



SOFTWARE DIDÁTICO PARA PROCESSAMENTO DE SINAIS

Felipe Marcon¹ e Álvaro L. Stelle²

Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná
Departamento Acadêmico de Eletrônica
Av. Sete de Setembro, 3165 – 80230-901 – Curitiba – Paraná
felipemarcon@yahoo.com.br¹ e stelle@cpgei.cefetpr.br²

Resumo. São aqui descritas as funcionalidades de um software desenvolvido para atuar como ferramenta de auxílio didático em disciplinas relacionadas com processamento de sinais. O objetivo principal da ferramenta é auxiliar o usuário no processo de aprendizagem de conceitos que envolvam funções de transferência de sistemas analógicos e discretos. Para isto, o software permite obter: a) a representação gráfica do referido plano complexo (s ou z), onde se pode manipular diretamente as raízes (pólos e zeros) do sistema; b) a entrada de funções de transferência complexas através de seus coeficientes; c) a exibição tridimensional do plano complexo e d) gráficos de resposta nos domínios do tempo e da frequência.

O programa, escrito em linguagem Delphi[®] para ambientes Windows[®], possui uma interface clara e intuitiva, e a experiência tem mostrado que o mesmo, apresentando facilidade de aprendizado e de utilização, só tem aumentado o grau de interesse do aluno pela Área de Processamento de Sinais.

Palavras-chave: Software, Filtros, PDS.

1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores dificuldades enfrentadas pelos educadores que atuam na área da Matemática Aplicada à Engenharia, senão a maior, é descobrir que metodologia de ensino devem empregar para tornar suas disciplinas mais atraentes para o aluno, obtendo dele alto rendimento.

Em cursos de graduação em Engenharia Elétrica, segundo Stelle [1], diversas disciplinas envolvem conceitos abstratos de difícil compreensão por parte do aluno, pois envolvem variáveis complexas, passagem do domínio do tempo para o domínio da frequência e vice-versa e outros assuntos que chegam a traumatizar o aluno. Sinais e Sistemas, Princípios de Comunicação, Controle Automático e Processamento Digital de Sinais (PDS) são exemplos, pois além de introduzirem novos conceitos matemáticos, como as transformadas de Laplace, Fourier e “z”, exigem um elevado grau de abstração no momento em que se conferem e se interpretam os resultados, os quais podem envolver funções gráficas bidimensionais e tridimensionais (3D).

O ensaio prático para comprovação dos resultados teóricos é o mais aconselhável, porém, muitas vezes isto se torna impraticável devido ao alto custo dos equipamentos, como mostra Stelle [2], ou devido à falta de tempo, pois o curso já tem um elevado número de horas, ficando a disciplina com conteúdo totalmente teórico. O fato de se tentar comprovar a teoria em uma disciplina futura pode não ser tão proveitoso. Para Easton Jr. [3], surge, então, como outra alternativa, o uso de software, onde o aluno pode reforçar seus conceitos de forma interativa, porém, na maioria das vezes os programas disponíveis no mercado são por demais sofisticados e também de alto custo.

Visando sanar pelo menos parte deste problema, Stempniak e Stelle [4] e Lima [5] desenvolveram, no CEFET-PR, dois software com interface amigável, que podem ser utilizados pelo aluno em caráter particular, para comprovar fundamentos da Série de Fourier e de PDS, necessitando ele apenas dispor de um computador pessoal.

Neste artigo, são mostradas as características de outra ferramenta de auxílio didático, adequada e eficiente para o ensino em disciplinas que envolvam conceitos básicos de funções de transferência de sistemas analógicos e discretos.

2. CARACTERÍSTICAS DO SOFTWARE

Pode-se ver em Ribeiro [6] que, quando se tenta definir um ambiente de aprendizagem, busca-se estruturar um tipo de ambiente em função do usuário, de suas necessidades e do conteúdo da aprendizagem. A partir deste posicionamento e da concepção de aprendizagem adotada, pode-se chegar ao tipo de ferramenta a ser disponibilizada ao usuário.

