



FERRAMENTA PARA ENSINO DE SISTEMAS DE COMUNICAÇÃO EM CURSOS DE ENGENHARIA UTILIZANDO INTERFACE GRÁFICA MATLAB

Guilherme C. Jales – guilhermejales@gmail.com

Brendo R. Gomes – brendoeng@gmail.com

Jorge F. M. C. Silva – jf.engtelecom@gmail.com

Francisco J. A. Aquino– fcoalves_aq@ifce.edu.br

Jose W. M. Menezes – wally@ifce.edu.br

Thiago O. Rodrigues – thiagoliveira08@gmail.com

Katielle D. Oliveira – katielledantas@gmail.com

Caio R. F. Barbosa – caio.raveli@gmail.com

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Departamento de Telemática

Avenida Treze de Maio, 2081, Benfica

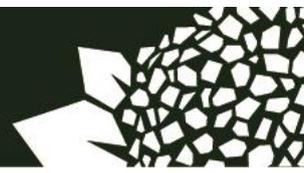
60040-531 – Fortaleza – Ceará

Resumo: *A formação de um engenheiro passa por variados ramos do conhecimento. Parte fundamental deste processo – no que tange a cursos tais como Engenharia Elétrica, Engenharia Eletrônica ou Engenharia de Telecomunicações – é o estudo de Processamento de Sinais, dentro do qual se enquadram disciplinas de Sistemas de Comunicação, cujo foco são a análise da modulação e da transmissão de sinais. Este trabalho propõe uma ferramenta de apoio ao ensino desses conhecimentos utilizando as propriedades do software matemático MATLAB, incluindo sua ferramenta de interface gráfica, Guide, de maneira a facilitar a compreensão do conteúdo por parte do estudante.*

Palavras-chave: *Educação em engenharia, Sistemas de comunicação, MATLAB, Ferramenta de ensino.*

1. INTRODUÇÃO

Em sua vida cotidiana, o ser humano está rodeado de processos de comunicação. Desde o aprimoramento do telégrafo, por Samuel Morse, em meados do século XIX, a comunicação por tempo real a longa distância deu saltos gigantescos. Através de rádios e televisores, computadores conectados à Internet ou telefones, fixos ou móveis, obtêm-se informação a qualquer momento de maneira ubíqua. O que usualmente não é percebido pelas pessoas que utilizam essas tecnologias é como se dão tais processos de comunicação; como a informação é transmitida e recebida por seus dispositivos eletrônicos.



Para tanto, especificamente em cursos como Engenharia Elétrica, Engenharia de Telecomunicações ou Engenharia Eletrônica, um importante campo de estudo é a área de Processamento de Sinais. Nestas, o engenheiro em formação adquire a fundamentação matemática que permeia o processo de comunicação: em especial, a compreensão dos processos de codificação de informações, transmissão, decodificação e recuperação do sinal de mensagem transmitido (HAYKIN, 2004).

O que justifica o estudo desta área, além de sua evidente aplicação na vida cotidiana, é que a plena absorção dos conhecimentos acima especificados está no cerne da formação do engenheiro. Conforme a norma reguladora da profissão de Engenheiro Eletrônico, ou de Comunicação, compete a estes, dentre outras funções, a supervisão, coordenação e orientação técnica, referentes a sistemas de comunicação e de telecomunicações (CONFEA, 1973).

É de suma importância para o processo de aprendizagem que o estudo teórico seja complementado pela observação de resultados práticos. Para tanto, mostra-se desejável o uso de uma ferramenta computacional que permita ao estudante compreender e fixar o conteúdo visto em sala de aula, através da visualização de resultados de simulações de uma maneira acessível e visualmente agradável.

