



Avaliação do Ganho de Qualidade de Vídeos Transmitidos com Codificação de Canal¹

Camila Freitas Sarmiento², Danilo Regis^{2,3}, Michael Taynnan Barros⁴

¹Parte do trabalho de conclusão de curso do primeiro autor.

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Brasil. e-mail: cf.sarmiento@hotmail.com

³COPELE/UFCG. (Universidade Federal de Campina Grande), Brasil. e-mail: regis.danilo@gmail.com

⁴Telecommunication Software and Systems Group, Waterford Institute of Technology, Irlanda. e-mail: michael.taob@gmail.com

RESUMO: Quando um vídeo é transmitido por um canal de transmissão, o ruído e a interferência inerentes a qualquer canal prático degradam o vídeo recebido. O objetivo deste trabalho, é a implementação de um CODEC (codificador e decodificador) de canal Reed Solomon. Para a realização dos experimentos, fez-se necessário o estudo com o vídeo *Foreman* em formatos *.txt* e *.yuv* para a avaliação qualitativa da degradação do sinal e confirmação do funcionamento do CODEC Reed Solomon após determinados testes comparativos. As avaliações foram realizadas por medidas da BER (*Bit Error Rate*) e as métricas objetivas PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) e SSIM (*Structural SIMilarity*). O código utilizado é o RS (255; 239). Tendo como base o projeto realizado por (SKLAR 2001). O canal utilizado neste trabalho foi o canal de transmissão *Rayleigh* com o esquema de modulação QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*) para inserir o ruído no sinal transmitido e observar até que nível o CODEC é útil para reduzir os erros da transmissão, facilitando assim, a troca de informações de forma segura e prática.

Palavras-chave: avaliação de desempenho, reed solomon, codificação de canal

1. INTRODUÇÃO

A Comunicação, desde os primórdios é um instrumento de integração, instrução, troca mútua e desenvolvimento entre pessoas. Geralmente o sistema de comunicações é entendido como transmissão e recepção de informação de um lugar para outro a alguma distância. Pode-se, também, incluir transmissão e recepção da informação no mesmo lugar, mas em instantes de tempo diferentes, o que significa armazenamento e recuperação de dados.

Durante a transmissão de uma mensagem, há uma série de fatores que degradam a informação transmitida, como o desvanecimento do sinal, o ruído inserido durante a passagem do sinal pelo canal ou a interferência durante a compressão. Para isso, existem algoritmos que auxiliam na detecção e correção de erros que visam diminuir a taxa de erro de símbolo e/ou de *bits* para que seja recebida de modo aceitável.

Na sequência deste artigo serão abordadas as avaliações dos ganhos obtidos de qualidade de vídeos transmitidos através de medidas BER (*Bit Error Rate*) e as métricas objetivas PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) e SSIM (*Structural SIMilarity*) com codificação de canal utilizando Reed Solomon para tornar o sistema de comunicações mais robusto, diminuindo os efeitos da degradação do vídeo transmitido por um canal ruidoso e aumentando a confiabilidade e a fidelidade do sinal recebido por ser capaz de detectar e corrigir os erros.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A qualidade do vídeo pode ser medida utilizando métricas de qualidade objetiva ou de forma subjetiva por meio de experimentos com observadores humanos. Os procedimentos utilizados em um experimento da qualidade subjetiva de vídeo são descritos na recomendação BT.500 do ITU-T e a BT.500-11 do ITU-R para serviços de TV e a P.910 da ITU-T para aplicações multimídia (ITU-T 1999).

As medidas objetivas como SNR (*Signal to Noise Ratio*), PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) ou MSE (*Mean Squared Error*) podem ser feitas em tempo real, comparando a imagem sob teste com a imagem original. Essas medidas mostram uma variação em relação à qualidade segundo observadores humanos, por consistirem de uma comparação matemática entre o sinal original e o sinal processado.



Desta forma, um quadro deslocado de um *pixel* tem um PSNR baixo, contudo um observador não nota a diferença entre a imagem deslocada e a original.

