

Avaliação do Efeito do JPEG e JPEG2000 na Decodificação de CQR Codes

Max E. Vizcarra Melgar¹, Alexandre Zaghetto², Bruno Macchiavello²,
Anderson C. A. Nascimento¹, Mylène C. Q. Farias¹

Resumo—Este artigo apresenta um código binário matricial baseado no QR Code (*Quick Response Code*), aqui denominado CQR Code (*Colored Quick Response Code*), e avalia o efeito das compressões JPEG e JPEG2000 na decodificação de tais códigos. O CQR Code conta com cinco cores no espaço de cores RGB, as quais permitem armazenar o dobro de bits quando comparado ao QR Code preto e branco tradicional. O modelo de CQR Code apresentado conta com a propriedade teórica de correção de 38,41% dos bits mediante a utilização do código corretor de erro Reed-Solomon. O objetivo desse artigo é também verificar a taxa de compressão máxima que podem ser submetidos os CQR Codes propostos de forma a se obter sua correta decodificação. O resultados mostram que a correta decodificação ocorreu para taxas acima de 0,3839 *bits/pixel* e 0,1238 *bits/pixel* no caso do JPEG do JPEG2000, respectivamente.

Palavras-Chave—QR Codes, QR Codes Coloridos, Reed-Solomon, JPEG, JPEG2000.

Abstract—This paper presents a binary matrix code based on QR Code (Quick Response Code), denoted as CQR Code (Colored Quick Response Code), and evaluates the effect of JPEG and JPEG2000 compression on the decoding process. The proposed CQR Code has three additional colors (red, green and blue), what enables twice as much storage capacity when compared to the traditional black and white QR Code. Using the Reed-Solomon error-correcting code, the CQR Code model has a theoretical correction capability of 38.41%. The goal of this paper is to verify what is the maximum compression rate a CQR Code image can be compressed without affecting the decoding process. Results show that a successful decoding process can be achieved for compression rates of up to 0.3839 *bits/pixel* and 0.1238 *bits/pixel* for JPEG and JPEG2000 formats, respectively.

Keywords—QR Codes, CQR Code, Reed-Solomon, JPEG, JPEG2000.

I. INTRODUÇÃO

Os *Quick Response Codes*, popularmente conhecidos como QR Codes, são códigos matriciais que permitem o armazenamento de informações por meio de imagens. A principal característica dos QR Codes é a capacidade de armazenar informações tanto na direção vertical como na horizontal, o que não acontece no caso dos códigos de barras [1] convencionais que armazenam informações somente na dimensão horizontal. Um exemplo de QR Code é mostrado na Figura 1 (a). Os QR Codes foram criados em 1994 e são marca registrada da empresa japonesa Denso Wave Incorporated [2].

¹Departamento de Engenharia de Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil. E-mails: maxvizcarra@ieee.org, andclay@ene.unb.br, mylene@ene.unb.br. ²Departamento de Ciência da Computação, Universidade de Brasília, Brasília-DF, Brasil, E-mail: zaghetto@image.unb.br, bruno@image.unb.br

O CQR Code apresentado nesse artigo, que foi objeto de estudo em publicação anterior [3], é o primeiro QR Code na literatura que utiliza cores com o objetivo de se aumentar a capacidade de armazenamento por centímetro quadrado e não apenas para fins exclusivamente estéticos. A Figura 1 (b) mostra um exemplo deste CQR Code.



Fig. 1. Exemplos de: (a) QR Code; e (b) CQR Code.

Tendo em vista que o processo de captura, armazenamento e transmissão de CQR Codes pode envolver a compressão das imagens capturadas, faz-se necessária a avaliação dos efeitos de algoritmos de compressão na correta decodificação dos códigos propostos. Aqui optou-se por avaliar o efeito do JPEG [4] e do JPEG2000 [5], [6], pelo fato do JPEG ser um dos padrões de compressão de imagens estáticas mais utilizado e o JPEG2000 seu sucessor. Como se sabe, tais algoritmos incluem etapas que levam a perdas [7], [8], [9], [10] e, por isso, dependendo do fator de compressão escolhido pelo usuário a distorção resultante pode inviabilizar a correta extração das informações contidas no código. Sendo assim, o presente artigo apresenta brevemente os CQR Codes e avalia o efeito dos algoritmos de compressão de imagens acima citados na decodificação dos códigos propostos.