2.1 Objetivos do Software

Com base nesses princípios, quando se deu início ao desenvolvimento do software, tinha-se em mente atingir quatro objetivos básicos, sendo eles:

- 1) Dar ao aluno, que está vendo pela primeira vez a teoria de um sistema analógico ou discreto, a chance de verificar e visualizar, de forma rápida, as variações das características principais do sistema, nos domínios do tempo (resposta ao impulso e ao degrau) e da frequência (ganho e fase), em função do posicionamento de seus pólos e zeros.
- 2) Permitir que o usuário possa observar o gráfico tridimensional que representa o módulo da função de transferência do sistema, pois é através dele que se pode ter uma idéia mais profunda sobre o que é uma função sobre um plano complexo. Por esta razão, o software recebeu, por enquanto, o título FT3D.
- 3) Obter um software com interface gráfica clara e intuitiva, de modo que o treinamento dado ao usuário principiante seja mínimo, com a entrada dos dados sendo feita da maneira mais simples possível, evitando assim que ele se sinta desmotivado.
- 4) Ter um software final de baixíssimo custo e elevada eficiência computacional, que possa, de preferência, ser armazenado em um disquete.

2.2 A Interface

Para se atingir estes objetivos, desenvolveu-se uma interface amigável (*user friendly interface*), baseada nas seguintes características:

- 1) Consistência: o comportamento e a apresentação física da interface são guiados por regras bem definidas e conhecidas pelo usuário.
- 2) Conveniência: a interface deve facilitar o acesso a todas as operações.
- 3) Eficiência: a interface deve minimizar o esforço gasto para executar uma tarefa.
- 4) Flexibilidade: a interface deve prover muitas maneiras do usuário efetuar uma dada operação.
- 5) Passividade: a interface deve assumir um papel passivo, permitindo que o usuário detenha o controle da interação.

Como resultado de tais características, ao rodar-se o programa, é apresentada uma janela principal dotada de botões e menus, que fica aguardando a introdução dos dados por parte do usuário. Ela pode ser vista na Fig. 1, já após a realização de algumas operações.

2.3 Os Algoritmos

Utilizando linguagem Delphi 5.0, os algoritmos internos de cálculo foram implementados de maneira a exigir um esforço computacional mínimo da máquina, de modo a obter-se um bom desempenho mesmo em máquinas tecnologicamente defasadas. Eles apresentam como principais funcionalidades para sistemas analógicos ou discretos:

- 1) Exibição da localização dos pólos e zeros no plano complexo, incluindo tabelas com seu valores.
 - 2) Cálculo da função de transferência quando os pólos e zeros são introduzidos via teclado ou via *mouse*.
 - 3) Avaliação das condições de estabilidade e de realização do sistema na prática.
 - 4) Cálculo do ganho e da fase, em escalas linear ou logarítmica.
 - 5) Respostas ao impulso e ao degrau.
 - 6) Topografia do plano complexo, com variação de cores.
 - 7) Gráfico tridimensional do módulo da função de transferência, completo ou com cortes especiais que revelam a curva de ganho.
 - 8) Transformação de um sistema analógico em discreto e vice-versa.
 - 9) Obtenção dos sistemas inverso, de fase mínima e de fase máxima.
- Segue na seção 3 a demonstração do software.

3. RESULTADOS

Durante a fase de desenvolvimento, o sistema foi submetido diversas vezes à avaliação de alunos das disciplinas de Sinais e Sistemas e PDS, bem como a uma turma de professores durante um curso de aperfeiçoamento na área, de modo a aperfeiçoar a interface gráfica e as funcionalidades do mesmo. A seguir são apresentados dois exemplos utilizados durante a validação dos resultados da ferramenta, de modo a ilustrar o seu funcionamento.

