

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Instituto de Física “Gleb Wataghin” – IFGW

F 609A - Tópicos de Ensino de Física I

# Vibrações e Construções



Aluno: Bruno Furlan Greco ( [b031507@dac.unicamp.br](mailto:b031507@dac.unicamp.br) )

Orientador: Prof. Dr. Daniel Mario Ugarte ( [dmugarte@ifi.unicamp.br](mailto:dmugarte@ifi.unicamp.br) )

Coordenador: Prof. Dr. José Joaquim Lunazzi

## **Sumário**

Resumo .....	3.2
Introdução.....	3.2
Projeto .....	3.2
Dificuldades Encontradas .....	3.4
Montagem Experimental .....	3.4
Resultados Obtidos .....	3.6
Comentários .....	3.6
Agradecimentos .....	3.7
Referencias.....	3.7
Anexos.....	3.8

## Resumo

O presente trabalho buscou levar de forma acessível para estudantes de ensino médio o problema das vibrações em grandes construções (edifícios e pontes). O experimento consiste basicamente de uma plataforma com capacidade para vibrar em diferentes frequências. Sobre esta plataforma é possível colocar um pêndulo simples e um duplo, um tubo de papel sobre uma espoja (simulando um prédio) e uma corda (simulando uma ponte). Para alguns deles foram reproduzidas alternativas semelhantes aplicadas na construção civil capazes de diminuir as vibrações.

## Introdução

Muitos são os desafios para a construção de grandes prédios e ou grandes pontes. A principal dificuldade é a de construir estruturas capazes de suportar vibrações que podem ser causadas por terremotos ou até por ventos. A engenharia de construções avançou muito no desenvolvimento de materiais mais leves e resistentes para a construção, mas saiba que no passado pontes de mais de 1600 m, feitas de aço e concreto já foram derrubadas por ventos de 65 Km/h. Parece impossível, mas mesmo um vento fraco ou um pequeno tremor de terra pode trazer grandes danos a edificações.

Isso acontece porque essas estruturas possuem uma frequência natural de vibração, se a vibração do terreno (ou provocada por ventos) for igual a essa frequência a construção começa a vibrar mais intensamente, fenômeno conhecido como ressonância.

## Projeto

### **Lista de Materiais 1:**

- Motor elétrico
- Molas de diferentes constantes elásticas
- Chapa de metal ou de madeira lisa
- Esferas de rolamento
- Potenciômetro
- Tabuas de madeira fina (prédio)
- Massa de chumbo

**Descrição:** Construção de um sistema massa-mola que sirva de auxílio para os estudo das vibrações mecânicas. O aparelho consistirá de um pequeno motor elétrico ligado a uma polia fora de centro para criar vibrações e sua rotação será controlada através de um potenciômetro. O motor elétrico ficará preso à haste de sustentação do sistema massa mola e o fará vibrar.

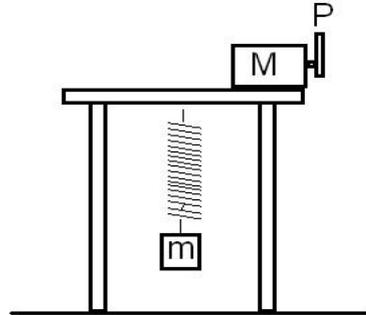


Fig.1 – Esquema simplificado do sistema massa-mola composto de um motor elétrico(M), uma polia(P) e uma massa(m) presa em uma mola.

A massa  $m$  poderá ser variada adicionando pequenos pesos de chumbo e assim se obter mais variáveis para este fenômeno.

Para observar quais seriam os efeitos das vibrações em estruturas criadas pelo homem será construído um prédio em miniatura que ficará sobre uma chapa. O prédio poderá ficar solto ou preso por uma estrutura macia (borracha). O motor elétrico utilizado no sistema massa mola será parafusado a chapa para que seja possível derrubar o prédio com as vibrações. A engenharia de construção encontrou várias formas de evitar que a estrutura de um edifício sofra um colapso durante um terremoto ou mesmo durante ventos fortes e esse métodos serão realizados no experimento.

