagem, as marcas original e extraída, são sujeitas a um teste de similaridade, para se saber o quanto são similares.

A escolha do tipo de marca d'água, robusta ou frágil, depende do objetivo que se queira atingir. Um sistema que pode ser ajustado tanto para inserção de marca d'água frágil quanto para inserção de marca d'água robusta, foi proposto por Wu e Shih [16]. Dois parâmetros '*VSTW*' (*Varying Sized Transform Window*), que determina o tamanho dos blocos que a imagem original será particionada, e '*QF*' (*Quantify Factor*) que é um fator quantitativo, que determina qual bit será alterado pela marca d'água, foram utilizados para definir o método. Uma matriz  $PB$  para representar características baseadas em pixel extraídas de uma imagem, é usada para dar maior segurança à técnica.  $PB$  é obtida utilizando operadores morfológicos. Maiores detalhes sobre a forma de se obter  $PB$  podem ser encontradas na seção 4. Se  $VSTW = 1 \times 1$ , significa que a inserção se dará no domínio do espaço, caso contrário, a inserção será no domínio da frequência. As variações nos valores de *QF* determinam se o método será aplicado para verificação de autenticidade (marca d'água frágil) ou para proteção de direitos autorais (marca d'água robusta). O caso  $VSTW = 1 \times 1$  e  $QF(1, 1) =$

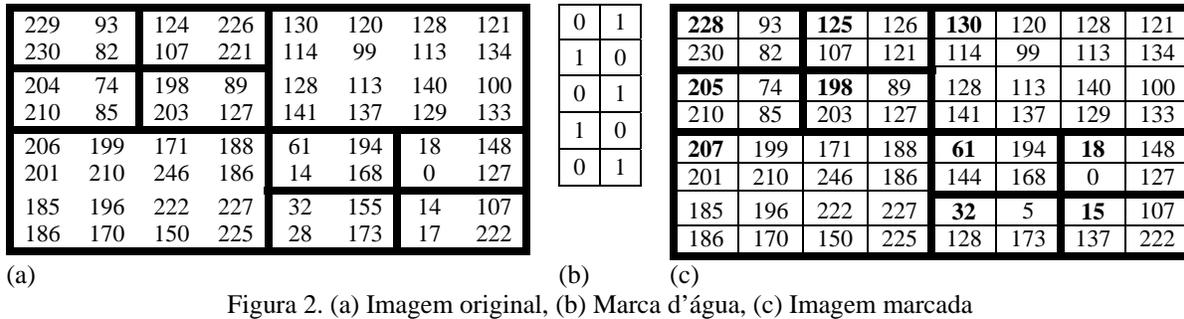
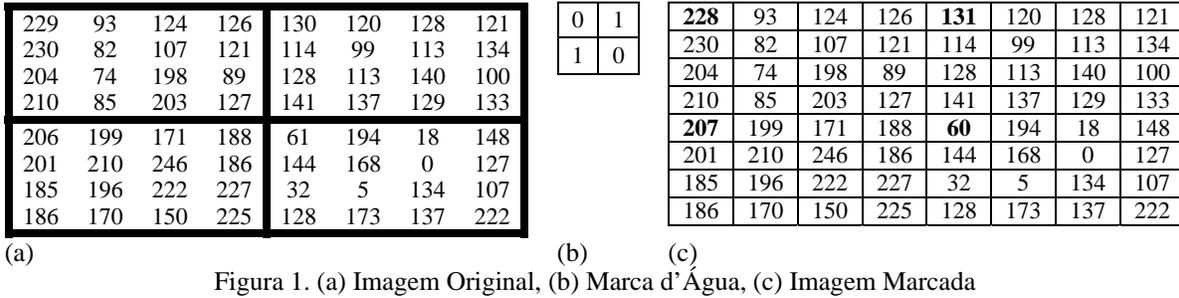
1, fornece um sistema equivalente ao método de Wong [15], o sistema também pode ser equivalente ao método de Cox [2], se  $VSTW = 256 \times 256$  e  $QF(1, 1) \neq 1$ .

Neste trabalho é proposto um sistema que pode ser ajustado para marca d'água frágil ou robusta, inspirado nas idéias de Wu e Shih [16]. Porém com a possibilidade de inserção de uma marca com maior número de informação do que aquela dada pela quantidade dos blocos da partição.

### 3. METODO PROPOSTO

Nesta seção será apresentada uma visão geral do método proposto, que é inspirado no método de Wu e Shih [16]. A contribuição deste trabalho está na modificação na forma do particionamento da matriz hospedeira (original), possibilitando a obtenção de marcas mais robustas.

A diferença entre o método de Wu e Shih e o método proposto, é que no primeiro a imagem original denominada  $H$ , é particionada em blocos de um mesmo tamanho, e a inserção da marca é feita nos componentes mais significantes de cada bloco. O tamanho da marca é dependente do número de blocos em que  $H$  é particionada, como pode ser observado na Figura 1. Já no método proposto, um detector de bordas e/ou uma análise de textura é aplicada na imagem original, possibilitando um particionamento de  $H$  em blocos e sub-blocos. Desta forma é possível a inserção de uma marca de tamanho maior que a marca possível de ser inserida no método de Wu e Shih, sem perda da qualidade visual da imagem hospedeira. A Figura 2 ilustra um exemplo onde uma imagem original é sub-dividida para receber mais informação.



O que determina se um bloco será particionado em sub-blocos é um limiar, escolhido pelo usuário. Se o nível do detector de bordas e/ou textura for maior que o limiar o bloco deverá ser particionado em  $k$  sub-blocos.