II. CQR CODES

O CQR Code proposto conta com cinco cores (branco, preto, vermelho, verde e azul), 49×49 módulos, a semelhança do QR Code [2] tradicional versão 8, e foi projetado com o objetivo de armazenar 1024 bits de informação, com 3392 bits de redundância [3]. Os módulos que contém dados de informação e redundância estão distribuídos na *área de codificação*. Os módulos da *área padrão* são módulos dedicados exclusivamente ao reconhecimento da existência de um CQR Code na imagem e constituem a *área de fronteira*, o *padrão de localização* e os *separadores*. A Figura 2 ilustra a estrutura proposta [3]. Apesar de alguns códigos de barra

bidimensionas terem sido anteriormente propostos [11], [12], [13], [14], procurou-se trabalhar com uma estrutura que, apesar da cor, pudesse apresentar algum grau de compatibilidade com os QR Codes tradicionais.

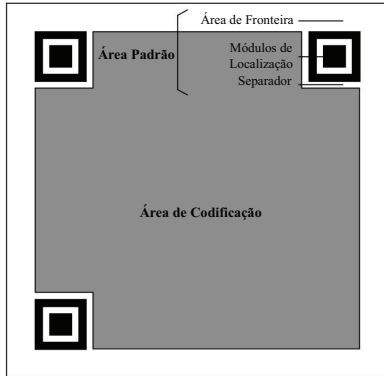


Fig. 2. Estrutura do CQR Code.

O CQR Code apresentado nesse artigo possui $49 \times 49 = 2401$ módulos, dos quais 147 são destinados aos módulos de localização, 45 aos separadores e 2209 à área de codificação. O modelo conta com 4 cores (branco, vermelho, verde e azul) dedicadas ao armazenamento de informações, e duas cores (branco e preto) para os padrões de localização. Dessa maneira, em vez de representar um único bit, como é no caso dos QR Codes tradicionais, os módulos passam a representar dois bits. A Figura 3 mostra o código binário associado a cada uma das cores utilizadas pelos módulos que compõem a área de codificação.

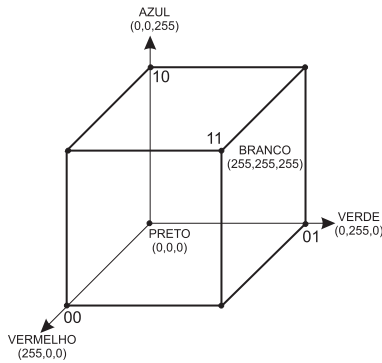


Fig. 3. Códigos binários associados a cada cor do CQR Code que armazena bits de informação/redundância: 00 - vermelho, 01 - verde, 10 - azul, 11 - branco.

Códigos corretores de erro são amplamente utilizados em sistemas de comunicação. O emprego de tais códigos tem por objetivo prevenir erros de transmissão por meio do acréscimo de informação extra (redundância) [15]. O canal de impressão-aquisição pode ser interpretado como parte de um sistema de comunicação, conforme mostrado na Figura 4. A informação transmitida por meio de um CQR Code está sujeita a erros provocados pelo ruído do canal de transmissão.

Dos 2209 módulos disponíveis na área de codificação, 2208, ou seja, 4416 bits, são efetivamente utilizados. Dessa maneira, 1024 bits são de informação e 3392 são de redundância. Os

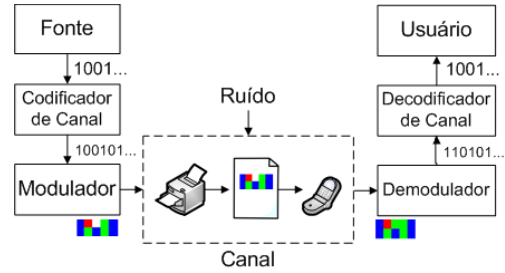


Fig. 4. O processo de impressão-aquisição pode ser interpretado como parte de um sistema de comunicação.