2.1 Medidas objetivas

As medidas de avaliação objetiva são determinadas de forma mais rápida e com menor custo que as subjetivas. Elas mostram degradações ainda imperceptíveis aos olhos humanos, e são fundamentais na organização de padrões.

Para avaliação dos sistemas, é comum o uso do PSNR, ou do WSNR (*Weighted Signal to Noise Ratio*). A PSNR é definida para vídeos codificados com 8 bits ($2^8 = 256$), como

$$\text{PSNR} = 10 \log [255^2 / \text{MSE}] \quad (1)$$

O MSE é dado pelo valor médio dos erros quadráticos entre os *pixels* do quadro original e do quadro decodificado. O MSE é dado pela fórmula

$$\text{MSE} = \frac{1}{P} \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{x,y} (f(x, y, i) - h(x, y, i))^2 \quad (2)$$

sendo P o número total de *pixels* do quadro, x e y os índices das linhas e colunas, respectivamente, K o número de quadros, f e h representam o quadro original e o modificado, respectivamente.

2.2 Algoritmo de Reed Solomon

Em 1960 Irving Reed e Gus Solomon descreveram um novo modelo para codificação chamado Reed Solomon. O código Reed Solomon é considerado um código não binário pela capacidade de localizar e corrigir o valor do erro diferentemente dos códigos binários que somente localizam o erro (ABRANTES 2003).

Os códigos Reed Solomon utilizam o método de FEC (*Forward Correction Error*) que são capazes de agir rapidamente no sinal evitando as sucessivas repetições de transmissão do sinal, como acontece com os códigos que utilizam o método ARQ (*Automatic Repeat Request*). Assim, tornaram-se muito úteis em diversas aplicações e atualmente são utilizados no armazenamento e transmissão de dados.

Dentre as várias aplicações, podem ser citadas a correção de erros em CD's (*Compact Disks*), DVD's (*Digital Video Disks*), *modems* e nos três padrões de televisão digital implantados atualmente, o americano (ATSC - *Advanced Television System Committee*), o europeu (DVB - *Digital Video Broadcastin*) e o japonês (ISDB-T - *Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*).

Neste trabalho, é utilizada a norma G.709, em que o alfabeto é composto por 256 símbolos, que podem ter representação binária, por exemplo, em que cada símbolo é composto por 8 *bits* como é o caso da tabela ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), o que resulta em $n = 255$. Em outras palavras, o código RS ($n = 255, k = 239$) utiliza 239 *bytes* a cada conjunto de 255 *bytes* para transmitir a informação original. Os demais são usados para enviar *bits* de paridade para o receptor, auxiliando-o na correção de erros de transmissão.

2.3 Campos de Galois

O algoritmo de Reed Solomon utiliza o conceito de corpos finitos, também conhecidos como Campos de Galois, que terá uma relevante importância na compreensão dos princípios de codificação e decodificação Reed Solomon.

Para gerar um campo finito é necessário utilizar uma classe especial dos polinômios, denominada polinômios primitivos. Portando, ele pode ser visto com os seguintes elementos do campo finito GF (2^m) (MOREIRA&FARRELL, 2006)

$$\text{GF}(2^m) = \{ 0, \alpha^0, \alpha^1, \alpha^2, \dots, \alpha^{2^m-2} \}. \quad (3)$$



Considerando o caso de $m = 3$, em que o campo finito é denotado por $GF(2^3)$ é observado, na Tabela todos os α^i , elementos. Sendo um elemento nulo e os demais não nulos.

Tabela 1 - Elementos de um campo $GF(2^3)$.

	X^0	X^1	X^2
0	0	0	0
α^0	1	0	0
α^1	0	1	0
α^2	0	0	1
α^3	1	1	0
α^4	0	1	1
α^5	1	1	1
α^6	1	0	1
α^7	1	0	0

Notadamente, o elemento α^7 é igual ao α^0 . Comprovando que 2^{m-2} é o expoente máximo de α .