Na técnica proposta, assim como no método de Wu e Shih, são utilizados dois parâmetros  $VSTW$  e  $QF$ .  $VSTW$  (*Varying Sized Transform Window*), determina o tamanho inicial dos blocos em que a imagem original  $H$  será particionada.  $QF$  (*Quantify Factor*) é um fator quantitativo que determina qual bit será alterado pela marca d'água, na Figura 3 um exemplo de  $QF$  pode ser visualizado. Os possíveis valores para as posições da matriz  $QF$  são  $2^k$ ,  $k \in \mathbb{N}$ . Se  $VSTW = 1 \times 1$  significa que a marca será inserida no domínio do espaço, caso contrário, a inserção da marca será realizada no domínio da frequência. As variações nos valores de  $QF$  determinam a aplicação do método (frágil ou robusto). Da mesma forma que em Wu e Shih, a matriz  $PB$  é usada para dar maior segurança à técnica e também devido ao fato de uma imagem original e uma imagem marcada possuírem praticamente as mesmas características  $PB$ . Detalhes da extração de  $PB$  são apresentados na seção 4.

Considerando  $H$  uma imagem hospedeira de tamanho  $256 \times 256$ , e  $VSTW = 8 \times 8$ , serão obtidos blocos  $H_B$  de tamanho  $8 \times 8$ . No método de Wu e Shih, uma marca de 1024 pixels poderá ser inserida em  $H$ . No método proposto, se a imagem  $H$  também for particionada em blocos  $H_B$  de tamanho  $8 \times 8$ , uma marca de tamanho maior que 1024 pixels poderá ser adicionada. Essa inserção é possível pela utilização de um detector de textura e/ou bordas que determina os

blocos que possuem mais características da imagem original, e assim, estes serão subdivididos em blocos de tamanho  $4 \times 4$ , aumentando a capacidade de informação suportada pelo método.

32	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

Figura 3. Exemplo de QF de tamanho  $8 \times 8$ .

Em ambos os métodos, se  $H$  for particionada em blocos menores que  $8 \times 8$ , a qualidade visual da imagem marcada será degradada, a Figura 4 ilustra um exemplo deste caso, onde claramente percebe-se uma perda da qualidade visual da imagem marcada, conforme o número de blocos aumenta. Para que não haja esta degradação, o valor de  $QF(1, 1)$  deverá ter um valor pequeno. Vale lembrar que diminuindo o valor de  $QF(1, 1)$ , diminui a robustez do método. O perfeito balanço entre tamanho de bloco e valor de  $QF$  depende do propósito do uso da técnica.

Os algoritmos de inserção e extração do método proposto são apresentados nas seções 3.1 e 3.2, respectivamente.

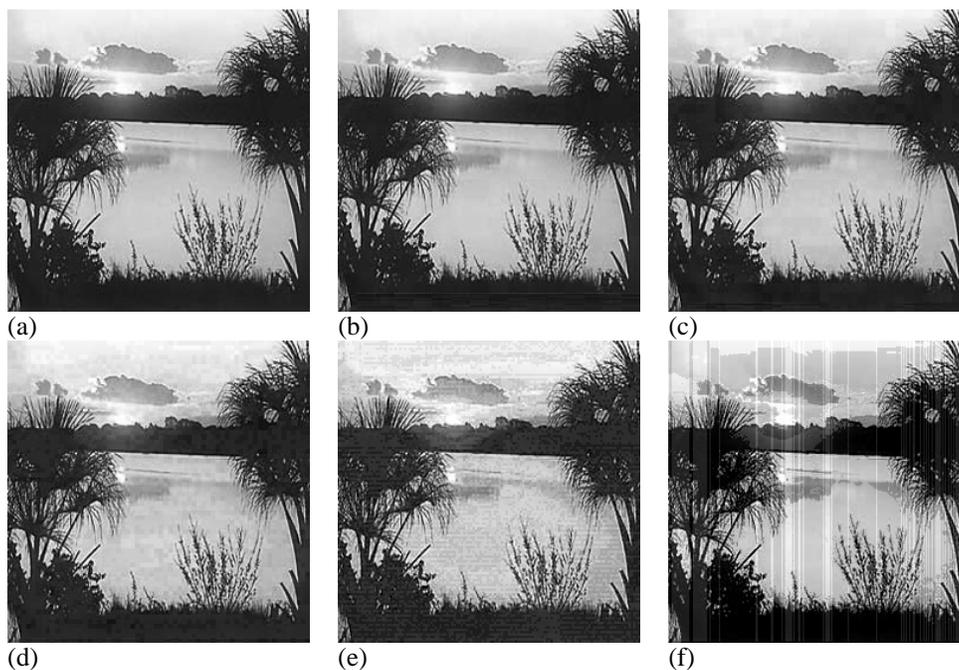


Figura 4. (a) Imagem original, (b) (c) (d) (e) (f) Imagens marcadas com blocos de tamanho  $16 \times 16$ ,  $8 \times 8$ ,  $4 \times 4$ ,  $2 \times 2$  e  $1 \times 1$ , respectivamente. Alteração no 6º LSB,  $QF(1,1) = 32$ .

### 3.1 Algoritmo de Inserção do Método Proposto

Considerando que  $H$  é uma imagem original em níveis de cinza,  $W$  é uma marca d'água binária de tamanho  $M \times P$ ,  $HB_k$  é o  $k$ -ésimo sub-bloco e a matriz  $QF_k$  o fator quantitativo correspondente. Obtenha  $PB$  de  $H$ , como apresentado na seção 4.1. Obtenha  $FW$ , que é uma nova marca gerada pelo XOR entre  $PB$  e  $W$ , valendo lembrar que esta operação é restrita ao tamanho de  $W$ . Particione  $H$  em blocos não sobrepostos, gerando os blocos  $H_B$ . Para definir os sub-blocos  $HB$ , um detector de bordas e/ou entropia é efetuado em cada bloco  $H_B$ , se o resultado do nível de borda/textura for maior que um certo limiar  $T$ , este bloco é sub-dividido formando os blocos  $HB_k$ . Os blocos e sub-blocos são levados ao domínio da frequência através da DCT, gerando um conjunto de blocos de vários tamanhos  $HB_k^{DCT}$ . Obtenha  $HB_k^Q$ , que são os blocos  $HB_k^{DCT} / QF$ . Insira a marca  $FW$  em  $HB_k^Q$ , gerando a imagem marcada no domínio do espaço  $HB_k^{WF}$ , a inserção é feita substituindo o LSB do pixel(1,1) de cada bloco  $HB_k^Q$  pelo pixel de  $FW$ . Obtenha  $HB_k^{WMF}$  através da multiplicação de  $HB_k^{WF}$  por  $QF$ . Com os blocos marcados no domínio da frequência, compute a IDCT (Inverse Discrete

