

F809 - Instrumentação para o ensino - 2o. Sem. 2003

Coordenador: Prof. José Joaquin Lunazzi

Aluno: Omar Alves Ferreira – RA 962998

Orientador: Eng. Pedro Miguel Raggio

Relatório Final

Aplicativo para simulação de uma corda vibrante

Resumo

Este relatório descreve o aplicativo "Corda Vibrante", que simula através de um programa de computador, o comportamento de uma corda ao ser esticada e solta. O sistema "Corda Vibrante" foi incorporado ao sistema FÍSICA, composto de outras simulações desenvolvidas por alunos matriculados em F809, em semestres anteriores.

Introdução

A corda vibrante é um sistema muito importante para a física, já que seu comportamento guarda grandes semelhanças com muitos outros. A equação que governa o fenômeno da corda vibrante é a chamada **equação de onda**, presente também no estudo de ondas eletromagnéticas, ondas em fluidos e na mecânica quântica. O programa apresentado aqui explora um caso particular da equação de onda: a propagação de pulsos em uma corda com as extremidades fixas.

Importância didática

O aplicativo descrito por este documento procura dar ao usuário a possibilidade de interagir amplamente com um sistema digital que representa uma corda vibrante. Através de sua interface visual simples, o usuário pode alterar livremente os parâmetros do sistema e verificar quais as consequências em seu comportamento. O objetivo deste sistema é dar ao usuário a possibilidade de explorar os conceitos físicos e matemáticos envolvidos..

Ao se modificar a **densidade** e a **tensão** na corda, define-se qual será a frequência de vibração da mesma. Pode-se também modificar, através da interface, o amortecimento ao qual a corda estará sujeita enquanto estiver vibrando. Outra utilidade deste aplicativo é simular condições que seriam difíceis (ou impossíveis) experimentalmente, como por exemplo, um meio que não ofereça resistência movimento da corda.

Uma vez que a descrição do movimento de uma onda (pulsos) é feita através de harmônicos, exploramos também uma das aplicações das séries de Fourier. Ao se definir o formato em que a corda estará no instante inicial, ou seja a posição em que se encontrará cada um de seus elementos de massa, obtém-se

uma função que representa o formato da corda. Esta função deve ser expandida em série de Fourier, de modo a obter sua composição harmônica. A interface gráfica permite ao usuário definir o formato inicial da corda, imediatamente antes de ser solta e mostra um gráfico da função obtida através da expansão.

O aplicativo simula uma corda, mas pode ser utilizado para ilustrar o comportamento ondulatório de forma um pouco mais geral. Através deste sistema poderemos ver pulsos se deslocando através da corda e explorar fenômenos como a reflexão e sobreposição de pulsos.

Para seu desenvolvimento foram utilizadas tecnologias baseadas em software livre. O sistema operacional utilizado foi o Linux e a interface gráfica foi feita com componentes da biblioteca GTK (Gimp Toolkit). A linguagem de programação utilizada foi o C.

Além disto, o sistema é bastante leve e funciona muito bem em ambientes computacionais mais modestos. Conforme foi constatado ao ser testado em um computador com processador pentium 500Mhz.

Por serem softwares livres, podem adquiridos gratuitamente através da internet, são amplamente documentados e tem o código fonte disponível para qualquer pessoa interessada. Este fator torna o custo de utilização deste software bastante atraente.

Descrição do sistema

O software « Corda Vibrante » foi desenvolvido em linguagem C e sua interface gráfica é baseada nos recursos contidos nas bibliotecas GTK (Gimp Toolkit). O sistema operacional utilizado no desenvolvimento foi o Red Hat Linux 9.0, mas com poucas modificações poderá funcionar em qualquer outro sistema operacional, incluindo as variantes do MS Windows.

O que está sendo simulado

O aplicativo simula um sistema composto por uma corda homogênea, com as 2 extremidades fixas. As propriedades da corda (densidade e tensão) podem ser modificadas, bem como o fator de amortecimento do meio.