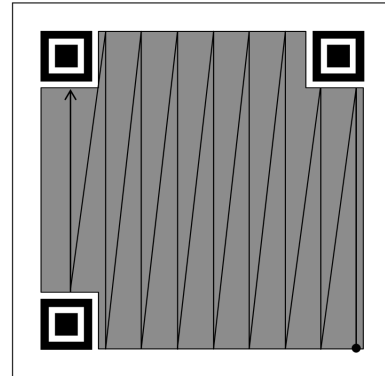


Fig. 5. Posicionamento dos módulos na área de codificação dos CQR Codes.

2 bits restantes (1 módulo) não são utilizados por sobrem após a geração dos bits de redundância.

Da mesma forma que o QR Code, o CQR Code utiliza o Reed-Solomon como código corretor de erro. Esse código toma k símbolos com s bits de comprimento e adiciona bits de redundância para formar uma palavra-código de n símbolos. No nosso caso, $k = 64$, $s = 16$ e $n = 276$. A palavra-código resultante, $RS(n, k)$, é dada pela equação:

$$RS(276, 64) = [D_1 \cdots D_{64} RS_1 \cdots RS_{212}], \quad (1)$$

em que D_i , $i = 1 \dots 64$, representam os 64 símbolos de 16 bits, e RS_j , $j = 1 \dots 212$, representam os 212 símbolos de 16 bits de redundância. Sabe-se que o Reed-Solomon é capaz de corrigir até t símbolos corrompidos, conforme indicado na Equação 2. Aqui, $t = (276 - 64)/2 = 106$, o que representa uma taxa de correção de 38,41%.

$$t = (n - k)/2 \quad (2)$$

O polinômio gerador utilizado para executar o algoritmo Reed-Solomon é apresentado na equação abaixo:

$$p(D) = D^{16} + D^{12} + D^3 + D + 1. \quad (3)$$

Uma vez obtidos os 1024 bits de informação e os 3392 bits de redundância, o CQR Code é preenchido segundo a constelação apresentada na Figura 3 e no seguindo sentido mostrado na Figura 5.

O algoritmo de leitura e decodificação do CQR Code, brevemente descrito no fluxograma da Figura 6, pode ser encontrado em um trabalho anterior [3].

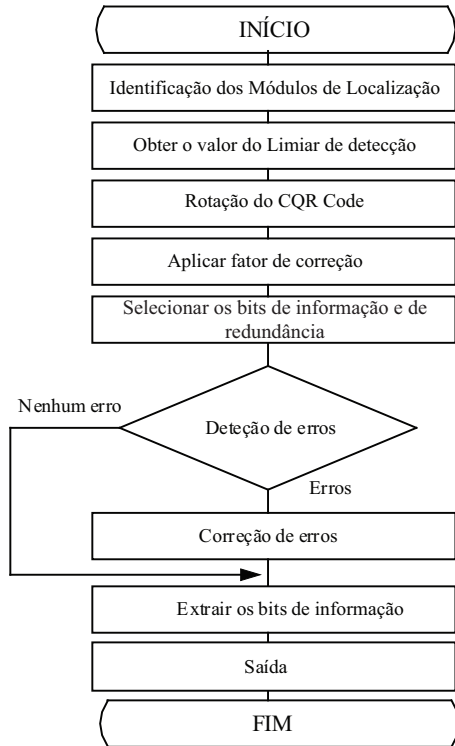


Fig. 6. Processo de decodificação dos CQR Codes.

Durante a captura de um CQR Code por meio de uma câmera digital é possível que seja necessária uma etapa intermediária de compressão para fins de transmissão. Seria assim no caso em que a decodificação do código não é realizada no dispositivo que o capturou, mas sim em um servidor remoto. A seção seguinte avalia os efeitos dos algoritmos de compressão JPEG e JPEG2000 no armazenamento das imagens obtidas por meio do modelo de geração de CQR Codes apresentado nesse artigo.