2. MATLAB

O MATLAB (abreviatura para *Matrix Laboratory*) é um ambiente de computação numérica, programação e simulação que permite a implementação de algoritmos e possui aplicações nas mais diversas áreas da Engenharia, como processamento de sinais, sistemas de controle, cálculo numérico, dentre outras. Além da facilidade proporcionada pela possibilidade de trabalhar com grandes quantidades de valores numéricos de maneira ágil – fato que coloca esta ferramenta a frente de linguagens de programação tradicionais, como C, Java ou Fortran no que se refere ao tratamento matemático de funções e na visualização de simulações. (MATHWORKS, 2013)

Entre as vantagens do uso do MATLAB está a presença de várias *toolboxes*, bibliotecas de funções especificamente projetadas para lidar com problemas das mais diversas áreas do conhecimento. Além disso, é possível construir suas próprias soluções reaproveitáveis, fazendo uso das funções primárias do aplicativo, e inclusive construir interfaces gráficas de usuário (GUIs), através da ferramenta *Guide*.

Interfaces gráficas criadas utilizando MATLAB podem realizar qualquer tipo de computação, tais como ler e escrever arquivos, comunicar-se com outras interfaces, bem como mostrar dados em forma de tabelas e gráficos (MATHWORKS, 2013).

O ambiente de desenvolvimento de interface gráfica do usuário do MATLAB fornece um conjunto de ferramentas que simplificam o processo de concepção e construção de GUIs.

Usando o Layout Editor, o usuário pode facilmente clicar e arrastar componentes de um programa. Há painéis, botões, campos de texto, menus e outras funções na área do layout. O MATLAB armazena o projeto em um arquivo *.fig*.

Também é gerado automaticamente um arquivo *.m*, onde é feito o controle da GUI. Este arquivo contém a lógica de programação que opera o programa quando o usuário clica em um componente, lógica esta que pode ser alterada para executar tarefas que o programador deseje. (MATHWORKS, 2009)

3. ESTUDO DE TÉCNICAS DE MODULAÇÃO

O ensino de disciplinas de Sistemas de Comunicação é parte integrante das matrizes de cursos de Engenharia de Telecomunicações e áreas afins. Tendo como caso específico o curso de Engenharia de Telecomunicações do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), o objetivo da disciplina intitulada Sistemas de Comunicação II é: “Capacitar o aluno no entendimento e aplicação dos conceitos e fundamentos matemáticos básicos da teoria de transmissão digital utilizada nos modernos sistemas de comunicação” (IFCE, 2013).

De maneira mais específica, entre os conteúdos estudados estão técnicas de transmissão de banda básica e de transmissão de banda passante, bem como moduladores e demoduladores e técnicas de espalhamento espectral.

3.1. Modulação PSK

PSK (*Phase-shift keying*) é um método de modulação digital de sinais envolvendo chaveamento, ou comutação em fase de uma portadora senoidal. É uma técnica de modulação classificada como coerente, o que significa que o receptor do sinal está equipado com um circuito de recuperação de fase. Este circuito garante que haja sincronismo entre a onda portadora gerada pelo receptor e a onda portadora originalmente usada para modular o sinal no transmissor (HAYKIN, 2004).

Apresentam amplo uso as formas de modulação BPSK (chaveamento binário) e QPSK (chaveamento por quadratura), esta última derivada diretamente da formulação geral do PSK M-ário, onde a fase da portadora pode assumir M valores possíveis, conforme expresso na equação (1).

$$\theta_i = \frac{2(i-1)\pi}{M}, i = 1, 2, \dots, M \quad (1)$$

A cada intervalo de tempo T é enviado um sinal, como pode ser visto na equação (2), sendo E a energia do sinal por símbolo e f_c a frequência da portadora.

$$s_i(t) = \sqrt{\frac{2E}{T}} \cos\left(2\pi f_c t + \frac{2\pi}{M}(i-1)\right), i = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

A constelação de sinais PSK M-ários é bidimensional, e sua expansão pode ser obtida a partir das funções de base ortonormais abaixo definidas nas equações (3) e (4). Diferentes constelações são obtidas de acordo com o valor de M , sendo $M = 2^n$ para n representando o número de bits por símbolo.