Para a implementação do programa de computador, que descrevemos aqui, utilizamos uma solução particular da equação de onda, com as seguintes condições de contorno.

$$i) u(x=0,t) = 0$$

$$ii) u(x=l,t) = 0$$

$$iii) u(x,t=0) = f(x)$$

$$iv) (du/dt)(x,t=0) = g(x) = 0$$

onde $u(x,t)$ é a chamada **solução geral** da equação de onda. As condições i) e ii) dizem, que as extremidades da corda se manterão fixa. A condição iii) diz que antes de ser solta, a corda terá um formato

que pode ser descrito por uma função de x (veremos mais adiante que esta função é definida graficamente pelo usuário ao clicar na área de simulação). A condição iv) diz respeito à velocidade inicial, que neste caso será sempre zero.

A descrição matemática do sistema simulado pode ser encontrada na bibliografia apresentada no final deste relatório.

Sobre o GTK

O GTK (Gimp Toolkit) é uma biblioteca de funções para a criação de interfaces gráficas. Fornece elementos como janelas, botões, campos para entrada de dados, áreas para desenho, etc. Há também os mecanismos para responder às ações do usuário relacionadas a tais elementos.

Apesar de ser uma biblioteca desenvolvida originalmente para ser utilizada com a linguagem C, fornece um modelo de API (application programming interface) orientado a objetos, utilizando a noção de classes e *callbacks* (apontadores para funções) para o tratamento de eventos. Encontram-se disponíveis APIs para outras linguagens, tais como Perl, Python, PHP, Pascal e várias outras.

O GTK foi escrito inicialmente para servir como base para o pacote GIMP (GNU Image Manipulation Program - programa gráfico bastante conhecido por usuários de software livre), mas acabou se tornando base para a criação de milhares de outros projetos de software.

O GTK é um software livre, licenciado sob a LGPL (Lesser GNU Public Licence) e pode ser baixado e utilizado livremente por desenvolvedores de outros softwares livres e até mesmo na criação de softwares comerciais e não livres.

Estrutura

A estrutura do programa é dividida em módulos e em grupos de funções, com o objetivo de facilitar o entendimento de seu código fonte, separando, sempre que possível, o código relacionado à lógica (cálculos) daquele destinado à visualização do usuário (interface gráfica).

Basicamente a divisão é feita como mostra a tabela abaixo.

Módulo	Título	Descrição
geral.c / geral.h	funções de uso geral	funções básicas para execução da simulação. Entre estas incluem-se funções matemática, como a que é utilizada para fazer a expansão da função que representa o formato da corda, em série de Fourier.
interface.c	interface gráfica para o usuário	área que contém os elementos visuais que torna possível a interação do usuário com sistema simulado. Esses elementos são campos para entrada de dados (spin-buttons) e botões com funções específicas (exemplo: soltar a corda).

Módulo	Título	Descrição
evt_interface.c	eventos associados a interface grafica para o usuário	funções destinadas a responder a eventos associados a interface, que tenham sido disparados pelo usuário, tais como cliques do mouse em botões.
evt_corda.c	eventos associados ao movimento da corda	funções que definem o formato (posição inicial) da corda e desenham a corda em um determinado instante.
defs.h	definições gerais	declaração de constantes e tipos de dados utilizados em todo o restante do sistema

Como funciona

O GTK se baseia no mesmo esquema utilizado por diversos outros mecanismos de gerenciamento de interfaces gráficas. Os programas em GTK entram em um *looping* ao serem iniciados. Os elementos gráficos iniciais são criados e introduzidos na interface e este looping aguarda a ocorrência de eventos.

Durante a modelagem de um aplicativo baseado em GTK, o(a) desenvolvedor(a) deve estabelecer quais são as respostas a serem dadas pelo sistema durante a interação de seu usuário final com o mesmo. Cada elemento gráfico da interface está sujeito a um conjunto de eventos específico. E cada evento, de cada elemento gráfico é associado a um mecanismo manipulador de eventos, isto é, uma função (conhecida como *callback*). Como exemplo, consideramos os botões presentes em uma interface gráfica: o usuário espera que ao clicá-lo o aplicativo reaja de alguma forma.