*Cosine Transform*) de cada bloco  $HB_k^{WMF}$ , obtendo  $HB_k^{WS}$ , que são os blocos novamente no domínio do espaço.  $HW$ , que é a imagem marcada, é obtida compondo todos os sub-blocos  $HB_k^{WS}$  na mesma posição ocupada por cada bloco  $HB_k$  em  $H$ .

O processo de inserção pode ser visualizado na Figura 5.

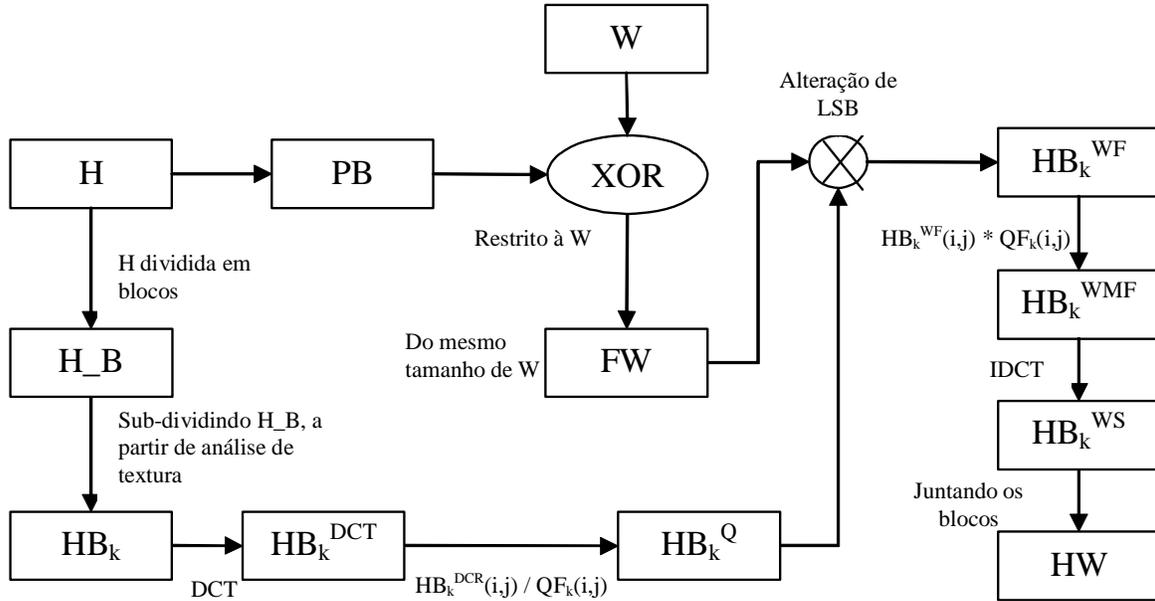


Figura 5. Diagrama de fluxo de inserção do método proposto

### 3.2 Algoritmo de Extração do Método Proposto

No processo de extração, algumas variáveis de entrada são usadas, a imagem marcada  $HW$ , o mesmo elemento estruturante  $S$ , a matriz  $QF$ , e os mesmos limiares  $T$ ,  $T_1$  e  $T_2$  usados no processo de inserção. Para extrair a marca, obtenha  $PB$  de  $HB^{WS}$ . Particione  $HB^{WS}$  em blocos não sobrepostos, gerando os blocos  $HW\_B$ . Para definir os sub-blocos  $HWB$ , o mesmo detector de bordas e/ou entropia, usado na inserção, é efetuado em cada bloco  $HW\_B$ . Se o resultado do nível de borda/textura for maior que o limiar  $T$ , este bloco é sub-dividido formando os blocos  $HWB_k$ . Na extração, os blocos e sub-blocos são levados ao domínio da frequência através da  $DCT$ , gerando um conjunto de blocos de vários tamanhos  $HWB_k^{DCT}$ . Obtenha  $HWB_k^Q$ , que são os blocos  $HWB_k^{DCT} / QF$ . Obtenha  $HWB^{LSB}$ , que é o  $LSB$  do pixel (1,1) de cada bloco  $HWB_k^Q$ . Para obter a marca extraída  $W'$  execute o  $XOR$  entre  $PB$  e  $HWB^{LSB}$ .

A Figura 6 ilustra o processo de extração do método proposto.