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Os testes foram realizados a partir de imagens com dimensões 630×630 pixels no formato *bitmap* codificada a 8 bits/pixel. Dessa forma, estão sendo avaliadas apenas as distorções decorrentes do processo de compressão JPEG e JPEG2000. As distorções causadas pela impressão e pela captura foram objeto de estudo de um trabalho anterior [3]. A Figura 6 mostra um código típico utilizado em nossos testes. Para a imagem em questão foram computadas as porcentagens de símbolos corrompidos versus a taxa de compressão em bits/pixel. As Tabelas I e II e o gráfico apresentado na Figuras 9 resumem os resultados obtidos. Se a porcentagem de símbolos corrompidos devido à compressão for inferior aos $38,41\%$ impostos pelo código corretor de erro utilizado, pode-se dizer que o código está aprovado. Caso contrário, o código está reprovado. Para efeito de avaliação visual, as Figuras 8 (a) e (b) mostram o CQR Code da Figura 6 codificado pelo codificador JPEG a uma taxa de $0,49$ bits/pixels e pelo codificador JPEG2000 a uma taxa $0,39$ bits/pixels, respectivamente. As Figuras 8 (c) e (d) apresentam detalhes ampliados das imagens das Figuras 8 (a) e (b), respectivamente.

No caso do JPEG, o CQR Code pôde ser corretamente decodificado para taxas de compressão a partir de $0,3839$ bits/pixel. Isso aconteceu porque nessa taxa a porcentagem de símbolos corrompidos é de $28,62\%$, o que está bem abaixo do limite de $38,41\%$ permitido pelo código corretor de erro. No caso do JPEG2000, o CQR Code pôde ser corretamente decodificado a partir de $0,1238$ bits/pixel. Além disso, verificou-se que o desempenho do JPEG2000 foi superior ao do JPEG, como era de se esperar. Observe no gráfico da Figura 9 que para taxas com valores abaixo de $1,2$ bits/pixel, para uma dada taxa, digamos $0,6$ bits/pixels, a porcentagem de símbolos corrompidos pelo JPEG é superior à porcentagem de símbolos corrompidos pelo JPEG2000.

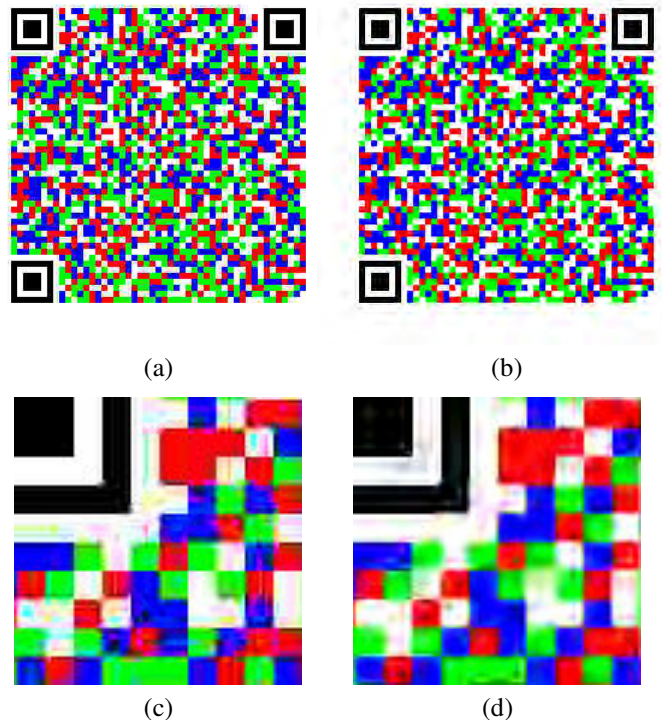
Fig. 7. CQR Code típico utilizado nos testes. Trata-se de uma imagem com dimensões 630×630 pixels no formato *bitmap* codificada a 8 bits/pixels.Fig. 8. CQR Code da Figura 7 codificado com: (a) JPEG a $0,49$ bits/pixels; (b) JPEG2000 a $0,39$ bits/pixels. As imagens mostradas em (c) e (d) são partes ampliadas de (a) e (b), respectivamente.

TABELA I

JPEG: SÍMBOLOS CORROMPIDOS (%) VERSUS *bits/pixel*.

bpp	Símbolos Corrompidos (%)	Status
1,9629	0,00%	Aprovado
1,4716	0,00%	Aprovado
1,1951	0,36%	Aprovado
1,0444	2,54%	Aprovado
0,8194	8,33%	Aprovado
0,5965	11,23%	Aprovado
0,4871	18,84%	Aprovado
0,4252	22,83%	Aprovado
0,3839	28,62%	Aprovado

TABELA II

JPEG2000: SÍMBOLOS CORROMPIDOS (%) VERSUS *bits/pixel*.