Muitos eventos são disparados pelo usuário, mas nem todos. Alguns dos eventos são disparados pelo próprio aplicativo ou ainda pelo sistema operacional em que está sendo executado. O mecanismo que « anima » o desenho da corda, neste caso, é um bom exemplo disso: a cada 30 milissegundos, o aplicativo dispara um evento que faz com que uma função atualize o desenho da corda.

Como utilizar

Ao ser iniciado pelo usuário o aplicativo abrirá sua interface ao usuário através de uma janela, como a mostrada na ilustração abaixo. Nesta interface se destacam duas áreas: a área superior, em branco, é onde será mostrada a corda em animação. Na figura, a corda é a linha localizada no centro desta área. A área abaixo desta contém os campos para entrada dos parâmetros gerais da simulação e botões de controle.

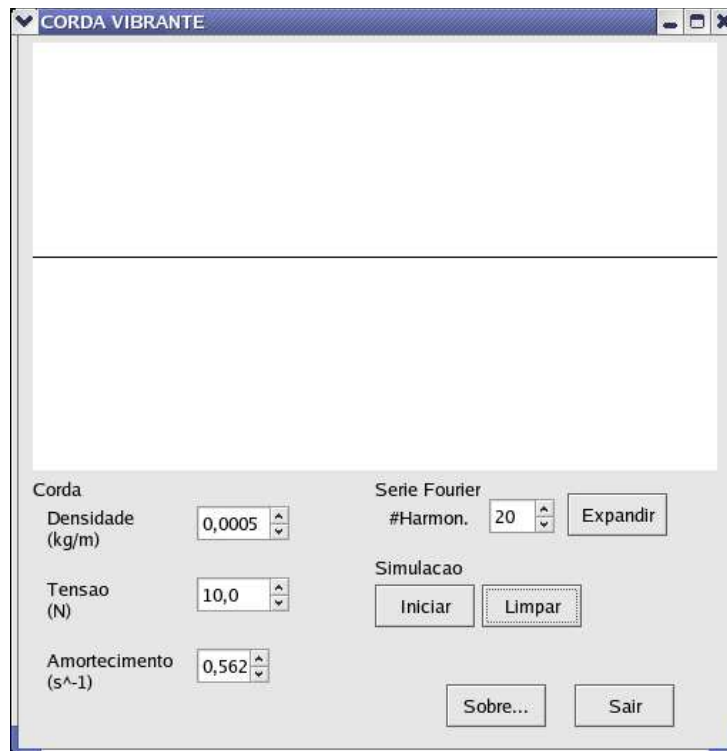


Ilustração 1 Visão geral da interface. Através dos campos para entrada de textos, o usuário pode modificar o parâmetros básicos da simulação (densidade e tensão da corda e fator de amortecimento).

Os parâmetros para a simulação são inseridos na interface pelo usuário através de campos de entrada de texto. Ao se iniciar o aplicativo, alguns valores são colocados como padrão. Os parâmetros que devem ser fornecidos à simulação através destes campos são os seguintes: **densidade da corda** (massa por unidade de comprimento), **tensão a que está sujeita**, **fator de amortecimento** e **número de harmônicos que participarão da simulação da corda**.

Além dos campos introduzidos através da entrada de textos, o usuário deve determinar o formato inicial da corda, ou seja, os pontos por onde a corda será esticada e o quanto será esticada. Ao fazer isso, será mostrado o formato adquirido pela corda, como na figura abaixo:

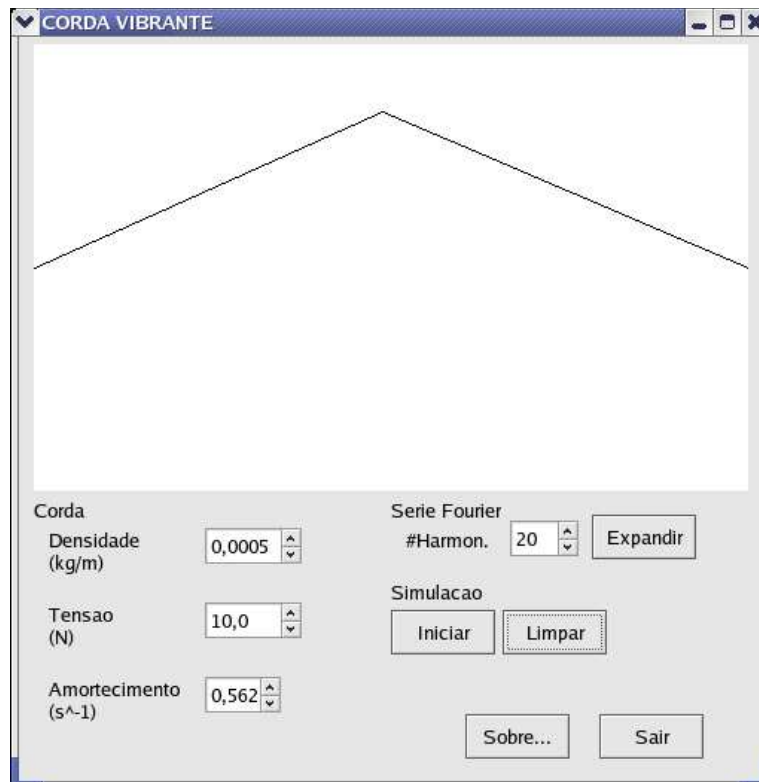
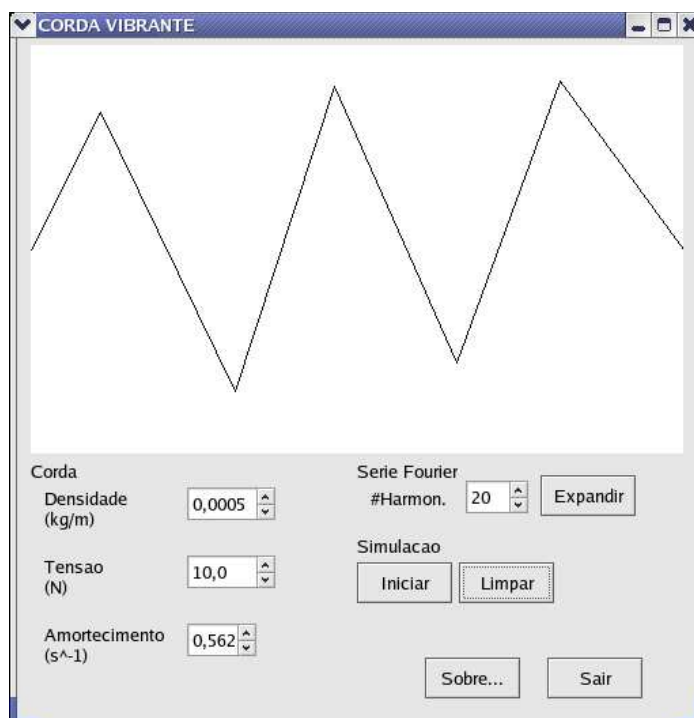


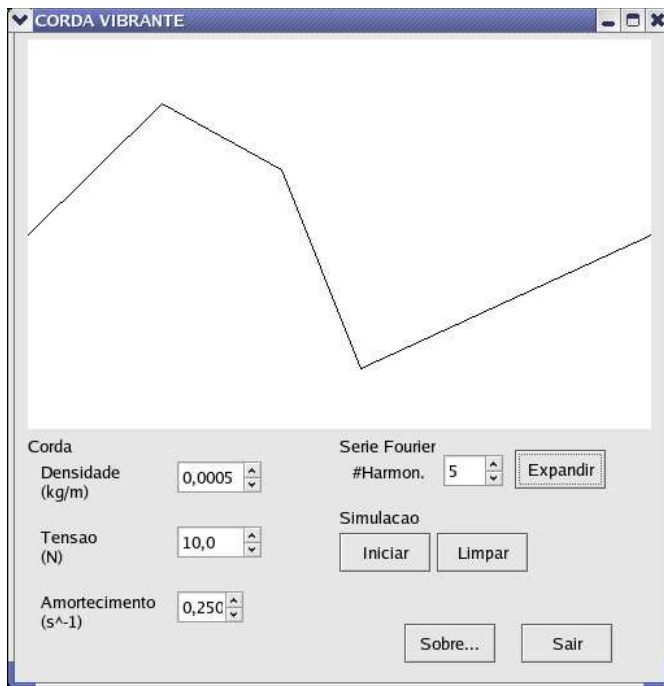
Ilustração 2ao se clicar na área de simulação (em branco), inclui-se mais um ponto de sustentação para a corda. Neste caso a corda tem 1 ponto por onde está sendo sustentada. Não estão sendo contadas as extremidades.

