

## **Aplicação de Código de Corretor de Erro em Sinais Biomédicos**

Yves K. G. Martins<sup>1</sup>, Thiago R. M. Carvalho<sup>2</sup>

**RESUMO:** Sinais biomédicos são essenciais para o desenvolvimento de pesquisas e processos de diagnóstico. Devido às suas utilidades, o compartilhamento destes sinais através de redes internas, torna-se uma preocupação, já que o sinal estará sujeito a interferência geradas pelo meio físico. Este trabalho se propõe a simular a transmissão destes sinais através de um canal de comunicação, utilizando o código de Hamming, com o objetivo de obter informações sobre o desempenho do canal utilizado e avaliar o erro médio quadrático entre o sinal enviado e recebido. A simulação foi realizada utilizando sinais eletromiográficos e as operações sobre o sinal foram implementadas por meio do uso do software Matlab. As amostras passarão por um pré-processamento, quantização e codificação. A transmissão foi simulada utilizando modulação em fase através de um canal com ruído branco gaussiano aditivo com diferentes valores de densidade de potência espectral sendo aplicadas a onda de transporte. No receptor foi realizada a demodulação e decodificação do sinal, identificando os erros que foram inseridos e corrigindo-os. Os resultados da simulação mostram em média uma redução na taxa de erro de bit. Também é possível notar que após a reconstrução dos sinais transmitidos existe um ganho de qualidade dos sinais devido a aplicação do código corretor de erro.

**Palavras-chave:** Código de Hamming, Modulação em fase, Eletromiografia, Razão sinal-ruído.

### **1 INTRODUÇÃO**

A gestão e compartilhamento de

informações junto aos avanços na tecnologia que permitem a aquisição de sinais biomédicos, tem sido um desafio a se pensar. Esses sinais muitas vezes possuem informações críticas sobre o estado do paciente, podendo haver a necessidade do envio deste sinal para monitoramento ou análise.

Qualquer tipo de informação ao ser transmitida por um canal de comunicação está sujeito a sofrer perdas, sendo ela causada pelo processo de conversão analógico-digital ou pela interferência do ruído presente no meio físico, que pode ser responsável por distorcer a informação original. Levando isso em conta, uma solução que emerge para esse problema é a utilização de códigos corretores de erro. Por possuírem a capacidade de identificar e corrigir os erros através da inserção de redundância na informação enviada, fazer o uso destes códigos pode ser uma ótima solução para este tipo de problema.

Para a simulação da transmissão do sinal através do canal de comunicação, serão utilizadas amostras de um sinal de eletromiografia (EMG), que é sinal gerado a partir da ativação das fibras musculares e comumente utilizado para avaliação de lesões e estudo sobre fadiga muscular. Também será implementado via software Matlab a modulação da informação que será transmitida, como forma de simular o processo de transmissão de informação.

O objetivo deste trabalho é observar o efeito da transmissão dos sinais EMG pelo canal ruidoso, observando a razão sinal-ruído entre o sinal enviado e o erro quadrático médio dos sinais recebidos, além disso, realizar a avaliação de desempenho do canal de

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia da Computação. E-mail: yves.martins@iesb.edu.br

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia de Sistemas Eletrônicos e Automação, Universidade de Brasília. E-mail: thiago.raposo.iesb.edu.br

comunicação em relação à taxa de erro de bit em função razão sinal-ruído.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A ideia deste trabalho surge ao observar a metodologia empregada na aquisição de sinais biomédicos. Seguindo extremo rigor, essas técnicas têm com o objetivo de mitigar a quantidade de ruído introduzido no sinal durante a aquisição, obtendo-se um sinal com uma melhor qualidade. Com aquisição concluída, nota-se que caso seja necessário a transmissão desse sinal através do meio físico, a utilização de técnicas para reduzir ruído torna-se uma preocupação novamente.

Vários desafios podem surgir quando se faz transmissão de um sinal através de um canal de comunicação. Em seu livro, MOON (2005) descreve alguns desses problemas que podem surgir. Alguns destes exemplos incluem sinais corrompidos devido a contaminação do ruído, problemas de sincronização ou atraso, problemas devido a propagação que envolvem atenuação do sinal enviado e até mesmo interferência de outros canais.

Para simular alguns dos efeitos que podem ocorrer sobre a informação durante sua transmissão, será implementado nesta simulação um canal ruidoso que adiciona um ruído branco gaussiano (AWGN) sobre esse sinal.