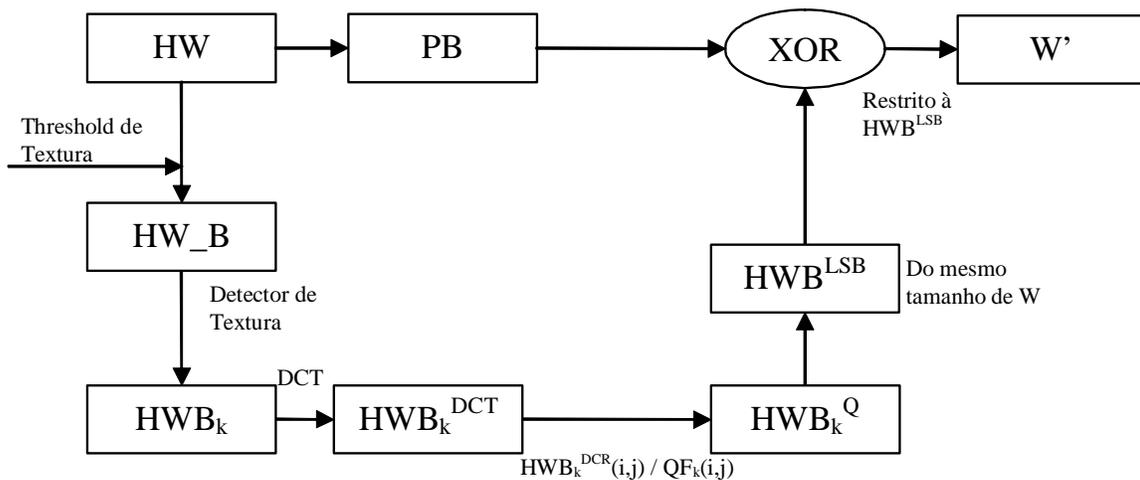


Figura 6. Diagrama de fluxo de extração do método proposto

#### 4. EXTRAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS BASEADAS EM PÍXELS (PB)

$PB$  representa características de pixel de uma imagem. Estas características são extraídas utilizando operadores morfológicos, que trabalham com duas imagens,  $H$  que é a imagem original e um elemento estruturante, que pode ser uma matriz  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ , com todos os valores de seus componentes iguais a 1.

Para se extrair  $PB$  de  $H$ , considere  $S$  um elemento estruturante,  $H^D$  a dilatação de  $H$  por  $S$ , e  $H^E$  a erosão de  $H$  por  $S$ . Considere também que  $H(i,j)$ ,  $H^D(i,j)$ ,  $H^E(i,j)$  e  $PB(i,j)$  representam os valores de pixel de  $H$ ,  $H^D$ ,  $H^E$  e  $PB$ .

##### 4.1 Algoritmo de Extração de PB

O algoritmo para extração de  $PB$  é descrito da seguinte maneira:

Crie um elemento estruturante  $S$  como em [16].

Obtenha  $H^D$ , que é a dilatação de  $H$  por  $S$ ;

Obtenha  $H^E$ , que é a erosão de  $H$  por  $S$ ;

Para cada  $(i,j)$  efetue a Equação (2) e Equação (3).

$$\text{Se } \left( 0 \leq \frac{H(i,j) - H^E(i,j)}{H^D(i,j) - H^E(i,j)} \leq T_1 \right) \text{ ou} \quad (2)$$

$$\left( T_2 \leq \frac{H(i,j) - H^E(i,j)}{H^D(i,j) - H^E(i,j)} \leq 1 \right) \text{ então } PB(i,j) = 1;$$

senão  $PB(i,j) = 0$ .

Obs: Os valores de  $T_1$  e  $T_2$  usados nos experimentos foram 0.1 e 0.9, respectivamente.

As características baseadas em pixels,  $PB$ , são extraídas por serem praticamente invariantes a compressão JPEG. A Figura 7 ilustra as propriedades de  $PB$ , onde (a) é um elemento estruturante de tamanho  $3 \times 3$  com todos os valores de seus elementos iguais a 1; (b) é uma imagem original  $H$ ; (c) é a erosão de  $H$  por  $S$ ; (d) é a dilatação de  $H$  por  $S$ ; (e) é o valor de  $PB$  calculado no ponto (2,2) de  $H$ ; (f) imagem atacada por compressão JPEG 80%; (g) erosão de (f) por  $S$ ; (h) dilatação de (f) por  $S$ ; (i) é o  $PB$  calculado no ponto (2,2) da imagem (f); (j) imagem atacada por compressão JPEG 60%; (l) erosão de (j) por  $S$ ; (m) dilatação de (j) por  $S$ ; (n) é o  $PB$  calculado no ponto (2,2) da imagem (j); (o) imagem atacada por compressão JPEG 40%; (p) erosão de (o) por  $S$ ; (q) dilatação de (o) por  $S$ ; (r)  $PB$  calculado no ponto (2,2) da imagem (o).

Note que os valores de  $PB$  são todos iguais mesmo com imagens que sofreram considerável degradação de seus valores de pixels, decorrente de diferentes níveis de compressão JPEG.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

(a)

64	46	32
40	<b>34</b>	36
33	28	31

(b)

66	48	39
49	<b>35</b>	31
42	27	20

(f)

59	45	38
43	<b>32</b>	27
42	32	24

(j)

58	49	36
56	<b>39</b>	32
37	27	22

(o)

34	32	32
28	<b>28</b>	28
28	28	28

(c)

35	31	31
27	<b>20</b>	20
27	20	20

(g)

32	27	27
32	<b>24</b>	24
32	24	24

(l)

39	32	32
27	<b>22</b>	22
27	22	22

(p)

64	64	46
64	<b>64</b>	46
40	40	36

(d)

66	66	48
66	<b>66</b>	48
49	49	35

(h)

59	59	45
59	<b>59</b>	45
43	43	32

(m)

68	68	49
68	<b>68</b>	49
56	56	39

(q)

$$PB(2,2) = \frac{34 - 28}{64 - 28} = \frac{6}{36} = 0.1667 = 0$$

(e)

$$PB(2,2) = \frac{35 - 20}{66 - 20} = \frac{15}{46} = 0.3261 = 0$$

(i)

$$PB(2,2) = \frac{32 - 24}{59 - 24} = \frac{8}{38} = 0.2286 = 0$$

(n)

$$PB(2,2) = \frac{39 - 22}{68 - 22} = \frac{17}{46} = 0.3696 = 0$$

(r)

Figura 7. (a) elemento estruturante  $S$ , (b) imagem original  $H$ , (c) erosão de  $H$  por  $S$ , (d) dilatação de  $H$  por  $S$ , (e)

$PB(2,2)$  calculado de  $H(2,2)$ , (f) (j) e (o) são imagens originais atacadas por compressão JPEG 80, 60 e 40% respectivamente, (g) (l) e (p) são as erosões de (f) (j) e (o), (h) (m) e (q) são as dilatações de (f) (j) e (o), (i) (n) e (r) são os  $PB$ 's extraídos no ponto (2,2) das imagens (f) (j) e (o).