3.1 Filtro Analógico Passa-Altas de Segunda Ordem de Butterworth

A “Eq. (1)” apresenta a função de transferência de um filtro analógico passa-altas de segunda ordem de Butterworth. Após a entrada, via teclado, dos coeficientes da função, o programa automaticamente calcula as raízes correspondentes e as insere no plano complexo da janela principal, como mostra a Fig. 1.

$$H(s) = \frac{s^2}{s^2 + 1,4142s + 1} \quad (1)$$

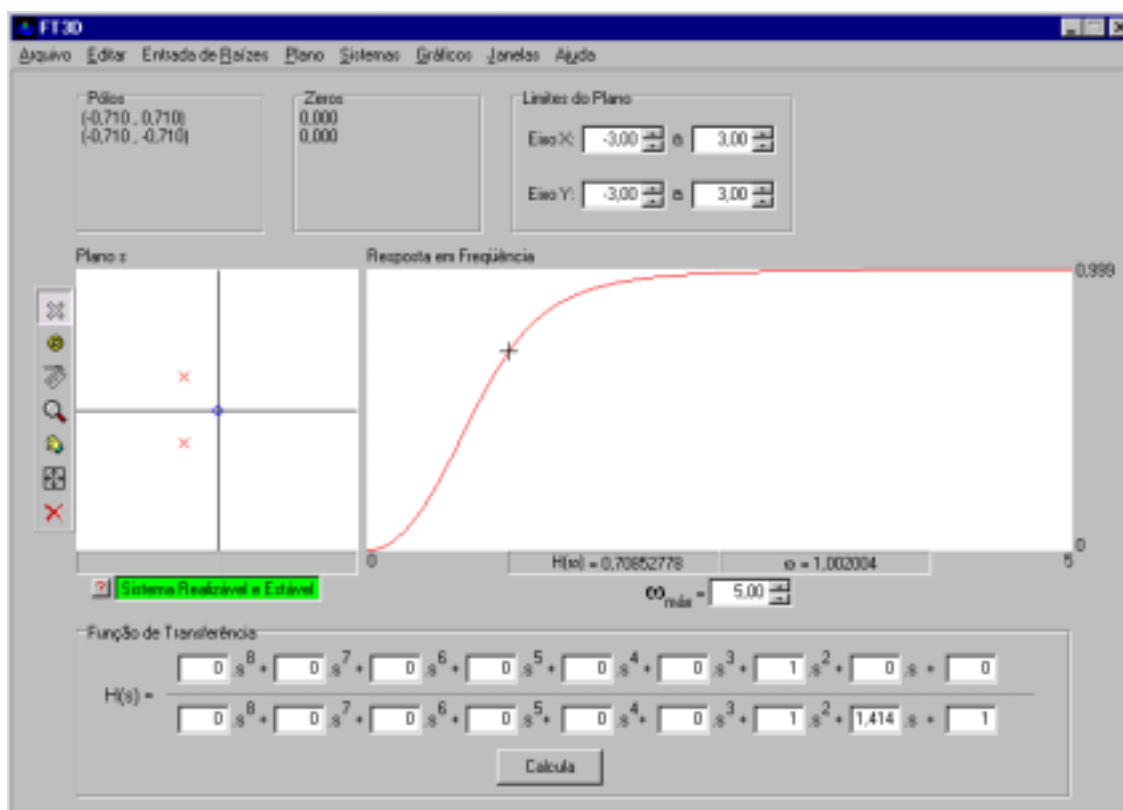


Figura 1. Janela principal, após a entrada da função de transferência do filtro.

As coordenadas das raízes do sistema são apresentadas nos respectivos campos posicionados acima do plano complexo. O gráfico selecionado pelo usuário, através do menu, é exibido ao lado do plano, e ao mover-se o cursor do *mouse* sobre o gráfico, são exibidas as coordenadas de cada ponto da curva.

A partir da janela principal, o usuário pode, entre várias opções disponíveis, escolher uma operação tal como: 1) manipulação das raízes no plano complexo através do *mouse*, com atualização do gráfico escolhido (exceto o 3D) em tempo real; 2) edição da função de transferência; 3) exibição de outro gráfico de resposta no domínio da frequência (dB com escala logarítmica) ou do tempo (respostas ao impulso e ao degrau); 4) inserção de raízes via *mouse* ou teclado; 5) conversão entre os planos $s \leftrightarrow z$; 6) determinação do sistema equivalente de fase mínima, fase máxima ou sistema inverso; 7) habilitação da “*exibição topográfica*” do plano complexo (ver Fig. 2), que utiliza uma escala de cores para representar as variações do módulo da função de transferência no plano complexo e 8) exibição tridimensional do plano complexo.