### 2.1 Eletromiografia

A escolha deliberada de transmitir esse tipo de sinal biomédico foi feita levando em conta suas múltiplas utilidades, assim como várias de suas características. O sinal eletromiográfico (EMG) é um sinal analógico que tem sua origem a partir da ativação das fibras musculares. O processo de instrumentação, para obtenção do sinal, deve seguir uma série de protocolos, como descrito por DE LUCA (2003), e, MARCHETTI e DUARTE (2006), tendo como principal função, reduzir a

quantidade de ruído presente no sinal obtido.

O processo de aquisição do sinal EMG geralmente é feito por um eletromiógrafo junto a um computador. Esse dispositivo realiza todas as operações necessárias para a transformação do sinal analógico para digital. E vão desde a detecção do sinal utilizando eletrodos, o uso de amplificadores para inserir um ganho no sinal, a delimitação da faixa de frequência utilizando filtros e processo de conversão analógica-digital utilizando um conversor AD.

Um outro ponto importante é o uso adequado da frequência de amostragem que deve ser feito seguindo o teorema de Nyquist, onde a frequência de amostragem do sinal deve ser duas vezes maior que a frequência máxima do sinal. Como sinais de EMG possuem espectros de frequência entre 10 e 500 Hz, é recomendado o uso de uma frequência de amostragem superior a 1000 Hz para evitar a perda de informação e não gerar sobreposição espectral no domínio da frequência. Além disso, em alguns procedimentos também é necessário realizar a quantização do sinal. Segundo KONRAD (2005) é recomendado o uso de 12 bits de resolução por amostra.

O sinal em si, pode ser usado em diversas áreas de pesquisa, assim como pode ser submetido a uma diversidade de métodos. Por exemplo, a sua utilização para avaliar fadiga muscular utilizando EMG de superfície realizada por CIFREK (2009), e em estudos mais recentes, onde foi integrado a sinais de eletrocardiograma para fazer a detecção de estresse, como foi demonstrado por POURMOHAMMADI e MALEKI (2020).

### 2.2 Sistema de Comunicação Digital

Segundo MOON (2005), um sistema de comunicação digital incorpora as operações que podem ser realizadas sobre a informação. Tratando-as quase como uma entidade física. Essas operações se iniciam quando se deseja transmitir uma informação através do canal. Muitas vezes sistemas de comunicação

assumem que a informação que será transmitida já está representada na forma de bits. Porém, caso este não seja o caso, uma etapa de pré-processamento pode se tornar necessária.

Tendo a informação representada na forma de bits, o processo de transmissão inclui várias operações. São elas, codificação de canal, que envolve a aplicação do código corretor de erro e a modulação que seria um envelopamento da informação binária dentro de um sinal de transporte que levará as informações através do canal. Para o recebimento, temos as operações de demodulação que envolvem o processo de detecção e decisão para recuperar os bits, a decodificação, que é responsável por fazer o uso dos bits de redundância adicionados para corrigir possíveis erros inseridos. Finalizando com a reconstrução do sinal.

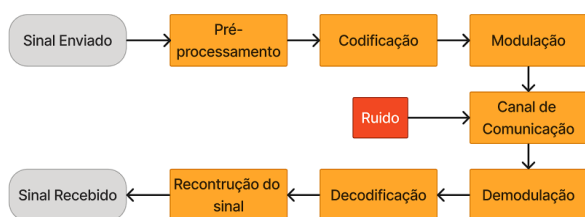


Figura 1 - Modelo de Sistema de Comunicação Digital implementado. Fonte: Elaborado pelo autor

### 2.2.1 Codificação de Canal

A codificação de canal consiste na aplicação do código corretor de erro, como forma de inserir bits de redundância a fim de identificar e corrigir possíveis erros que podem ter sido inseridos. Os códigos corretores de erro se dividem em duas principais categorias, os códigos de blocos lineares e os códigos convolucionais. Segundo LATHI (2010) códigos de blocos lineares são códigos em que uma determinada sequência de dados de tamanho  $k$  é mapeada a uma palavra código de tamanho  $n$ , onde  $(n > k)$ . E toda sequência única de  $k$  bits resultara em uma única palavra código  $n$  bits. Já os códigos convolucionais, são códigos que além de dependerem dos bits de

dados que estão sendo enviados, também vão depender dos bits enviados anteriormente.