A corda poderá ser puxada através de muitos pontos. Na figura abaixo adicionamos mais pontos. Cada ponto é adicionado com um clique no botão do mouse.

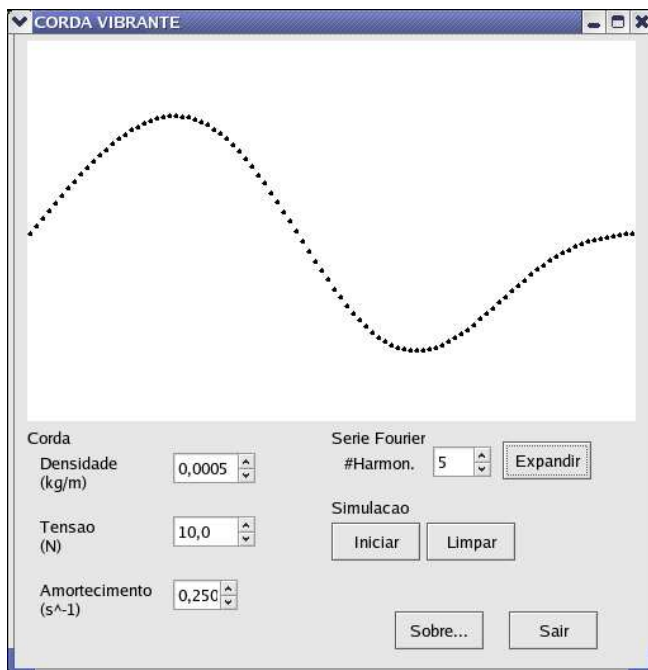


O formato adquirido pela corda, até este momento é descrito através de uma função linear. No entanto para que possamos iniciar a simulação da evolução do formato da corda será necessário obter os seus

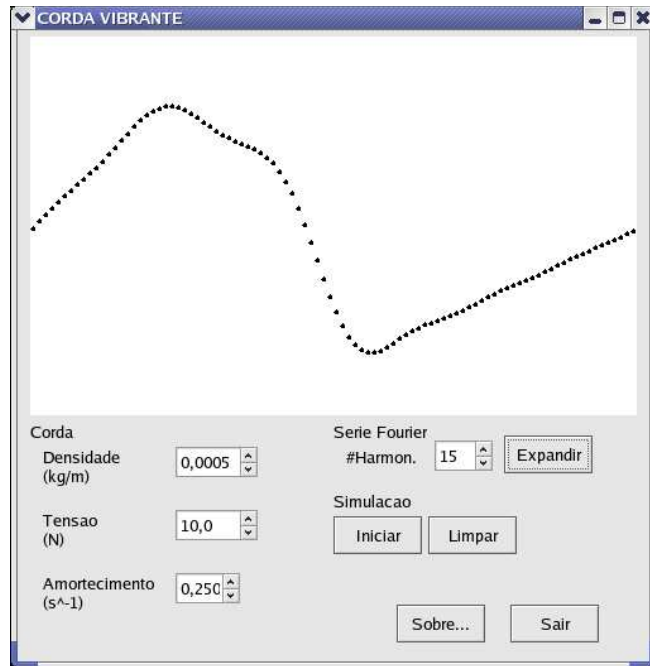
harmônicos, ou seja, o aplicativo irá expandir a função que representa o formato da corda em uma série de Fourier. Conforme vemos através da figura, há um campo por onde se introduz o número de harmônicos que serão incluídos na série. Podemos previsualizar a forma inicial da corda, se descrita através de harmônicos, clicando o botão « Expandir ». Na figura abaixo, observa-se a corda esticada em um formato arbitrário.