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos(2\pi f_c t), 0 \leq t \leq T \quad (3)$$

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \sin(2\pi f_c t), 0 \leq t \leq T \quad (4)$$



Por fim, a probabilidade média de erro de símbolos de um sinal PSK M -ário é determinada pela equação (5), supondo-se $M \geq 4$, e sendo $\text{erfc}()$ a função de erro complementar e E/N_0 a razão entre a energia de sinal por bit transmitido e a densidade espectral do ruído (HAYKIN, 2004):

$$P_e = \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E}{N_0}} \sin \left(\frac{\pi}{M} \right) \right) \quad (5)$$

Diversas aplicações práticas utilizam modulações do tipo PSK no processo de comunicação. Por exemplo, o sistema de posicionamento global (GPS) e satélites de comunicações geoestacionárias, como o Intelsat V, empregam modulação QPSK (PIMENTEL, 2007).

3.2. Modulação QAM

Modulação de amplitude em quadratura ou QAM (*Quadrature amplitude modulation*) é uma técnica de modulação que, assim como a PSK, utiliza deslocamento de fase da portadora e detecção síncrona, permitindo que dois sinais DSB ocupem a mesma banda de frequência. É considerado um sistema híbrido de modulação, pelo fato da senoide portadora executar modulação de amplitude e de fase (CARLSON, 2002).

A QAM M -ária é uma generalização da modulação PAM M -ária, e assim como a PSK M -ária, baseia sua formulação em duas funções de base ortogonais, conforme expressas nas equações (3) e (4).

Considerando que o i -ésimo ponto de mensagem no plano (ϕ_1, ϕ_2) seja representado por $(a_i d_{\min}/2, b_i d_{\min}/2)$, para d_{\min} a distância mínima entre dois pontos da constelação, a_i e b_i sendo números inteiros e $i = 1, 2, \dots, M$; considerando que

$$\left(\frac{d_{\min}}{2} \right) = \sqrt{E_0}, \quad (6)$$

sendo E_0 a energia do sinal em seu ponto de menor amplitude, o sinal QAM transmitido para um símbolo k é definido pela equação por

$$s_k(t) = \sqrt{\frac{2E_0}{T}} a_k \cos(2\pi f_c t) - \sqrt{\frac{2E_0}{T}} b_k \sin(2\pi f_c t), 0 \leq t \leq T, k \in \mathbb{Z} \quad (7)$$

O sinal $s_k(t)$ é composto por duas portadoras em fase e em quadratura, cada uma modulada por um conjunto de amplitudes discretas. Por isso, o nome da técnica ser “modulação de amplitude em quadratura” (HAYKIN, 2004).

A probabilidade de erro de bit de símbolo na modulação QAM M -ária é expressa pela equação (8) a seguir:

$$P_e \approx 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \text{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_0}{N_0}} \right) \quad (8)$$

Como a energia transmitida na QAM é variável, o valor instantâneo da energia depende do símbolo transmitido. Desta forma, a forma mais prática de expressar o valor da probabilidade de erro é fazê-la em função do valor médio da energia transmitida. Assim, a equação (8) pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$P_e \approx 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3E_m}{2(M-1)N_0}} \right) \quad (9)$$

“A modulação M-QAM é eficiente na utilização do espectro, sendo largamente utilizada em rádios digitais e em modems de alta velocidade” (PIMENTEL, 2007). Esta técnica também pode ser encontrada em sistemas de transmissão de TV digital (DVB-T) e em transmissão de TV a cabo, dentre inúmeras outras aplicações.

4. METODOLOGIA

A ferramenta proposta neste trabalho foi criada utilizando o *software* MATLAB, aplicando principalmente as funções da *Communications System Toolbox* e da ferramenta de criação de interfaces gráficas *Guide*. O arquivo .m onde o programa está localizado realiza todo o cálculo matemático exigido para a simulação, bem como exibe os gráficos plotados pelo programa e também define a interface gráfica de usuário que será mostrada a cada execução da aplicação.

O objetivo inicial é mostrar gráficos que simulam o processo de modulação, de acordo com a técnica escolhida pelo usuário. Nesta implementação, o programa implementa as modulações PSK e QAM M -árias, sobre um sinal com 30000 bits.