Figura 2. Valor absoluto da função de transferência representado no plano complexo através de uma escala de cores.

A exibição tridimensional do plano complexo fornece ao usuário uma informação mais detalhada sobre a função de transferência e o plano em questão (s ou z), mostrando o real efeito dos pólos e zeros. Ao selecionar esta função, o programa mostra as janelas responsáveis pelo controle e exibição do gráfico 3D, como ilustrado na Fig. 3.

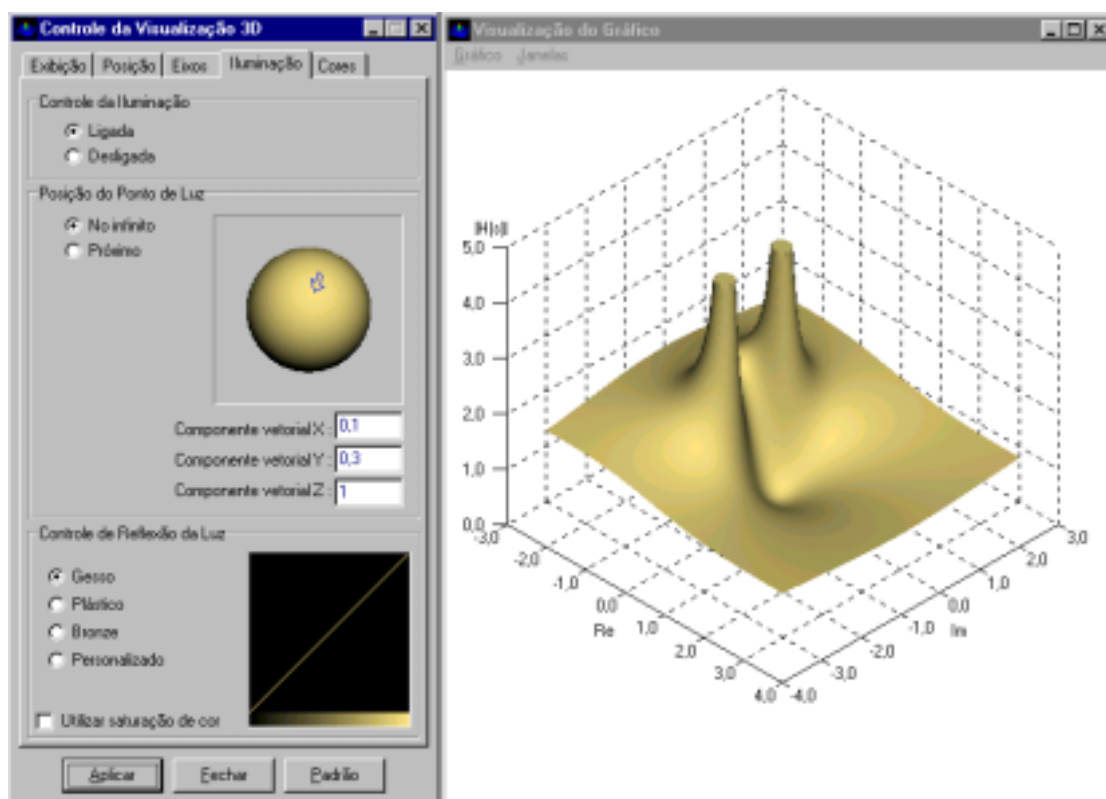


Figura 3. Janelas de controle e visualização do gráfico 3D.

Através da janela de controle é possível alterar diversas características do gráfico, como, por exemplo, resolução, orientação, dimensão, cor, eixos, iluminação e tipo de superfície. O FT3D possibilita escolher entre três tipos de superfície, que são: renderizado (Fig. 3), *wireframe* (Fig. 4.a) e *wireframe* opaco (Fig. 4.b).