2.4 O codificador Reed Solomon

O código Reed Solomon é um código cíclico, isto é, com o deslocamento de qualquer uma de suas palavras-código pode resultar em outra palavra-código também pertencente ao código. O número de *bits* por símbolo é designado por m , que pode ser qualquer inteiro positivo maior que 2, normalmente 8 para aplicações de comunicações de dados. Outra variável importante em uma sequência é a capacidade de correção do código, representada por t . Na equação apresentada em (SKLAR 2001), pode ser visualizada algumas equivalências utilizadas na construção de códigos Reed Solomon.

$$n = 2^m - 1 \quad (4)$$

$$2t = n - k \quad (5)$$

O processo de correção consiste em inserir *bits* redundantes ao conteúdo da mensagem original. Embora isso aumente os requisitos da taxa de transmissão e de ocupação de banda, os *bits* introduzidos previnem interferências que possam afetar a qualidade do sinal recebido.

A proteção para o sinal, também, é realizada com técnicas de campos finitos e usualmente são utilizadas as potências $\alpha, \alpha^2, \dots, \alpha^{2t}$. A Equação 6 segundo (SKALAR), demonstra a obtenção de um polinômio gerador para o código RS (7, 3), que possui 4 símbolos de paridade, logo seu polinômio gerador terá 4 raízes.

$$\begin{aligned}
 g(X) &= (X - \alpha) (X - \alpha^2) (X - \alpha^3) (X - \alpha^4) \\
 g(X) &= (X^2 - (\alpha + \alpha^2) X + \alpha^3) (X^2 - (\alpha^3 + \alpha^4) X + \alpha^7) \\
 &\dots \\
 g(X) &= (X^2 - \alpha^4 X + \alpha^3) (X^2 - (\alpha^6 X + \alpha^0)) \\
 g(X) &= X^4 - (\alpha^4 + \alpha^6) X^3 + (\alpha^3 + \alpha^{10} + \alpha^0) X^2 - (\alpha^4 + \alpha^9) X + \alpha^3 \\
 g(X) &= X^4 - \alpha^3 X^3 + \alpha^0 X^2 - \alpha^1 X + \alpha^3
 \end{aligned} \quad (6)$$

Com a soma do polinômio de mensagem deslocado 2^t a direita e o polinômio de paridade, pode-se obter a sequência completa da palavra-código a ser transmitida:

$$U(X) = \alpha^0 + \alpha^2X + \alpha^4X^2 + \alpha^6X^3 + \alpha^1X^4 + \alpha^3X^5 + \alpha^5X^6 \quad (7)$$

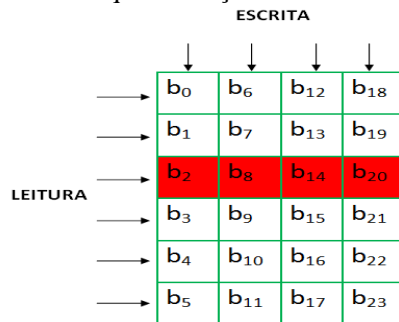
2.5 Geração de bits adicionais

Uma informação que se queira transmitir, pode ser composta por um número qualquer de *bits*. Por outro lado, no processo de modulação um número definido de *bits* é associado a um símbolo para que seja transmitido. Desta forma os dados devem ser formatados de modo que formem um múltiplo inteiro do bloco utilizado na etapa de modulação. Nesta etapa, são inseridos alguns *bits* de preenchimento para que as matrizes da mensagem a serem transmitidos formem um número inteiro de blocos.

2.6 Entrelaçamento de Blocos

O objetivo do entrelaçamento é redistribuir os *bits* a serem transmitidos, para que os possíveis erros ocasionados durante a transmissão sejam distribuídos (FERREIRA 2008), ou seja, quando ocorre a perda de algum bloco (a exemplo do bloco destacado na Figura 1) durante a transmissão, há uma possibilidade de correção dos dados por meio do Reed Solomon. Pois, pode-se dizer que o erro foi distribuído pelo fato dos bits não estarem em sequência. Essa forma de entrelaçamento foi, também, implementada em (MORELOS-ZARAGOZA, 2006)

Figura 1 - Esquemática de um bloco de transposição.