## 5. RESULTADOS

Para medir a performance entre o método de Wu e Shih e o método proposto as duas técnicas foram implementadas e testes foram executados.

No primeiro experimento, considera-se  $H$ , a imagem do Centro da Cidade de Uberlândia de tamanho  $256 \times 256$  e  $W$  uma marca d'água. No método de Wu e Shih,  $H$  foi dividida em blocos de tamanho  $8 \times 8$ , possibilitando um  $W$  de tamanho  $16 \times 64$ , ou seja, 1024 pixels foram inseridos no 6°  $LSB$  ( $QF(1,1) = 32$  e  $QF(i,j) = 1$  para todos  $i \neq 1$  e todos  $j \neq 1$ ). No método proposto,  $H$  foi particionada em blocos de tamanho  $8 \times 8$  e após uma análise de entropia da imagem, alguns blocos foram subdivididos em blocos de tamanho  $4 \times 4$ , possibilitando a inserção de uma marca d'água maior que a marca usada no método de Wu. A marca utilizada foi de tamanho  $22 \times 61$ , ou seja, 1342 pixels foram inseridos no 6°  $LSB$ .

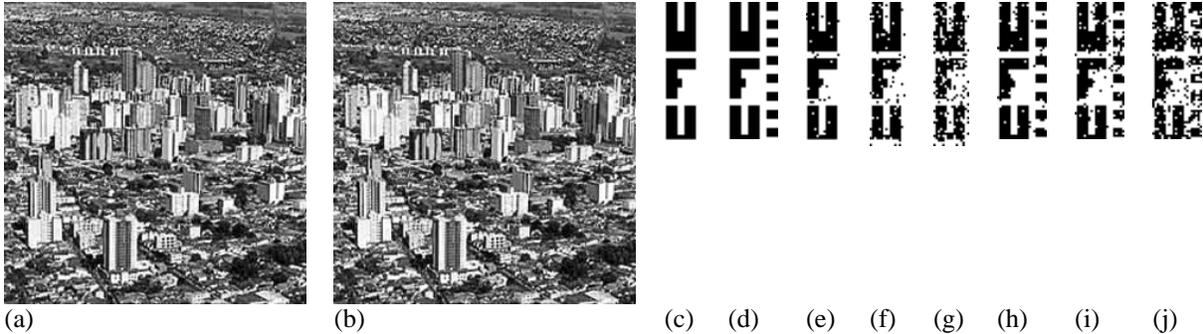


Figura 8. (a) e (b) imagens marcadas pelo método de Wu e pelo método proposto, respectivamente. (c) e (d) marcas usadas pelos métodos de Wu e Shih e proposto. (e) (f) e (g) são as marcas extraídas pelo método de Wu e Shih (h) (i) (j) as marcas extraídas pelo método proposto.

Os resultados do experimento, obtidos pela compressão JPEG, podem ser visualizados na Figura 8. Na Figura 8(a) é mostrada a imagem marcada pelo método de Wu e Shih após compressão JPEG de 90%, e 8(b) a imagem marcada pelo método proposto com a mesma compressão JPEG. A marca  $W$  de tamanho  $16 \times 64$ , aplicada no método de Wu e Shih pode ser visualizada 8(c), enquanto a marca  $W$  de tamanho  $22 \times 61$ , aplicada no método proposto em 8(d). As marcas extraídas das imagens marcadas pelo método de Wu e Shih e pelo proposto, após sofrerem compressão JPEG 90% são 8(e) e 8(h) respectivamente. Aplicando compressões JPEG de 70% e 40% nas imagens marcadas pelos métodos, as marcas extraídas pelo método de Wu e Shih podem ser visualizadas em 8(f) e 8(g) e pelo método proposto em 8(i) e 8(j) respectivamente.

No segundo experimento, considerando  $H$  uma imagem de frutas de tamanho  $256 \times 256$  e  $W$  uma marca d'água. No método de Wu,  $H$  foi particionada em blocos de tamanho  $8 \times 8$ , possibilitando uma marca de tamanho  $16 \times 64$ , inserida no 5°  $LSB$  ( $QF(1,1) = 16$  e  $QF(i,j) = 1$ , para todos  $i \neq 1$  e para todos  $j \neq 1$ ). Usando o mesmo  $QF$  no método proposto,  $H$  foi particionada em blocos e sub-blocos de tamanho  $8 \times 8$  e  $4 \times 4$ , respectivamente. Inserindo uma marca d'água de tamanho  $20 \times 71$ , 1420 pixels foram inseridos no 5°  $LSB$  de  $H$ . A inserção no 5°  $LSB$  foi necessária, pois  $H$  possui uma região homogênea muito grande. A inserção no 6°  $LSB$  degradaria a qualidade visual da imagem marcada.

Na Figura 9 os resultados obtidos pela compressão JPEG da imagem marcada podem ser visualizados. Na Figura 9(a) a imagem marcada pelo método de Wu e Shih após compressão JPEG de 90% e 9(b) a imagem marcada pelo método proposto com a mesma compressão JPEG. A marca  $W$  de tamanho  $16 \times 64$  aplicada no método de Wu e Shih pode ser visualizada 9(c), enquanto a marca  $W$  de tamanho  $20 \times 71$  aplicada no método proposto em 9(d). As marcas extraídas das imagens marcadas pelo método de Wu e Shih e pelo proposto, após sofrerem compressão JPEG 90%, são 9(e) e 9(h) respectivamente. Aplicando compressões JPEG de 70% e 40% nas imagens marcadas pelos métodos, as marcas extraídas pelo método de Wu e Shih podem ser visualizadas em 9(f) e 9(g) e pelo método proposto em 9(i) e 9(j) respectivamente.