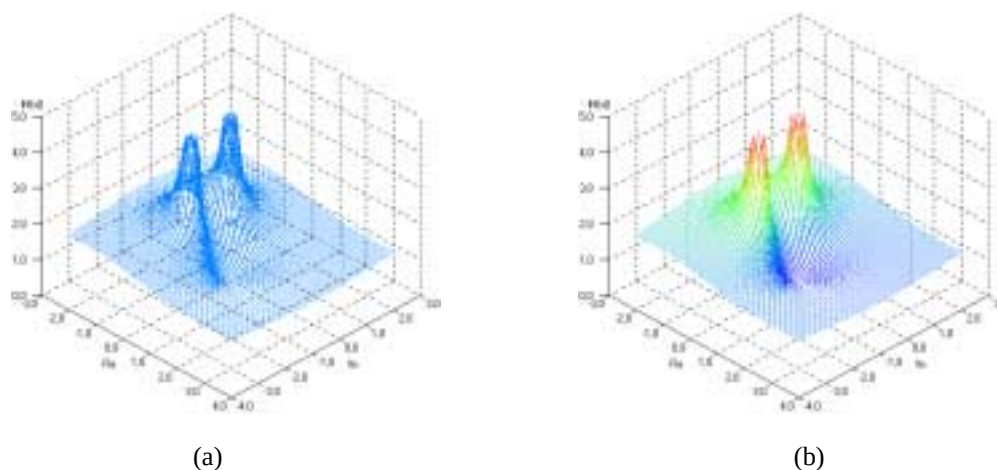


Figura 4. Tipos de superfícies: (a) *Wireframe* e (b) *Wireframe Opaco*.

De modo a facilitar a visualização da informação de resposta em frequência ($|H(j\omega)|$) contida no gráfico tridimensional, pode-se obter apenas o semi-plano esquerdo do mesmo. A Fig. 5.a apresenta o resultado desta operação visto do quarto quadrante enquanto a Fig. 5.b mostra o mesmo gráfico rotacionado de modo a salientar a resposta em frequência. É bom lembrar que, do ponto de vista prático, são importantes apenas os valores obtidos para $\omega \geq 0$.

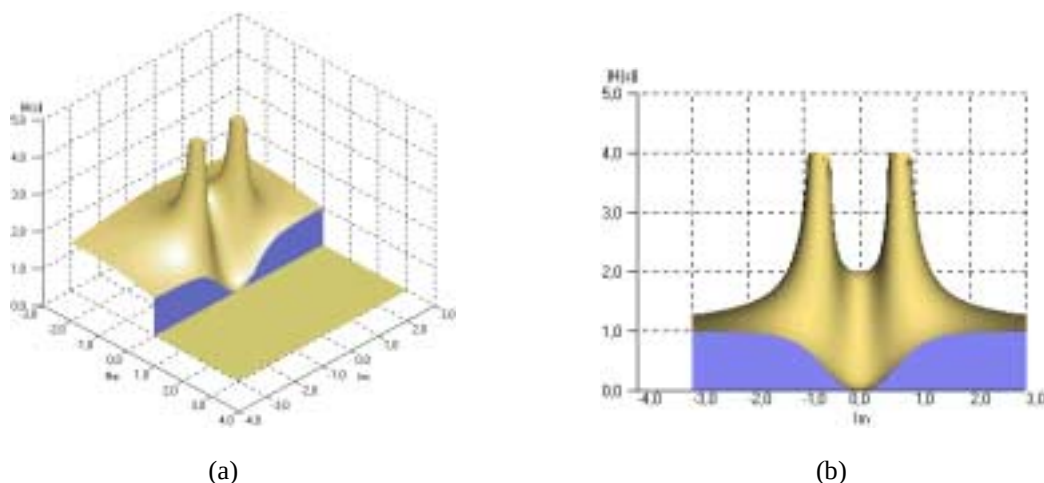


Figura 5. Corte da função 3D sobre o eixo imaginário, (a) visto do quarto quadrante e (b) visto diretamente sobre o eixo real.

Para mostrar os resultados obtidos com um sistema discreto, segue o exemplo de um filtro digital de resposta finita ao impulso (pólos na origem).