2.7 Decodificador Reed Solomon

Os procedimentos algébricos de decodificação Reed Solomon podem corrigir até $(n - k) / 2$, ou seja, t erros dos n símbolos obtidos.

Neste exemplo, o padrão de erro $e(X)$, considerando um RS (7,3) será descrito em forma polinomial da seguinte forma (SKLAR 1997):

$$e(x) = \sum_{n=0}^6 e_n x^n \quad (8)$$

2.8 Cálculo da síndrome

Na síndrome (resultado da verificação de paridade), o cálculo de paridade do vetor código recebido terá que resultar em zero, caso contrário, indica que houve erro na transmissão (BARBOSA,2010). Qualquer erro implica em um resultado diferente de zero, em que o cálculo de um símbolo da síndrome pode ser descrito pela Equação 9, cujo i inicia-se com o valor de 1 seguindo até $n - k$.

$$s_{i=r(x)}_{x=\alpha^i} = r(\alpha^i) \quad (9)$$



2.8.1 Localização dos erros

O primeiro passo para a localização do erro é definir uma variável para tal propósito, como $\beta_l = \alpha^{jl}$. Posteriormente, obtém-se os 2^l símbolos da síndrome substituindo α^i no polinômio $e(X)$, como mostra a Equação 10:

$$\begin{aligned} S_1 &= e_{j1}\beta_1 + e_{j2}\beta_2 + \dots + e_{jv}\beta_v \\ S_2 = e(\alpha^2) &= e_{j1}\beta_1^2 + e_{j2}\beta_2^2 + \dots + e_{jv}\beta_v^2 \\ &\dots \\ S_{2^l} = e(\alpha^{2^l}) &= e_{j1}\beta_1^{2^l} + e_{j2}\beta_2^{2^l} + \dots + e_{jv}\beta_v^{2^l} \end{aligned} \quad (10)$$

Após o passo de detecção de erros pela síndrome, começa a etapa da resolução do polinômio que localizará erros, $\sigma(X)$, dada pela Equação 11:

$$\sigma(X) = \alpha^0 + \alpha^6X + \alpha^0X^2 \quad (11)$$

em que, para conhecer as localizações dos erros é necessário encontrar as raízes do polinômio que podem ser um ou mais elementos do campo. E, para encontrar essas raízes, é necessário avaliar o polinômio $\sigma(X)$ para todos os elementos do campo, como visualizado pelas equações a seguir:

$$\sigma(\alpha^0) = \alpha^0 + \alpha^6 + \alpha^0 = \alpha^6 \neq 0 \quad (12)$$

$$\sigma(\alpha^1) = \alpha^0 + \alpha^7 + \alpha^2 = \alpha^2 \neq 0 \quad (13)$$

$$\sigma(\alpha^2) = \alpha^0 + \alpha^8 + \alpha^4 = \alpha^6 \neq 0 \quad (14)$$

$$\sigma(\alpha^3) = \alpha^0 + \alpha^9 + \alpha^6 = 0 \rightarrow \text{ERRO} \quad (15)$$

$$\sigma(\alpha^4) = \alpha^0 + \alpha^{10} + \alpha^8 = 0 \rightarrow \text{ERRO} \quad (16)$$

$$\sigma(\alpha^5) = \alpha^0 + \alpha^{11} + \alpha^{10} = \alpha^2 \neq 0 \quad (17)$$

$$\sigma(\alpha^6) = \alpha^0 + \alpha^{12} + \alpha^{12} = \alpha^0 \neq 0 \quad (18)$$

As raízes de $\sigma(X)$ são $1/\beta_1; 1/\beta_2; \dots; 1/\beta_v$. Portanto, o inverso das raízes de $\sigma(X)$ localizam o erro. Pela Equação 15 pode ser provado que as raízes do polinômio $\sigma(X)$ são os elementos $\alpha^3 = 1/\alpha^4 = \beta_1$ e $\alpha^4 = 1/\alpha^3 = \beta_2$. Então, podemos dizer que existem erros nas localizações α^3 e α^4 .