No terceiro experimento, assim como no primeiro,  $H$  é a imagem do Centro da Cidade de Uberlândia de tamanho  $256 \times 256$  e as marcas  $W$  inseridas também foram binárias e de mesma dimensão, porém com valores de pixels diferentes. As marcas foram construídas alternando um pixel com valor 0 e outro com valor 1, repetindo até preencher toda a dimensão da imagem. As inserções também foram realizadas no 6°  $LSB$ , e as imagens marcadas também passaram por compressão JPEG.

O quarto e quinto experimentos se diferem do terceiro apenas pela marca d'água utilizada. No quarto experimento a marca foi construída alternando dois pixels com valor 0 e um pixel com valor 1. E no quinto experimento, a construção foi feita alternando três pixels com valor 0 e um com valor 1, até preencher a dimensão da marca.

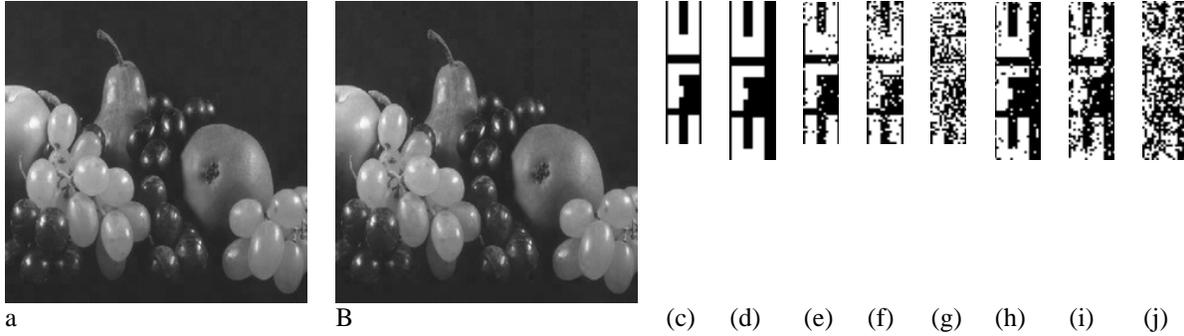


Figura 9. (a) e (b) imagens marcadas pelo método de Wu e Shih e pelo método proposto, respectivamente. (c) e (d) marcas usadas pelos métodos de Wu e Shih e pelo proposto. (e) (f) e (g) são as marcas extraídas pelo método de Wu e Shih e (h) (i) (j) as marcas extraídas pelo método proposto.

Os resultados ilustram que o método proposto tem uma robustez equivalente a do método de Wu e Shih, mesmo com a inserção de 30 a 40% a mais de pixels de informação, sem deteriorar a qualidade visual da imagem marcada.

Uma média dos valores de similaridade, obtidos por comparação entre as marcas originais e marcas extraídas do primeiro, terceiro, quarto e quinto experimentos é apresentada na Tabela 1. A similaridade é obtida através do coeficiente de normal correlação,  $NC$ , entre a marca d'água original  $W$  e a marca extraída  $W'$ . A fórmula utilizada para calcular os valores de correlação é expressa na Equação 4.

$$NC(W, W') = \frac{\sum_i \sum_j (w_{i,j} - \bar{w})(w'_{i,j} - \bar{w}')}{\sqrt{\left( \sum_i \sum_j (w_{i,j} - \bar{w})^2 \right) \left( \sum_i \sum_j (w'_{i,j} - \bar{w}')^2 \right)}} \quad (4)$$

onde  $\bar{w}$  é a média dos pixels de  $W$  e  $\bar{w}'$  é a média dos pixels de  $W'$ .

O resultado de  $NC$  é um valor entre -1 e 1. Se a correlação for igual a 1, as imagens comparadas são idênticas, e quanto mais distante de 1 for o valor da correlação, maior a diferença entre as imagens comparadas.

Tabela 1. Média dos valores de correlação calculados entre as marcas d'água originais e as marcas d'água extraídas, experimentos 1, 3,4 e 5.

<b>Imagens do Método de Wu</b>		<b>NC</b>
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens Marcadas		0.9757
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 90%		0.9321
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 80%		0.8889
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 70%		0.8685
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 60%		0.7850
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 50%		0.5872
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 40%		0.6953
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 30%		0.6005
<b>Imagens do Método Proposto</b>		<b>NC</b>
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens Marcadas		0.9983
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 90%		0.9357
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 80%		0.8906
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 70%		0.8649
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 60%		0.7784
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 50%		0.5357
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 40%		0.6950
Média dos Valores de Correlação entre Marcas Extraídas de Imagens que sofreram compressão JPEG 30%		0.5926

O segundo experimento, não foi utilizado para obtenção dos valores médios apresentados na Tabela 1 porque a inserção da marca foi realizada no 5° *LSB*, e não no 6° *LSB*, como nos outros experimentos.