Figura 1 – Tela inicial da ferramenta de simulação

Após escolher o tipo de modulação desejado e o valor do índice M (Figura 1), a aplicação exibirá uma série de gráficos referentes ao modelo especificado: inicialmente, o sinal de mensagem binária (Figura 2), bem como uma exibição, a título de exemplo, dos primeiros 40 bits da mensagem (Figura 3). A Figura 4 é a exibição da codificação destes 40 bits, de modo que o aluno possa visualizar como se dá este processo. Os exemplos ilustrados a seguir referem-se a um sinal com modulação 8-PSK.

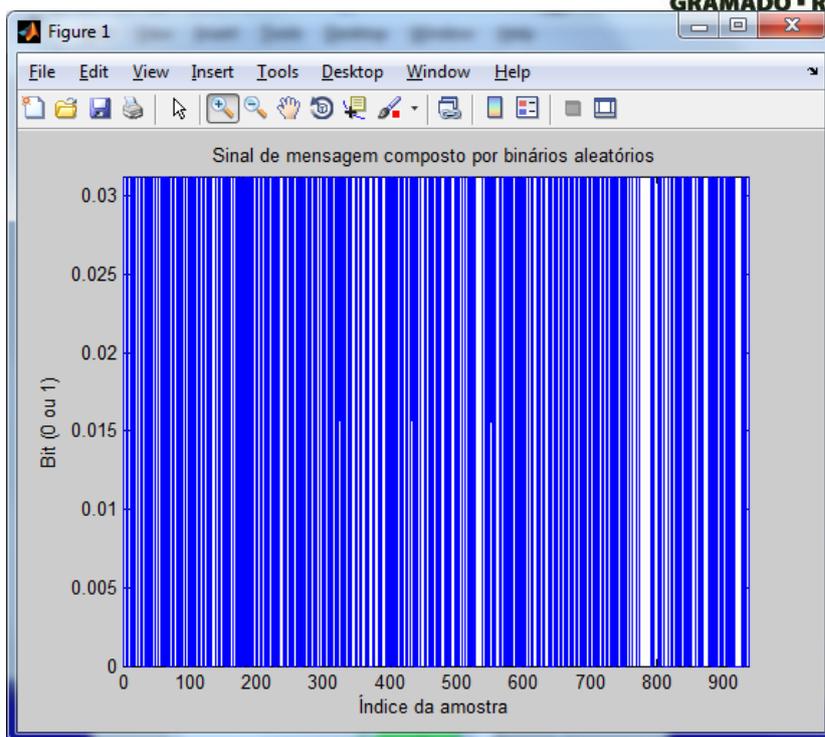


Figura 2 – Sinal de mensagem binário

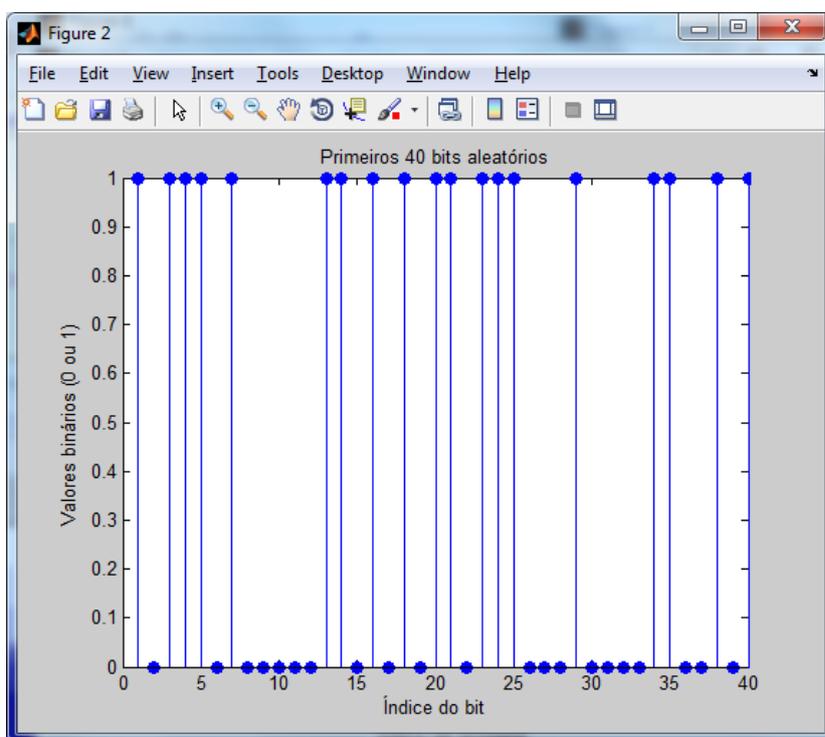


Figura 3 – Amostra dos primeiros 40 bits do sinal original

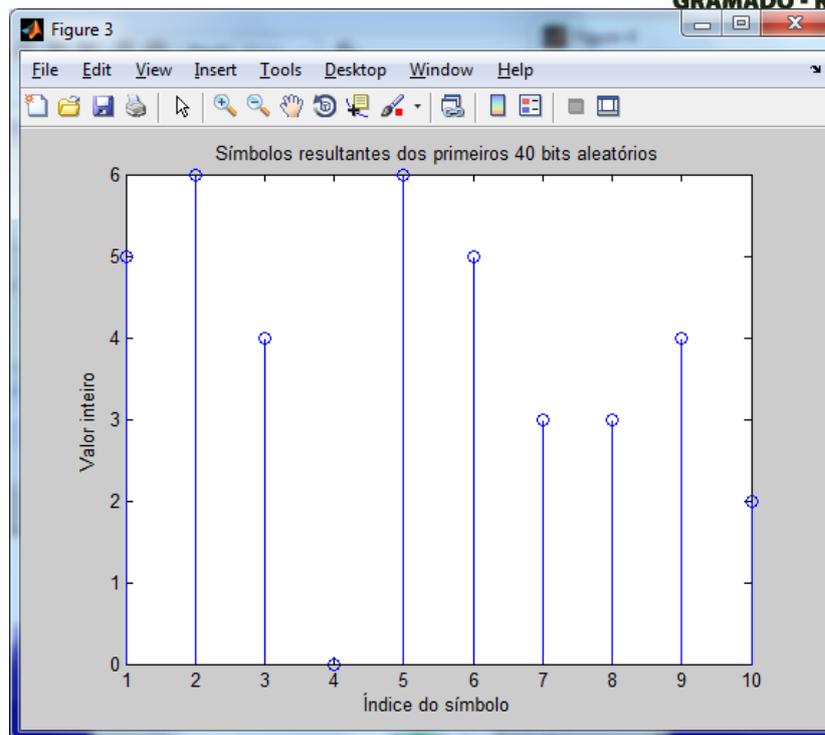


Figura 4 – Codificação em símbolos dos primeiros 40 bits do sinal da mensagem

Na Figura 5, o programa exibe as fases do sinal modulado, de acordo com o número de bits por símbolo.