Os códigos de Hamming são uma classe código de blocos lineares, onde, de acordo com MOON (2005), dependendo da quantidade bits de redundância  $m$  que serão utilizados, existirá um código de Hamming  $(n, k)$  em que  $n = 2^m - 1$ , será o tamanho da palavra código e  $k = 2^m - m - 1$  são a quantidade de bits de dados que serão codificados. Por Exemplo, se tivermos  $m = 3$ , teremos um código de Hamming  $(7, 4)$  que recebe 4 bits de dados e transforma em uma palavra código com 7 bits.

Códigos de Hamming são melhor apresentados em função da sua matriz de checagem de paridade, que consiste em uma matriz com dimensões  $(n - k) \times n$ , onde, cada uma de suas colunas, será a representação em binário dos números de 1 até  $2^m - 1$  em uma determinada ordem. Para o código de Hamming  $(7, 4)$  se tem a seguinte matriz de checagem de paridade

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

A partir da matriz de checagem de paridade é possível obter a matriz geradora. Esse processo é feito reordenando a matriz  $H$  de forma que as 3 primeiras colunas sejam uma matriz identidade  $3 \times 3$  e considerando o restante como uma matriz de paridade  $P$ . Resultando em  $H = [I_{3 \times 3} \ P_{3 \times 4}]$ , com isso, a matriz geradora será a transposição da matriz de paridade junto de uma matriz identidade  $G = [P'_{4 \times 3} \ I_{4 \times 4}]$ .

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Utilizando esse método, a codificação é feita de forma sistemática, de forma que, os bits de dados serão visíveis na palavra código gerada. O processo de codificação é realizado através

do produto modulo 2 entre os bits de dados e a matriz geradora. A operação pode ser descrita pela Eq.1 a seguir:

$$c = \text{mod}_2(mG) \quad (1)$$

O código de Hamming possui a capacidade de corrigir até 1 erro de bit, sendo a identificação do erro feita pelo cálculo da síndrome. A síndrome  $s$  pode ser calculada através da Eq.2, sendo  $r$  a palavra-código recebida. O resultado será um vetor de zeros caso não tenha ocorrido nenhuma troca de bit, caso apenas 1 erro tenha ocorrido, o resultado será um vetor com 3 bits correspondendo a uma das colunas da matriz  $H$ , indicando em que posição ocorreu o erro de bit. Caso 2 erros tenham ocorrido, ainda é possível identificar, porém não corrigir, verificando se após a correção do bit, a palavra código é válida ou não. Para outros casos, a capacidade de correção ou identificação se perde totalmente.

$$s = \text{mod}_2(rH') \quad (2)$$

### 2.2.2 Ruído Branco Gaussiano Aditivo

De acordo com PROAKIS e SALAH (2008), o ruído branco gaussiano aditivo (AWGN) é um modelo de canal no qual o único objetivo é adicionar um ruído branco gaussiano ao sinal transmitido. É um modelo de canal, comumente utilizado para analisar técnicas de modulação. Esse canal pode ser descrito matematicamente pela expressão

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (3)$$

onde  $s(t)$  é o sinal transmitido,  $r(t)$  é o sinal recebido e  $n(t)$  é um ruído branco gaussiano com média igual a zero e densidade de potência espectral  $N_0/2$ .

### 2.2.3 Razão Sinal-Ruído

Razão sinal-ruído ou SNR (signal to noise ratio), é uma medida que descreve a relação entre a potência do sinal enviado e a potência do ruído. Onde, quanto maior o valor de SNR maior a qualidade do sinal em relação ao ruído.

$$SNR = \frac{P_s}{P_n} \quad (4)$$

### 2.2.4 Modulação Digital

Segundo LATHI (2010) o processo de modulação é realizado pois muitas vezes a informação que se deseja transferir não possui largura de banda suficiente. Como, diversos fatores inerentes do canal podem prejudicar a informação, incluindo ruído, atenuação, distorção e interferência. Gerar um sinal que represente essa informação de maneira adequada enquanto considera as características do canal é algo extremamente desejável.