2.8.2 Valores dos erros

Para a determinação dos valores dos erros α^3 e α^4 quaisquer equações de Síndrome podem ser usadas. A partir da Equação 11 obtendo as seguintes equações para as síndromes S_1 e S_2 :

$$S_1 = e(x) = e_1\beta_1 + e_2\beta^2 \quad (19)$$

$$S_2 = e(x^2) = e_1\beta_1^2 + e_2\beta_2^2 \quad (20)$$

Na forma matricial, tem-se:

$$\begin{bmatrix} \beta_1 & \beta_2 \\ \beta_1^2 & \beta_2^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} \quad (21)$$



$$\begin{bmatrix} \alpha^3 & \alpha^4 \\ \alpha^6 & \alpha^1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha^3 \\ \alpha^5 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Para encontrar os valores de erros, e_1 e e_2 , pode-se utilizar a mesma técnica de inversão de matrizes para obter os resultados, como apresentado na Equação 22:

$$\begin{bmatrix} \alpha^3 & \alpha^4 \\ \alpha^6 & \alpha^1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e_1 \\ e_2 \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$\begin{bmatrix} \alpha^2 & \alpha^5 \\ \alpha^0 & \alpha^4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \alpha^3 \\ \alpha^5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \alpha^2 \\ \alpha^5 \end{bmatrix}$$

O polinômio de erro $\hat{e}(X)$ representado pela equação abaixo é estimado após as localizações e os valores de erros encontrados.

$$\hat{e}(X) = e_1 X^{J1} + e_2 X^{J2} \quad (24)$$

$$\hat{e}(X) = \alpha^2 X^3 + \alpha^5 X^4 \quad (25)$$

2.8.3 Confirmação da decodificação

Com a comparação da palavra-código original e a palavra-código recebida, é possível verificar a idoneidade do código. Teoricamente, pode-se comparar a Equação 7 com a extração de $\hat{e}(X)$ da Equação 25 que teremos:

$$\hat{U}(X) = \alpha^0 + \alpha^2 X + \alpha^4 X^2 + (\alpha^0 + \alpha^2) X^3 + (\alpha^0 + \alpha^5) X^4 + \alpha^3 X^5 + \alpha^5 X^6$$

$$U(X) = \alpha^0 + \alpha^2 X + \alpha^4 X^2 + \alpha^6 X^3 + \alpha^1 X^4 + \alpha^3 X^5 + \alpha^5 X^6$$

Portanto, a partir desta comparação, podemos constatar a igualdade entre a palavra-código transmitida ($U(X)$) e a palavra-código recebida ($\hat{U}(X)$) apesar dos erros inseridos em dois símbolos da mensagem. Concluindo que a decodificação foi bem sucedida.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A taxa de bits de um vídeo é definida com o número de *bits* processados por unidade de tempo. Quanto maior a qualidade de digitalização (maior o número de amostras e, portanto, maior a frequência de amostragem), maior a quantidade de memória necessária para armazenar, ou largura de faixa para transmitir, o sinal.

Nos sistemas de comunicações digitais, a informação é representada por uma sequência de *bits* em formato binário que é modulada em forma de onda analógica e transmitida pelo canal de comunicação. O canal de comunicações é, no entanto, responsável pela introdução de ruído e interferências que corrompem a informação.

Para evitar que o ruído degrade o sinal, fez-se necessário utilizar a codificação de canal que é um processo de inserção de redundâncias antes da transmissão da mensagem, para viabilizar uma menor taxa erro entre o sinal que foi transmitido e o sinal que foi recebido, no qual, será o responsável por manter a taxa de erro dentro de um limite aceitável pelo sistema ou usuário em um sistema digital.

Na avaliação objetiva do vídeo em questão foi utilizado métricas "*Full Reference*", ou seja, houve a possibilidade de comparação de ambos os vídeos, original e processado. O esquema de avaliação foi realização por comparação pela PSNR e SSIM, usando a ferramenta MSU *Vídeo Quality Measurement* na versão 2.7.3.