Pelos resultados apresentados na Tabela 1, é possível verificar numericamente que o método proposto tem robustez superior ao método de Wu e Shih, quando levado em consideração ataques de compressão JPEG. O método proposto trouxe bons resultados, podendo ser ter uma boa visualização da marca d'água extraída, até a compressão de 30%. Abaixo de 30% de compressão as marcas extraídas já são de difícil identificação para ambos os métodos, entretanto, mesmo nestes casos, a robustez do método proposto não deixa a desejar se comparado com a do método de Wu e Shih. Também foram realizados testes entre os dois métodos, considerando outras formas de ataques. Alguns resultados podem ser visualizados na Figura 10. Onde foram utilizadas as mesmas imagens e os mesmos valores de parâmetros do experimento 1. As Figuras de 10(a) a 10(d) e de 10(i) a 10(m), são imagens marcadas pelo método proposto e pelo método de Wu e Shih, respectivamente, que sofreram algum tipo de ataque, onde 10(a) e 10(i) foram atacadas por uma linha preta cortando as imagens na horizontal, 10(b) e 10(j) foram atacadas por uma linha branca cortando as imagens na vertical, 10(c) e 10(l) foram atacadas por adição de ruído (sal e pimenta) e 10(d) e 10(m) foram atacadas por rotação. As marcas extraídas pelo método proposto e pelo método de Wu e Shih são apresentadas de 10(e) a 10(h) método proposto e de 10(o) a 10(r) método de Wu e Shih.

Para mostrar que o método proposto também pode ser ajustado para inserção de marca d'água frágil, foi realizado um experimento. Considerando  $H$  a imagem da Lenna de tamanho  $256 \times 256$ , que foi dividida em blocos de tamanho  $1 \times 1$  e  $QF(i,j) = 1$ . A marca d'água utilizada neste caso foi o logotipo da Universidade Federal de Uberlândia, uma imagem binária de tamanho  $256 \times 256$ .

A Figura 11 ilustra a aplicação de marca d'água frágil, onde 11(a) é a imagem hospedeira  $H$  e 11(b) a marca d'água  $W$ . A imagem atacada por um estrago (quadrado preto no chapéu) e a marca extraída são apresentadas na Figura 11(c) e 11(d) respectivamente. Os resultados entre o método de Wu e Shih e o método proposto quando levado em consideração marca d'água frágil, são idênticos, por não haver diferença entre os métodos.

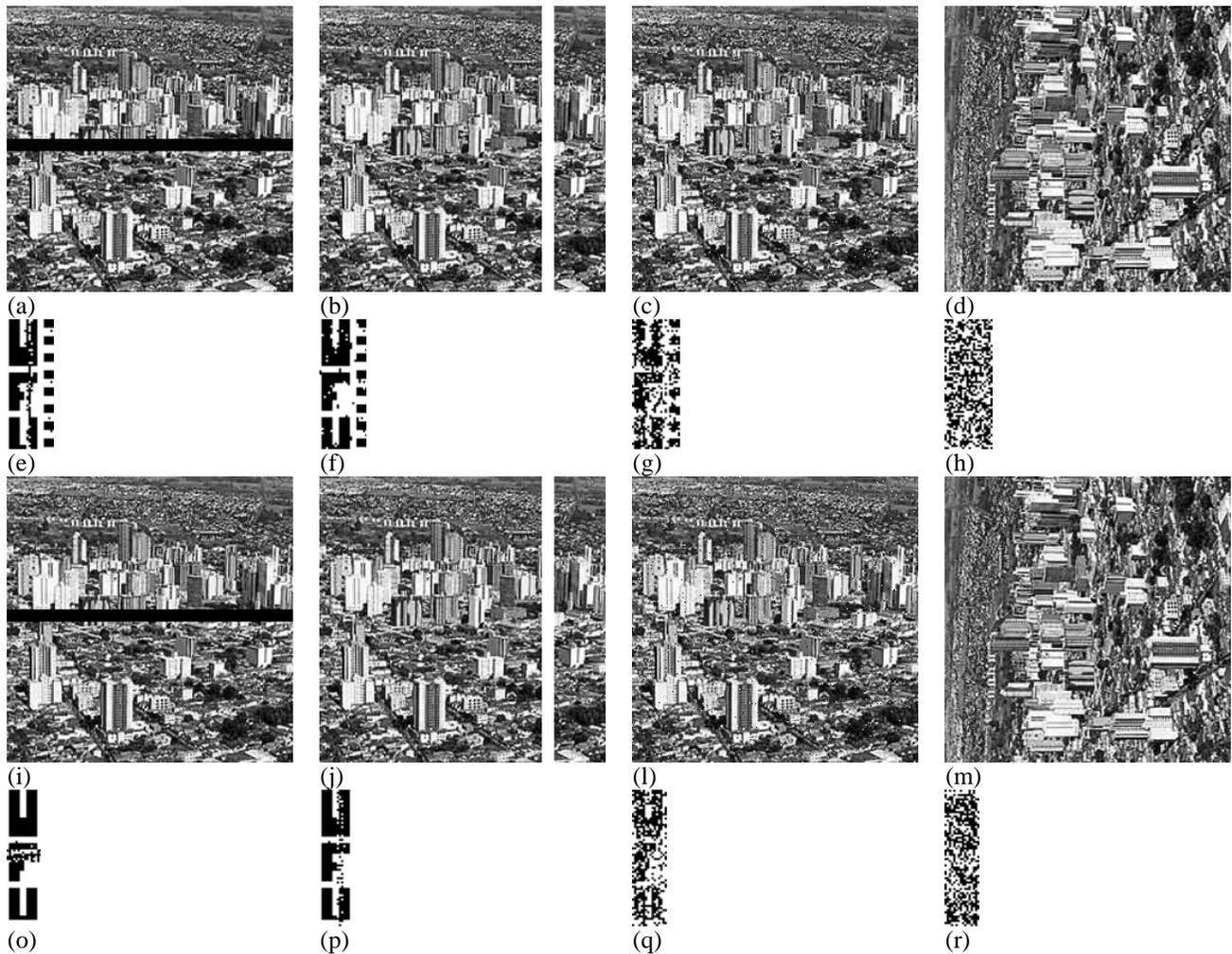


Figura 10. Testes realizados com diferentes tipos de ataques.