3.2 Filtro Digital *Comb* de Quarta Ordem

Neste exemplo, são fornecidas as raízes do filtro, de modo que o programa determine automaticamente a função de transferência do sistema. A localização é a seguinte:

Pólos: $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 0$ e Zeros: $Z_{1,1}^* = 0,707 \pm j 0,707$ e $Z_{2,2}^* = -0,707 \pm j 0,707$

Tais valores podem ser inseridos no plano z através do *mouse*, o que gera uma função com menor precisão, ou do teclado, como ilustrado na Fig. 6.

Como no caso do filtro analógico, após a entrada dos dados do filtro, a janela principal do programa exibe informações referentes à função de transferência do sistema, aos valores dos pólos e zeros e à localização deles sobre o plano z , às condições de estabilidade e realização do filtro, além do seu gráfico de resposta em frequência, como o ilustrado na Fig. 7.

A Fig. 8 apresenta a representação tridimensional do módulo de $H(z)$ sobre o plano complexo, utilizando uma escala de cores para representar a variação da amplitude. Este tipo de gráfico também pode ser obtido no caso do filtro analógico.



Figura 6. Caixa de diálogo para entrada de raízes via teclado.

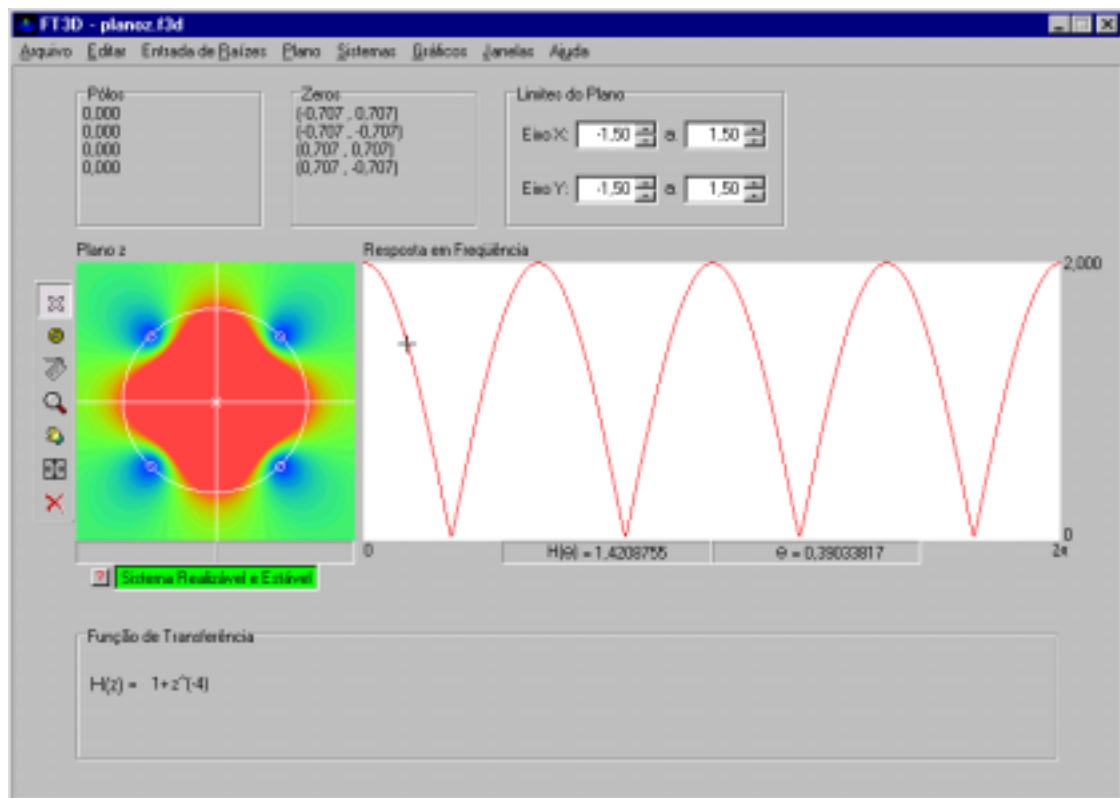


Figura 7. Janela principal após a entrada das raízes do filtro digital *comb*.