A modulação BPSK (Binary Phase Shift Keying) é uma técnica de modulação binária onde um bit é representado por uma onda senoidal com um deslocamento em fase de  $180^\circ$  a depender do bit. O mapeamento pode ser realizado seguindo a formula a seguir:

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) = -\sin(2\pi f_c t), & \text{se bit} = 0 \\ s_2(t) = +\sin(2\pi f_c t), & \text{se bit} = 1 \end{cases} \quad (5)$$

O sinal modulado deve ser capaz de levar a informação através do canal ruidoso permitindo sua recuperação posteriormente. Esse processo de recuperação, muitas vezes chamada de demodulação do sinal, pode ser realizado calculando o produto interno entre o sinal recebido  $r(t)$  e a uma das formas de onda usadas na geração do sinal. Sendo assim, temos:

$$\langle r(t), s_1(t) \rangle = \int_{iT_b}^{(i+1)T_b} r(t)s_1(t) dt \quad (6)$$

Onde  $i$  representa o  $n$ -ésimo símbolo e  $T_b$  o período correspondente ao envio de um

símbolo. Consequentemente, se o resultado do produto interno for positivo, isso significa que o bit enviado ao longo desse período corresponde a forma de onda  $s_1$ , representando 0. Inversamente, se o resultado for negativo, o bit enviado corresponde a forma de onda  $s_2$ , representando 1.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia adota de neste trabalho consiste em simular a transmissão do sinal EMG através de um sistema de comunicação digital implementado via software MATLAB. O sinal utilizado como base para a simulação da transmissão, consiste em um sinal EMG de superfície obtido a partir da execução de um exercício isométrico realizado pelo bíceps com duração de 90 segundos. O sinal EMG foi dividido em segmentos menores levando em consideração a frequência de amostragem do sinal, que foi de 2048 amostras por segundo. Resultando em 90 sinais com 1 segundo de duração. Cada sinal contendo 2048 amostras.

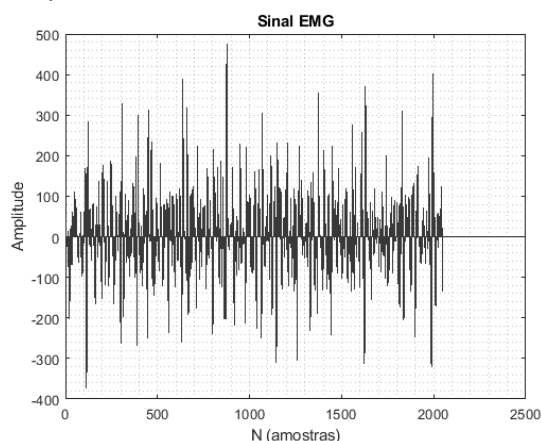


Figura 2 – Sinal EMG com duração de 1 segundo. Fonte: Gerado pelo autor via MATLAB.

Os sinais gerados precisaram passar por uma etapa de pré-processamento. Primeiramente os sinais foram normalizados utilizando o valor de pico máximo do sinal como referência.

Em seguida, foram submetidos a quantização utilizando uma resolução de 12 bits, ou seja, a amplitude dos sinais foi dividida em  $2^{12} = 4096$  intervalos. Esse processo foi

realizado, através do produto de cada um dos sinais normalizados por 2048, e depois o arredondamento dos valores de amplitude para o número inteiro mais próximo. Finalizando essa etapa, os sinais foram deslocados para cima, somando 2048 a cada uma das amostras para que todos os valores de amplitude sejam positivos. Terminando com sua conversão de decimais para binários com 12 bits.

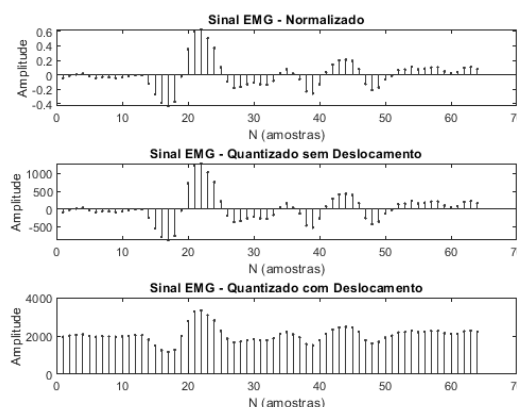


Figura 3 – Trecho com 64 amostras do Sinal de EMG normalizado e quantizado. Fonte: Gerado pelo autor via MATLAB

Para obter informações sobre a eficiência da taxa de correção do código, duas cópias de cada sinal foram transmitidas, uma fazendo o uso do código de Hamming (7,4), gerando as palavras códigos, e a outra apenas os bits de dados.