bpp	Símbolos Corrompidos (%)	Status
1,1971	0,00%	Aprovado
0,5986	0,00%	Aprovado
0,3922	1,09%	Aprovado
0,2477	6,52%	Aprovado
0,1651	6,88%	Aprovado
0,1445	35,87%	Aprovado
0,1238	36,96%	Aprovado
0,1032	42,39%	Reprovado

IV. CONCLUSÕES

O presente artigo apresentou brevemente os CQR Codes e avaliou o efeito dos algoritmos de compressão JPEG e JPEG2000 na decodificação dos códigos propostos. Os algoritmos de compressão foram aplicados a imagens ideais, ou seja, que não passaram pelo canal de impressão-aquisição. Dessa forma, foi avaliado o efeito isolado da distorção causada pelos algoritmos de compressão. Verificamos que a correta decodificação ocorreu para taxas acima de 0,3839 *bits/pixel* e 0,1238 *bits/pixel* no caso do JPEG do JPEG2000, respectivamente. Para trabalhos futuros pretende-se avaliar o efeito conjunto da distorção causada pelo canal impressão-aquisição-compressão.

REFERÊNCIAS

- [1] ISO/IEC 15420:20005 -Information technology – Automatic identification and data capture techniques – Bar code symbology specification, Dezembro 2009.
- [2] ISO/IEC 18004:2005 - Information technology - Automatic identification and data capture techniques - QR Code 2005 bar code symbology specification, Agosto 2005.
- [3] Melgar M. E. V.; Zaghetto A.; Macchiavello B.; Nascimento A. C. A., CQR Codes: Colored Quick-Response Codes in Proc. of the 2nd IEEE International Conference on Consumer Electronics - Berlin (IEEE 2012 ICCE-Berlin), páginas 321-325, Setembro 2012.
- [4] ISO/IEC 10918-1:1994 Information technology – Digital compression and coding of continuous-tone still images: Requirements and guidelines.
- [5] ISO/IEC 15444-1:2004 Information technology – JPEG 2000 image coding system: Core coding system.
- [6] D. S. Taubman and M. W. Marcellin, JPEG 2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice, Kluwer Academic, EUA, 2002.
- [7] Rafael C. Gonzales; Richard E. Woods, Digital Image Processing Second Edition, Edit. Prentice Hall, 2nd ed. 2002.
- [8] Sayook K, Introduction to Data Compression, Edit. EUA: Morgan Kaufmanl, 3rd ed. 2006.
- [9] Poularikas, A. D., The Transform and Applications Handbook. EUA: IEEE Press, 2nd ed, 2000.

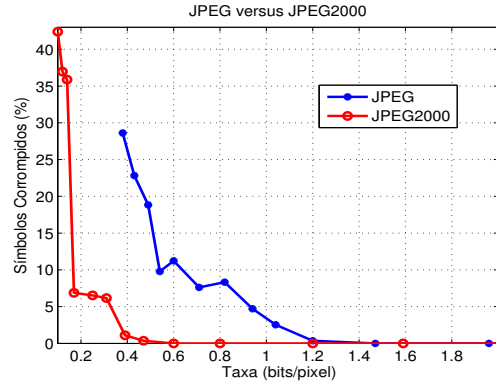


Fig. 9. Comparação entre o JPEG e o JPEG2000 na codificação do CQR Code.

- [10] Wu, H. R.; Rao, K. R, Digital Video Image Quality and Perceptual Coding, Edit. EUA: Willey, 3rd ed. 2001.
- [11] T. Han, C. Cheong, N. Lee, and E. Shin. Machine readable code image and method of encoding and decoding the same. U.S. Patent 7020327, 2000.
- [12] E. Sali and D. M. Lax, Color bar code system, US Patent 7210631, February 2006.
- [13] D. Parikh and G. Jancke. Localization and segmentation of a 2D high capacity color barcode. In Proceedings of the 2008 IEEE Workshop on Applications of Computer Vision. Washington, DC, USA, 2008. IEEE Computer Society.
- [14] High capacity color barcodes, <http://research.microsoft.com/enus/projects/hccb/>, Microsoft Research, May 2010.
- [15] R. E. Blahut, Algebraic Codes for Data Transmission, Edit. Cambridge University Press, 1st ed. 2003.