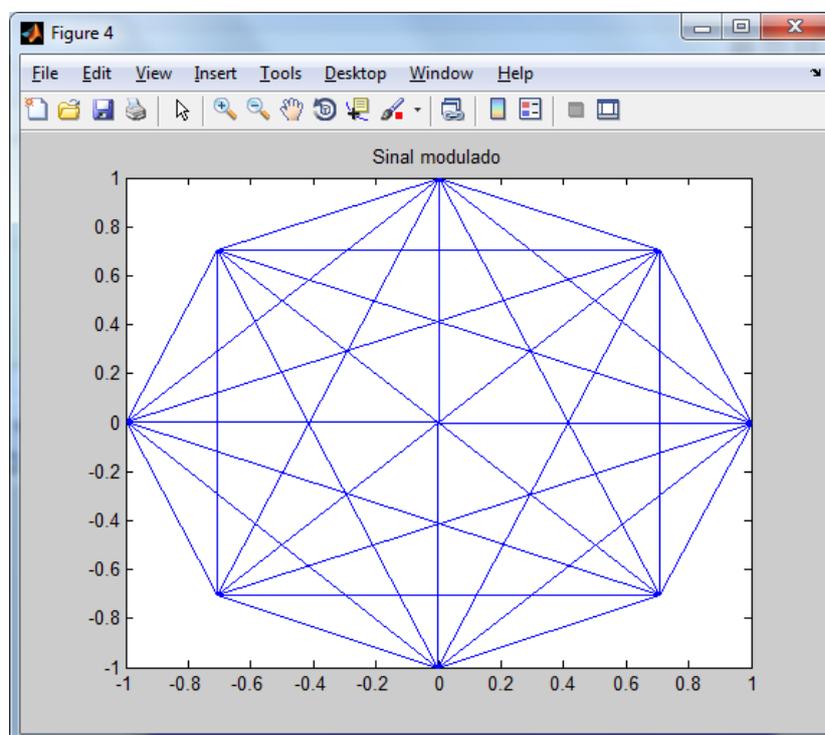


Figura 5 – Fases do sinal modulado

Em seguida, a ferramenta exibe uma caixa de texto que pede ao usuário que insira o valor, em decibéis, da relação E_b/N_0 , também conhecida como *relação sinal/ruído por bit*. A Figura 6 exibe uma simulação da passagem do sinal por um canal com ruído gaussiano (AWGN), tendo como parâmetro a relação acima mencionada.

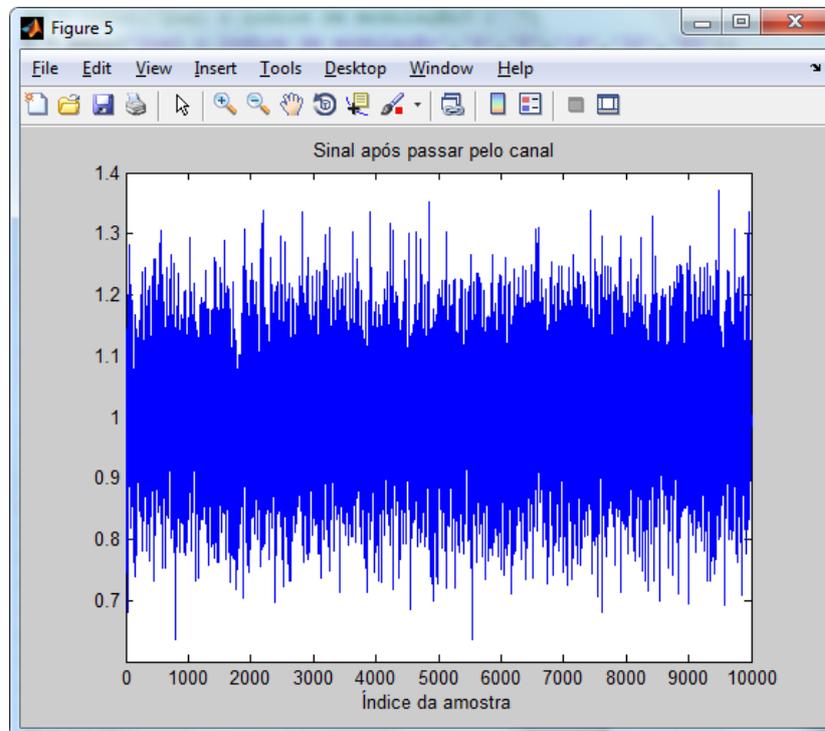


Figura 6 – Sinal modulado adicionado de ruído

Por fim, o aplicativo exibe um gráfico com o sinal equalizado, com ruído, em comparação com a constelação ideal da modulação utilizada.