O processo de codificação da cópia que enviada utilizando o código de Hamming, foi realizado dividindo cada amostra em 3 partes, cada uma contendo 4 bits de dados.

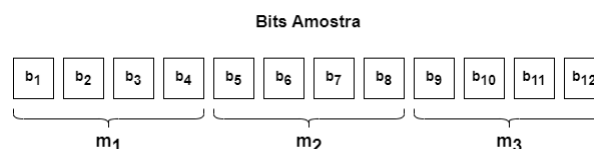


Figura 4 – Ilustração da divisão dos bits para codificação de cada amostra. Fonte: Elaborado pelo Autor

Após a divisão das partes, foram obtidas as palavras códigos através do produto de  $m_1$ ,  $m_2$  e  $m_3$  pela matriz geradora, obtida de maneira não sistemática. A amostra codificada é o resultado da concatenação das 3 palavras



códigos obtidas.

$$\begin{aligned} c_1 &= \text{mod}_2(m_1 G) \\ c_2 &= \text{mod}_2(m_2 G) \\ c_3 &= \text{mod}_2(m_3 G) \end{aligned} \quad G = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{amostra}_{\text{codificada}} = [c_1 \quad c_2 \quad c_3]$$

Figura 5 – Ilustração do processo de codificação de cada amostra. Fonte: Elaborado pelo Autor

Após essa etapa, ambas as cópias foram preparadas para o envio através do canal AWGN utilizando modulação BPSK. Primeiramente mapeando os bits utilizando a expressão  $B = 2b - 1$ , onde  $b$  é o valor do bit, 0 ou 1, e  $B$  é o valor mapeado em -1 ou 1. Logo após, foi gerado ambos os sinais modulados. Atribuindo uma senoide com 100 amostras e um atraso de fase de  $180^\circ$  dependendo do valor de  $B$ .

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) = -\sin(2\pi f_c t), & \text{se } B = -1 \\ s_2(t) = +\sin(2\pi f_c t), & \text{se } B = +1 \end{cases} \quad (7)$$

Após feita a utilização da fórmula para modulação, foi gerado o sinal:

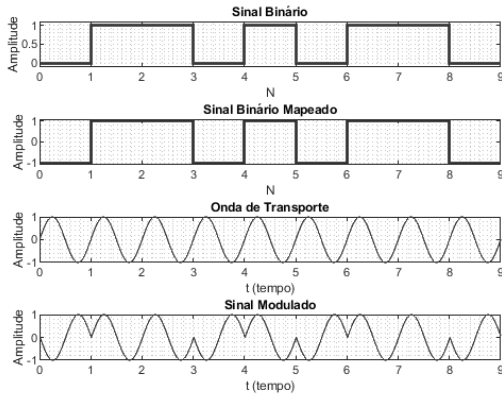


Figura 6 – Exemplo mostrando os 9 primeiros bits ao longo do processo de modulação, a sequência modulada foi 011010110. Fonte: Gerado pelo autor via MATLAB

O método de envio através do canal AWGN seguiu como base o método descrito por MOON (2005), que consiste em obter diferentes valores de variância para o ruído a partir dos valores de  $SNR_{dB}$ , definido como

$(E_b/N_0)_{dB}$ . Sendo  $\gamma = E_b/N_0$  o valor de SNR que se deseja usar para a simulação. A conversão é feita através da expressão  $\gamma = 10^{SNR_{dB}/10}$ , variando o valor de  $SNR_{dB}$  de 0 dB até 20 dB, incrementando 0,1 dB por vez.

Como a variância pode ser descrita por  $\sigma^2 = N_0/2$  e sabendo  $\gamma$ . Temos a expressão  $\gamma = E_b/2\sigma^2$ , que adaptada resulta em  $\sigma^2 = E_b/2\gamma$ . Essa expressão descreve a obtenção para a variância do ruído que foi adicionado ao sinal enviado sem codificação. Para o sinal codificado, foi preciso levar em consideração a taxa do código, onde  $R = 4/7$  para o código de Hamming (7,4). Como  $E_b$  é a energia disponível por bit e  $E_c$  é a energia disponível por bit codificado. A relação entre as energias pode ser descrita como  $E_c = E_b R$ . Logo, o valor de variância do ruído adicionado ao sinal codificado foi descrito como  $\sigma^2 = E_c/2R\gamma$ .