O vídeo foi avaliado com e sem a utilização da codificação de canal Reed Solomon, transmitido canal de comunicações e posterior decodificação.

A partir dos resultados encontrados foram gerados gráficos evidenciando as comparações entre os vídeos transmitidos sem codificação e com codificação Reed Solomon, utilizando as medidas da BER (*Bit*



Error Rate), PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*) e SSIM (*Structural SIMilarity*) do vídeo transmitido e gerado um quadro comparativo para averiguar até que ponto o Reed Solomon é eficiente.

A primeira métrica avaliada foi a BER para o vídeo transmitido sem codificação e com codificação Reed Solomon que representa o nível de ruído imposto ao sinal representado pela Figura 2. Um receptor sob condições adversas de interferência pode não ser capaz de corrigir corretamente os blocos recebidos e essa incapacidade de correção faz com que o código não seja eficaz em alguns momentos. Porém, estamos analisando apenas os testes para o uso de um codificador de canal isolado, sem a utilização de codificador de fonte ou outro *codec* para a proteção do sinal.

Figura 2 - Avaliação da BER para o vídeo transmitido.

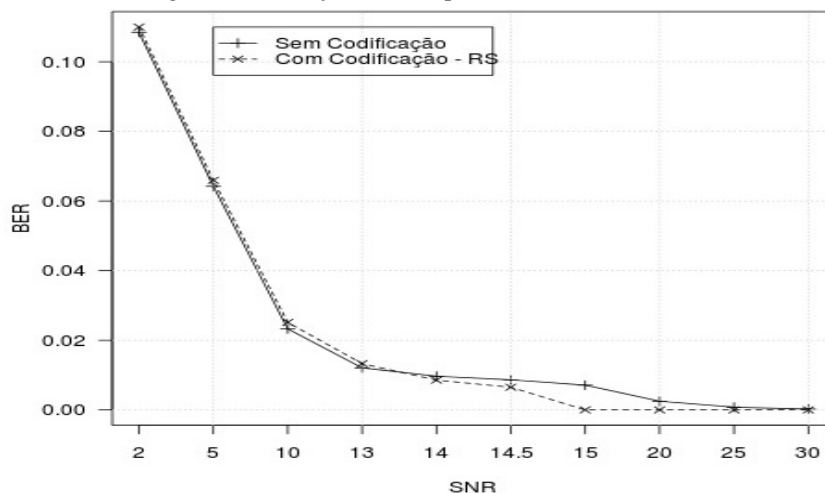


Figura 3 - Avaliação da qualidade objetiva de vídeos pela PSNR.