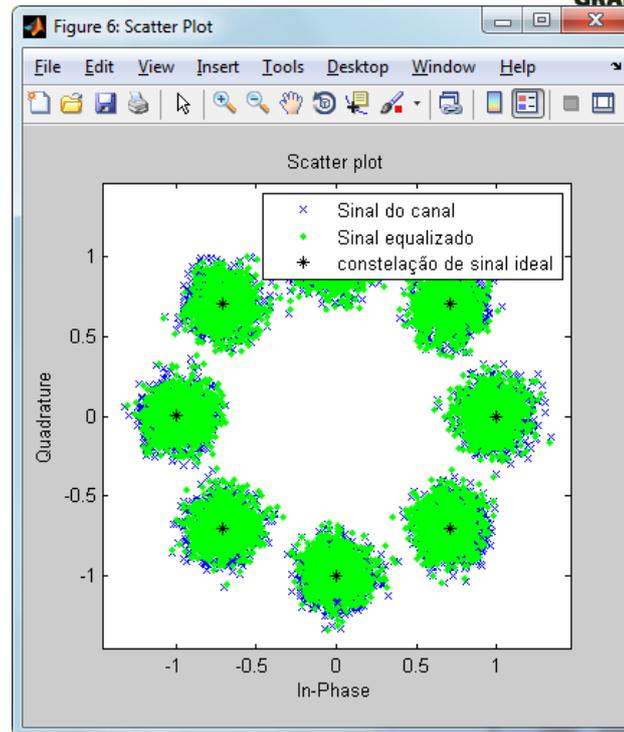


Figura 7 – Comparação entre a constelação do sinal gerado com a constelação modulada ideal

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O programa desenvolvido satisfaz à proposta de uma ferramenta que facilite a compreensão e o aprendizado dos estudantes de disciplinas que envolvem o ensino de técnicas de modulação e sistemas de comunicação. O uso de um programa com interface gráfica bem definida, para a exibição dos gráficos e simulações, torna o assunto abordado mais atraente para os discentes, os estimulando a aprofundar-se nos temas abordados.

Como possibilidade para trabalhos futuros está a finalização da ferramenta, incluindo outras formas de modulação e também a simulação do funcionamento de filtros digitais, reforçando a ferramenta para abranger diferentes conteúdos da área de Processamento de Sinais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARLSON, A. Bruce. Communication Systems: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication. 4. ed. Nova York: McGraw-Hill, 2002. 864p, il.

CONFEA. Resolução N° 218, de 29 de junho de 1973. **Diário Oficial da União**. Rio de Janeiro: 31 de julho de 1973. Disponível em: <<http://normativos.confex.org.br/ementas/visualiza.asp?idEmenta=266&idTiposEmenta>> Acesso em 17 jun 2013.

HAYKIN, Simon. Sistemas de Comunicação, analógicos e digitais. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004/2007. 837p, il.



IFCE. **Ementa da Disciplina Sistemas de Comunicação II, Curso Engenharia de Telecomunicações.** Disponível em: <<http://engtelecom.ifce.edu.br/telm135-sistemas-de-comunicacao-ii/>> Acesso em 17 jun 2013.

MATHWORKS, MATLAB7 Getting Started Guide. Natick: Setembro de 2009.

MATHWORKS. **MATLAB. The Language of Technical Computing.** Disponível em: <<http://www.mathworks.com/products/matlab/>> Acesso em 16 jun 2013.

MATHWORKS. **MATLAB Documentation Center: What is a GUI?** Disponível em: <http://www.mathworks.com/help/matlab/creating_guis/what-is-a-gui.html> Acesso em 16 jun 2013.

PIMENTEL, Cecílio José Lins. Comunicação digital. 1. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2007. 420 p, il.

TOOL FOR COMMUNICATION SYSTEMS TEACHING IN ENGINEERING COURSES USING MATLAB GRAPHIC INTERFACE

***Abstract:** The engineer's formation goes through various fields of knowledge. A fundamental part of it – specially in courses such as Electric Engineering, Electronic Engineering or Telecommunications Engineering – is the study of Signal Processing, where are courses like Communication Systems, focused on modulation and signal transmission analysis. This paper proposes a teaching support tool that uses the features of the Mathematics software MATLAB, including its graphic interface tool, Guide, in a way that makes easier the student's comprehension of the content.*

***Key-words:** Education in Engineering, Communication Systems, MATLAB, Teaching tool.*