Para simular o envio através do canal foi considerado  $E_b$  como a energia da senoide usada na modulação. Por possuir duração finita pôde ser calculada através da fórmula abaixo.

$$E_b = \sum_{k=0}^N |s[k]|^2 \quad (8)$$

Tendo obtido ambas as variâncias de ruído, foi gerado um vetor de ruído como distribuição normal utilizando a função `randn()` disponível no MATLAB. Os valores foram ajustados utilizando o desvio padrão obtido a partir das variâncias. Finalizando com a soma do vetor de ruído aos sinais modulados.

$$r(t) = s(t) + \sigma n(t) \quad (9)$$

O processo de demodulação foi realizado dividindo-se ambos os sinais recebidos em períodos de 100 amostras. Após a divisão, foi calculado o produto interno entre a forma de onda usada na modulação e os trechos dos sinais recebidos, finalizando com a recuperação dos bits correspondentes a forma de onda que mais se assemelham.

Com a recuperação dos bits que foram enviados, foi possível fazer o uso dos bits de redundância que foram adicionados pelo código de Hamming para calcular a síndrome e identificar as posições em que podem ter ocorrido a troca de bits. Após a checagem, identificação e correção do erro, os bits de redundância são descartados, recuperando os bits de dados originais que são concatenados novamente nos 12 bits por amostra. Por fim, com as amostras recuperadas de ambos os sinais codificados e não codificados, o processo de transmissão é finalizado com a conversão de binário para decimal.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observou-se nas simulações de envio dos sinais de EMG através do sistema de comunicação implementado. A taxa de erro de bit e função da razão sinal-ruído. Sendo taxa de erro de bit descrita pela seguinte expressão:

$$\text{taxa de erro de bit} = \frac{n^{\circ} \text{ de bits errados}}{n^{\circ} \text{ total de bits}} \quad (10)$$

Considerando que foi feito o envio de duas cópias de cada sinal, uma utilizando código de Hamming e a outra não. É possível notar na figura 5, que devido a inserção dos bits de redundância, a taxa de erro de bit das palavras antes da correção se torna muito maior. Este comportamento é o mesmo descrito por MOON (2005) sendo é definido como ganho de codificação, e ocorre porque a quantidade de energia necessária para o envio de ambas as cópias enviadas foi a mesma, porém, como a quantidade de bits do sinal codificado é maior, ele terá uma menor quantidade de energia disponível por bit, fazendo com o sinal se torne muito mais suscetível a ruídos ao longo da transmissão. Contudo, essa maior sensibilidade a erros acaba sendo compensada devido a capacidade de correção do código.

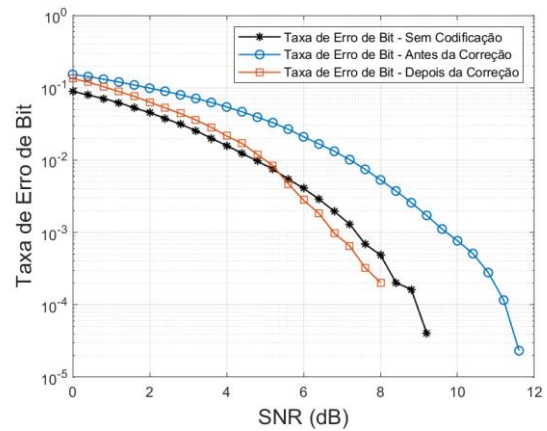


Figura 7 – Performance do Canal de Comunicação. Fonte: Gerado pelo autor via MATLAB

Dos 90 sinais de EMG transmitidos 49 deles apresentaram um ganho superior de performance em relação ao sinal não-codificado, 16 sinais tiveram uma performance similar ou igual e 25 sinais tiveram uma performance inferior que a do sinal não-codificado.

Um outro ponto de análise foi o realizado após a reconstrução dos sinais recebidos. Para isso foi observado a razão sinal-ruído entre a potência do sinal de EMG enviado e o erro quadrático médio obtidos a partir da diferença entre o sinal enviado e recebido.

$$EQM = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |s[n] - r[n]|^2 \quad (11)$$

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left( \frac{P_{EMG}}{EQM} \right), \quad (12)$$