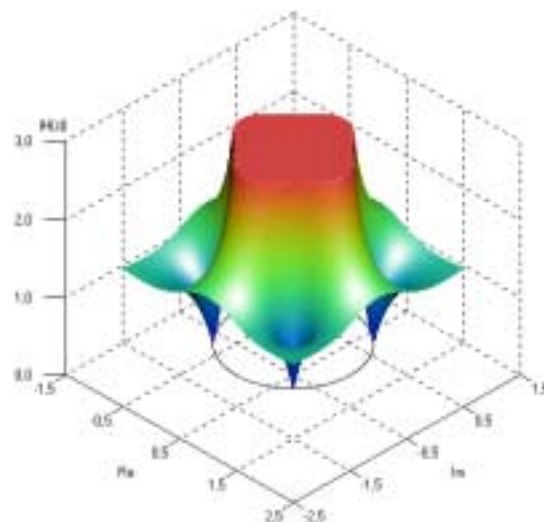


Figura 8. Gráfico tridimensional mostrando $|H(z)|$ utilizando escala de cores.

No gráfico apresentado na Fig. 8, é possível observar apenas três dos quatro zeros que tocam a circunferência de raio unitário. Na Fig. 9, pode-se observar todos os zeros, depois que o gráfico foi rotacionado até atingir uma orientação satisfatória.

Como no caso de um filtro analógico, a informação sobre o ganho de um filtro digital é agora dada por $|H(e^{j\theta})|$, que é a parte do gráfico 3D disposta sobre a circunferência de raio unitário. Para visualizar tal curva, o usuário pode optar por representar todo o lado interno do círculo de raio unitário, como mostra a Fig. 10.a ou apenas os valores obtidos sobre a circunferência, o que pode ser visto na Fig. 10.b.

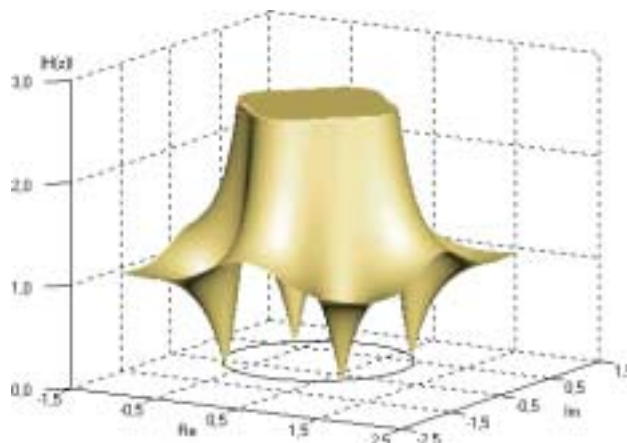
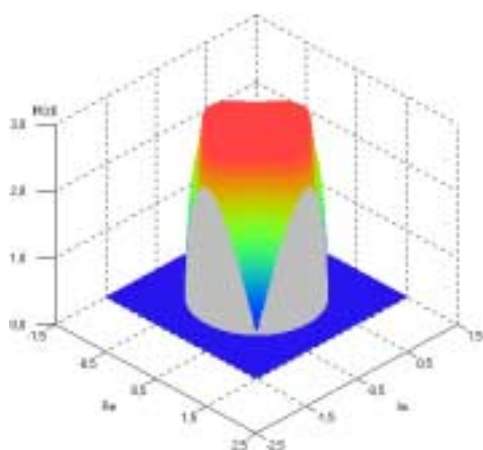
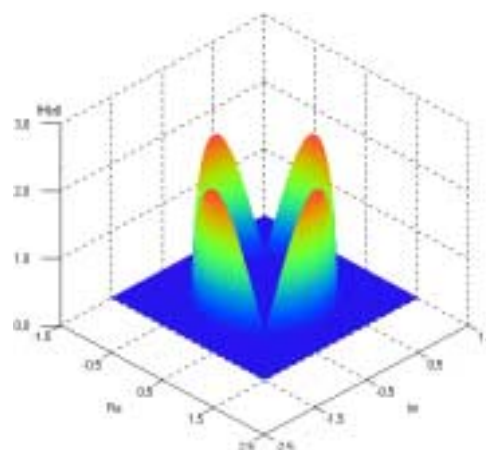


Figura 9. Nova orientação do gráfico 3D com apenas uma cor.