## 6. CONCLUSÃO

Neste artigo é proposta uma otimização de uma técnica de marca d'água baseada em uma análise de regiões de alta significância da imagem, ou seja, pontos de borda ou regiões de textura. O método pode ser visto como uma modificação do método de Wu e Shih. A análise de textura utilizada para obter sub-blocos possibilita o método proposto ser mais robusto que o método de Wu e Shih, inserindo uma marca d'água maior sem degradar a qualidade visual da imagem marcada.

Em se tratando de marca d'água frágil, ambos os métodos tem a mesma performance, não havendo diferença entre eles. O método proposto atingiu os objetivos esperados, pois pode ser ajustado tanto para inserção de marca d'água frágil como para inserção de marca d'água robusta, utilizando-se do domínio do espaço ou da frequência. A forma de inserção é determinada pelo usuário, que escolhe os valores para os parâmetros  $VSTW$ ,  $QF$  e o limiar de subdivisão de blocos, determinando desta maneira, os blocos em que a imagem original  $H$  será particionada e qual bit desta imagem será alterado.

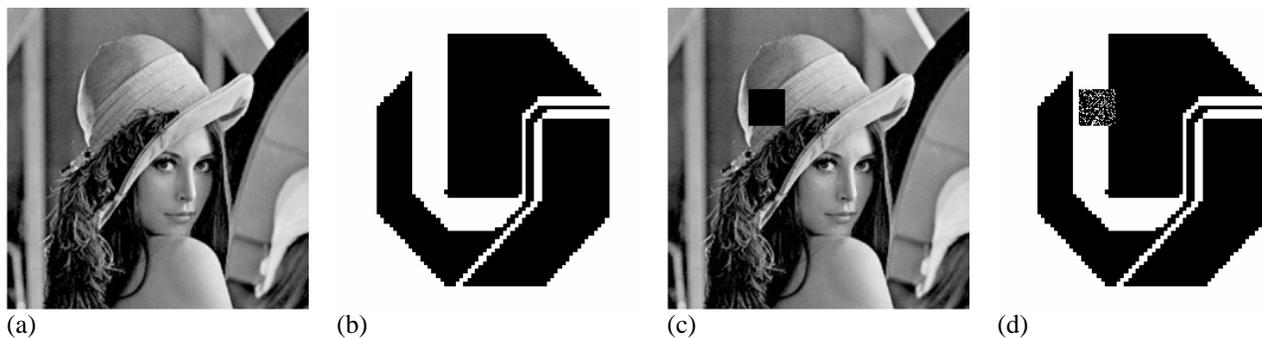


Figura 11. (a) Imagem marcada, (b) Marca d'água, (c) Imagem atacada e (d) Marca d'água extraída.

## References

- [1] Celik, M. U., Sharma, G., Saber, E. and Tekalp, A. M. Hierarchical watermarking for secure image authentication with localization. *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol 11, No. 6, (2002), pp. 585-595.
- [2] Cox, I. J., Killian, J., Leighton, F. T. and Shamoon, T. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia. *IEEE Trans. Image Process.* Vol 6, No. 12, (1997), pp. 1673-1687.
- [3] Cox, I. J., Miller, M. L. and Bloom, J. A. Watermarking application and their properties. *Published in the Int. Conf. On Information Technology*, (2000).
- [4] Cox, I. J., Miller, M. L. and Bloom, J. A. *Digital Watermarking*. Second edition, Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
- [5] Craver, S., Memon, N., Yeo, B. and Yeung, M. M. Resolving Rightful Ownerships with Invisible Watermarking Techniques: Limitations, Attacks, and Implications. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*. Vol 16, No. 4, (1998).
- [6] Johnson, N. F. An Introduction to Watermarking Recovery from Images. Proceedings of the SANS Intrusion Detection and Response Conference (IDR'99), (February, 1999) pp. 9-13.
- [7] Joseph, J. K., Ruanaidh, Ó. and Csurka, G. A Bayesian Approach to Spread Spectrum Watermark Detection and Secure Copyright Protection for Digital Image Libraries. *IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition*, (June, 1999).
- [8] Kim, H. Y. Marcas d'Água Frágeis de Autenticação para Imagens em Tonalidade Contínua e Esteganografia para Imagens Binárias e Meio-Tom. *RITA*, Vol 8, No. 1, (2001).
- [9] Kim, B., Choi, J., Park, C., Won, J., Kwak, D., Oh, S., Koh, C. and Park, K. Robust digital image watermarking method against geometrical attacks. *Real-Time Imaging*. Vol 9, (February, 2003), pp. 139-149.
- [10] Koch, E., Rindfrey, J. e Zhao, J. Copyright protection for multimedia data. *Proc. Int. Conf. on Digital Media and Electronic Publishing*. (June, 1996), pp. 203-213.
- [11] Langelaar, G. C., Setyawan, I., Langendijk, R. L. Watermarking Digital Imagem and Vídeo Data – A State-of-the-

Art Overview. *IEEE Signal Processing Magazine*, (September, 2000), pp. 20 – 46.

- [12] van Schyndel, R. G., Tirkel, A. Z. and Osborne, C. F. A Digital Watermark, *IEEE International Conference on Image Processing*. Vol 2, (1999), pp. 86-90.
- [13] Swanson, M. D., Zhu, B. and Tewfik, A. H. Transparent Robust Image Watermarking, *SPIE Conf. on Visual Communications and Image Proc.* (1996).
- [14] Yeung, M. M. and Mintzer, F. An invisible watermarking technique for image verification. *IEEE International Conference on Image Processing*, (1997), pp. 680–683.
- [15] Wong, P. W. A Public Key Watermarking for Image Verification and Authentication. *Proceeding of the IEEE International Conference on Image Processing*, (1998), pp. 425-429.
- [16] Wu, Y. T. and Shih, F. Y. An Adjusted-purpose Digital Watermarking Technique. *Pattern Recognition*. Vol 37, (2004), pp. 2349-2359.