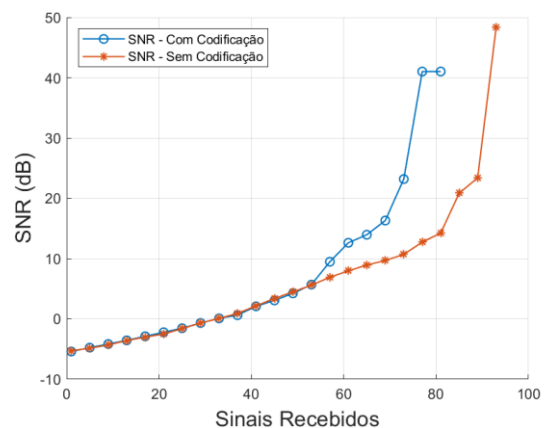


Figura 8 – Comparação entre razão sinal-ruído dos sinais após a reconstrução. Fonte: Gerado pelo autor via MATLAB.

Observando a figura 6, nota-se que por volta do quinquagésimo sinal transmitido, para o caso em que houve um ganho de codificação, não há uma diferença de SNR do sinal codificado em relação ao sinal não codificado, sugerindo que nessas condições de canal, não existe diferença na quantidade de informação perdida devido ao uso da codificação. Porém, a partir do quinquagésimo sinal transmitido, é possível notar que houve um aumento na quantidade de informação média recuperada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, foi abordado por meio de uma simulação via software MATLAB, o emprego de código corretor de erro na transmissão de sinais biomédicos, buscando compreender sua efetividade na redução de ruído e diminuição na quantidade de informação perdida. Através da análise da taxa de erro bit em função da razão sinal-ruído e da razão sinal-ruído entre o sinal enviado e o erro médio quadrático obtido dos sinais recebidos, foi possível identificar que, em média, houve uma melhora na quantidade de informação retida nos sinais de EMG transmitidos.

Os resultados obtidos também indicam que apesar da quantidade de bits de redundância inseridos sobre o sinal transmitido gerarem uma quantidade maior de erros, a capacidade de correção do código, muitas vezes acaba compensando a ponto de fazer com que o sinal recebido codificado possua uma qualidade melhor que a sinal não codificado, mesmo que o sinal não codificado tenha tido quantidade muito menor de erros. Esses achados são significativos porque demonstram que o emprego de técnicas de detecção e correção de erros em processos de manipulação, transmissão e armazenamento de sinais biomédicos, garante que o sinal tenha uma menor perda de informação.

**ABSTRACT:** *Biomedical signals are essential for the development of research and diagnostic*

*processes. Due to their usefulness, sharing these signals through internal networks becomes a concern, as the signal will be subject to interference generated by the physical environment. This work aims to simulate the transmission of these signals through a communication channel, using the Hamming code, in order to obtain information on the performance of the channel used and to evaluate the mean squared error between the signal sent and received. The simulation was carried out using electromyographic signals and the operations on the signal were implemented using Matlab software. The samples were pre-processed, quantized and encoded. Transmission was simulated using phase modulation through a channel with additive Gaussian white noise with different values of spectral power density applied to the transport wave. At the receiver, the signal was demodulated and decoded, identifying the errors that had been inserted and correcting them. The simulation results show an average reduction in the bit error rate in situations where the signal-to-noise ratio of the channel is greater than 5 dB. It is also possible to note that after reconstruction of the transmitted signals there is a gain in signal quality due to the application of the error-correcting code.*

*Keywords: Hamming code, Phase shift keying modulation, Electromyography, Signal-to-noise ratio.*

## REFERÊNCIAS

CIFREK, Mario et al. Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clinical biomechanics*, v. 24, n. 4, p. 327-340, 2009.

DE LUCA, Gianluca. *Fundamental concepts in EMG signal acquisition*. Copyright Delsys Inc, 2003.

KONRAD, Peter. *The abc of emg. A practical introduction to kinesiological*



electromyography, v. 1, n. 2005, p. 30-5, 2005.

LATHI, Bruce. Modern digital and analog communication systems. 2010.

MARCHETTI, Paulo Henrique; DUARTE, Marcos. Instrumentação em eletromiografia. Laboratório de Biofísica, Escola de Educação Física e Esporte. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006.

MOON, Todd K. Error correction coding: mathematical methods and algorithms. John Wiley & Sons, 2005.

POURMOHAMMADI, Sara; MALEKI, Ali. Stress detection using ECG and EMG signals: A comprehensive study. Computer methods and programs in biomedicine, v. 193, p. 105482, 2020.

PROAKIS, John G.; SALEHI, Masoud. Digital communications. McGraw-hill, 2008.