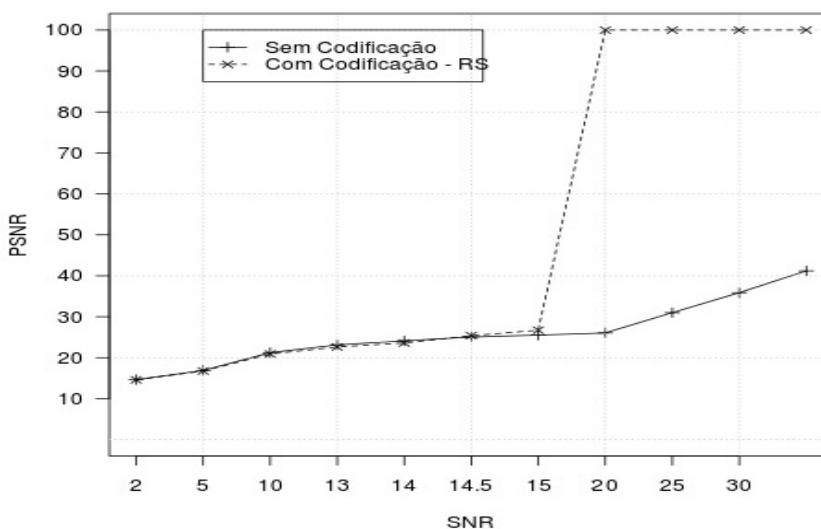
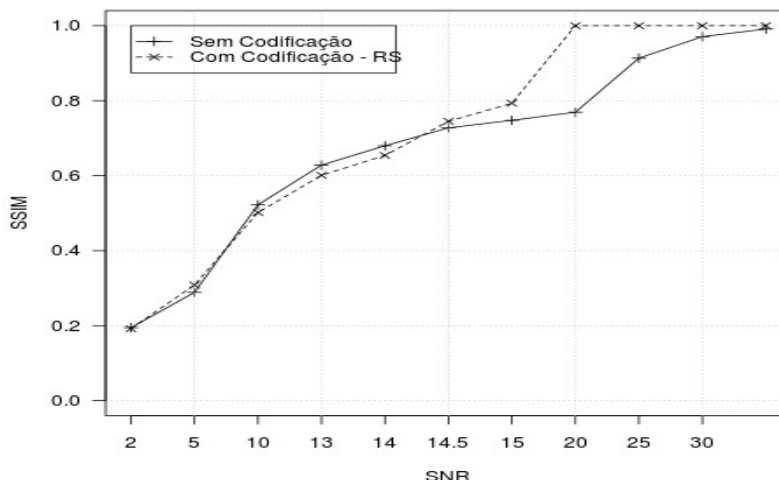


Figura 4 - Avaliação da qualidade objetiva de vídeos pela SSIM.



4. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou a implementação do codificador e decodificador Reed Solomon utilizando RS (255; 239) propondo a obtenção do ganho da qualidade dos vídeos transmitidos submetidos à taxas de ruído em 2dB, 5dB, 10dB, 13dB, 14dB, 14,5dB, 15dB, 20dB, 25dB, 30dB. A linguagem utilizada foi Matlab para a construção do CODEC (codificador/decodificador) e a linguagem C para o canal.

Neste trabalho, pode-se concluir que o Reed Solomon, apesar de ser uma técnica estudada por um longo período, continua sendo uma das mais utilizadas na atualidade por se tratar de um código corretor de erros bastante robusto, ou seja, mesmo atuando sozinho na prevenção e correção de erros em vídeos transmitidos, ainda há um considerável ganho na transmissão em questão.

Pela análise dos gráficos obtidos e dos vídeos decodificados através de testes objetivos e subjetivos, observa-se que a codificação de canal Reed Solomon contribui na recuperação total ou parcial do vídeo transmitido dependendo da taxa de erros inseridos pelo canal.

No conjunto de simulações, os testes do vídeo apresentaram uma recuperação total do vídeo, ou seja, foi retirado todas as distorções inseridas no vídeo durante a transmissão que houvesse taxas de erro a partir de 15dB. Salientando que todos os gráficos foram gerados com o código de correção de erro "puro", não envolvendo nenhum outro tipo de codificador que trabalhasse em conjunto com o Reed Solomon - uma sugestão de otimização - como o codificador de canal convolucional (que poderíamos chamar de codificador híbrido) ou o codificador de fonte que também protegeriam o sinal.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, S. A. **Notas históricas da codificação para controle de erros**. 2003.
- BARBOSA, T. C. **Implementação em FPGA de uma Arquitetura Reed-Solomon para Uso em Comunicações Ópticas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá, 2010
- FERREIRA, A. C. **Modulação codificada sobre múltiplas portadoras em canais com múltiplos percursos variantes no tempo**. Dissertação (Mestrado). Instituto Nacional de Telecomunicações, Santa Rita do Sapucaí, 2008.
- MOREIRA, J. C.; FARRELL, P. G. *Essentials of error-control coding*. John Wiley Sons, Ltda, 2006.
- MORELOS-ZARAGOZA, R. H. *The Art of Error Correcting Coding*. John Wiley and Sons, 2006.
- SKLAR, B. *Digital communications: Fundamentals and Applications*: Prentice-Hall, 2001.