(a)



(b)

Figura 10. Corte da função 3D ao redor da circunferência de raio unitário, (a) mostrando $|H(e^{j\theta})|$ e mantendo os valores do lado interno do círculo e (b) apresentando apenas $|H(e^{j\theta})|$.

Além de outras funções já descritas, pode-se recorrer a um sistema de ajuda incorporado, que traz informações sobre as suas funcionalidades e organização da interface, além de exemplos didáticos de utilização da ferramenta.

4. DISCUSSÃO

Através dos dois exemplos dados anteriormente, onde as funções de transferência são pré-determinadas, fica demonstrado que o usuário pode ver o quão importante é a relação do posicionamento dos pólos e zeros, vistos através do gráfico tridimensional, com as curvas de resposta em frequência do sistema. Existe também a possibilidade de se acompanhar apenas as variações instantâneas que ocorrem no ganho, na fase e nas respostas no domínio do tempo à medida que se variam tais posições através do *mouse*. O sistema realiza tais tarefas de forma rápida, permitindo total interação com o usuário.

Visando a finalidade didática do software, limitou-se em oitava ordem o sistema analisado quando a entrada de coeficientes é feita via teclado. Quando se entra, via *mouse*, com as coordenadas de pólos e zeros, pode-se chegar a funções de ordem 100. O programa, em sua forma executável, tem tamanho de aproximadamente 1Mbyte, cumprindo assim mais um dos objetivos previstos.

5. CONCLUSÕES

Os objetivos básicos foram plenamente atingidos, tendo-se chegado a um software didático, com uma interface amigável, de baixo custo e com tamanho apropriado para ser armazenado em um disquete. Trata-se de uma ferramenta a ser empregada para auxiliar o aluno a compreender os fundamentos básicos sobre funções de transferência de sistemas analógicos e discretos.

A participação do aluno já foi de extrema importância na avaliação das primeiras versões, pois, compreendendo o que se ensinava através do software, deu sugestões importantíssimas para chegar-se à versão atual, que também conta com um sistema de ajuda. Esta ainda pode ser aprimorada, incluindo-se algoritmos para o cálculo de filtros, o que não era objetivo previsto para este software.

Finalmente, pode-se dizer que cálculos que vinham sendo feitos de uma forma um tanto mecânica pelo aluno, através de calculadoras e software não especializado para este fim, vêm sendo executados agora com mais prazer, o que leva a um maior grau de compreensão do conteúdo, por parte do aluno.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração dos Engenheiros Charles Roberto Stempniak e Wagner Rafael Landgraf pelas valiosas sugestões dadas na elaboração dos algoritmos do sistema.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Á. L. Stelle, “The Importance Of Showing Transfer Functions In Three Dimensions”, in Proceedings of the ICEE98 – International Congress on Engineering Education, 324, Section 21.
- [2] Á. L. Stelle, Gerador de Varredura para Fins Didáticos. Dissertação de Mestrado – UNICAMP, Campinas, SP, 1984.
- [3] R. L. Easton Jr., “Signals: Interactive Software for One-Dimensional Signal Processing Computer”, Applications in Engineering Education. vol. 1 no. 6, 1993, pp. 489-501.
- [4] C.R. Stempniak e Á. L. Stelle, “Software Básico para Análise de Sinais em Ambiente Windows”, em Anais do II Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica do CEFET-PR, 1997, pp. 19-20.
- [5] I. A. Lima, Um Sistema Didático de Auxílio à Aprendizagem na Área de Processamento Digital de Sinais. Dissertação de Mestrado – CEFET-PR, Curitiba, PR, 2000.
- [6] J. G.da C. G. Ribeiro, “Informática e a Criação de Ambientes de Aprendizagem”, Disponível na Internet http://www.fapeal.br/nies/trab/ambientes_aprendizagem.html, acessado em 08/06/2001.