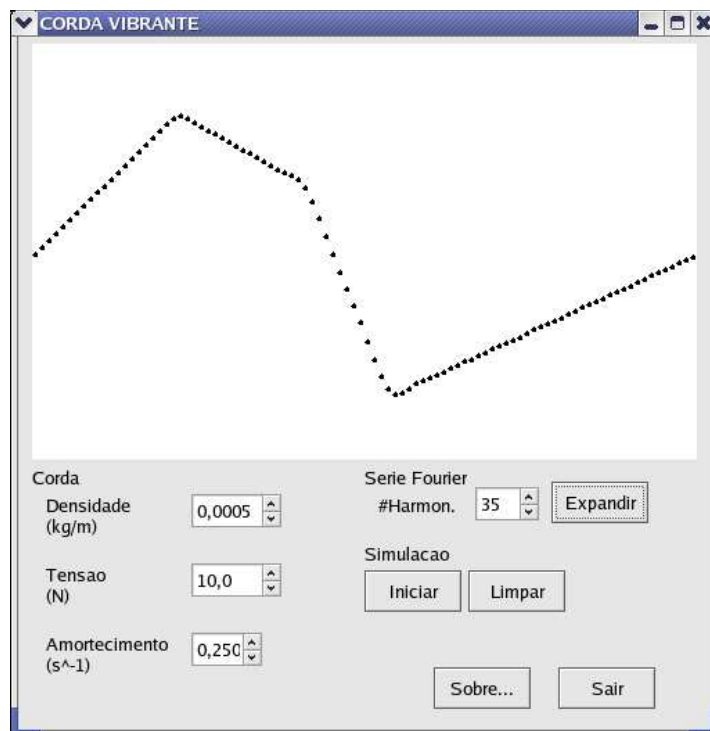
Na figura seguinte, vemos o que ocorre quando se expande a função que representa a forma da corda acima, somando-se os 5 primeiros harmônicos.



Abaixo com 15 harmônicos.



E finalmente com 35 harmônicos,



Observe que o formato da corda esticada fica cada vez mais parecido com o original a medida que aumentamos o número de harmônicos. O sistema admite que se inclua até 500 harmônicos, no entanto, quando maior for este número mais lenta serão os cálculos.

Até agora o que se simulou foi apenas o esticamento da corda. Pode-se dizer que até este momento a corda ainda está presa. Para soltar a corda e iniciar sua animação, é necessário clicar no botão « Iniciar ».

A partir do momento em que isto ocorrer, será iniciada a simulação da vibração da corda. O sistema este evento como o instante inicial (ou seja $t=0$).

Conclusões

O GTK fornece um excelente ambiente para o desenvolvimento de simulações envolvendo animação. Possui recursos gráficos muito poderosos, já foi portado para muitas plataformas e é um software livre.

O princípio gráfico utilizado na simulação apresentada aqui é o mesmo utilizado na apresentação de um filme, ou seja, a animação é apresentada quadro-a-quadro, numa taxa suficientemente alta para que os olhos humanos tenham a impressão de estarem vendo algo em movimento. A diferença é que os quadros aqui são desenhados dinamicamente, conforme os parâmetros fornecidos pelo usuário.

Isto indica que muitos outros sistemas físicos, que envolvam movimento podem ser simulados de forma relativamente simples. Estas possíveis simulações podem permitir ao usuário um alto grau de interatividade e possivelmente ajudar em seu aprendizado.

Referências

GTK (Gimp Toolkit) - <http://www.gimp.org>

Corda Vibrante

Differential And Integral Calculus - N. Piskunov

Cáp. XVIII - Equations of Mathematical Physics