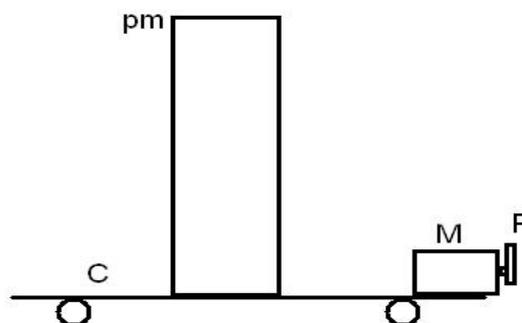


Fig. 2 – Esquema do prédio em miniatura (pm), com motor elétrico(M), polia(P), esferas de metal embaixo de uma chapa (C).

## Dificuldades encontradas

Uma série de dificuldades foram encontradas para a realização do projeto original e fizeram com que houvessem muitas modificações. No projeto original a idéia era criar vibrações fazendo o motor girar uma polia com massa fora de centro. O movimento de vai e vem do carrinho seria causado pela conservação da velocidade do centro de massa, mas não deram certo devido alguns fatores. O primeiro é que a oscilação deve ter uma frequência não maior que alguns Hertz, fazendo que a ação para pouca massa fora de centro não seja eficiente. Foi feita uma tentativa de se corrigir este fato adicionando mais massa, porém não deu certo pois esta influenciava rotação do motor, a deixando descontínua. O motor elétrico diretamente sobre a chapa transmitia muitas vibrações indesejáveis e produzia muito barulho, prejudicando o experimento.

## Montagem Experimental

Com os problemas encontrados houveram grandes alterações, ao invés de se construir um sistema massa mola, acabei optando por utilizar pêndulos, pois poderia aproveitar a plataforma utilizada para o prédio miniatura. Para o sistema massa mola teria que produzir vibrações verticais em um sistema totalmente diferente para o prédio. Os materiais realmente utilizados foram:

### **Lista de Materiais 2:**

- motor elétrico 40W
- dimmer comercial
- carrinho de brinquedo (fricção)
- tabuas de madeira
- massas de plástico
- Esponja
- papel cartão
- alfinetes
- pedaço de corda
- cola (escolar e araldite)
- pedaço de corda
- pedaços de papelão
- arame

A caixa de engrenagens do carrinho de brinquedo foi retirada e fixada na lateral da tábua de madeira. Essa caixa de engrenagens possui um grande disco de metal que gira em velocidade muito superior as rodas do carrinho. Foi usada para diminuir a rotação do motor elétrico que é da ordem de  $10^3$  rpm para uma frequência de aproximadamente 60 rpm. Essa é a frequência aproximada de um pêndulo ou de um tubo (da ordem de 1 m) em pé balançando.

O eixo do motor elétrico se apóia nesse disco, um pequeno pedaço de mangueira de borracha introduzido no eixo do motor ajuda a reduzir os ruídos. O eixo que sai da caixa de engrenagens (vertical) foi ligado a uma base do carrinho de brinquedo onde ficam as rodas por um sistema com eixo fora de centro, fazendo com que o carrinho execute um movimento para frente e para trás.

Fig. 3 – vista frontal da base do experimento



A base para os pêndulos foi construída com os pedaços de papelão e o arame serviu como haste de sustentação para os dois pêndulos

A miniatura do prédio foi feita com um tubo de papelão preso por alfinetes a esponja. A quantidade de alfinetes pode ser aumentada, simulando um edifício com alicerce mais firme.

## Resultados obtidos

Ao se colocar o pêndulo simples sobre a plataforma em cima do carrinho (não mostrada na foto) é possível notar que para as frequências mais baixas o pêndulo não apresenta vibração significativa. Quando a frequência de vibração da plataforma é próxima a do pêndulo ele começa a vibrar e entra em ressonância. Quando a frequência da plataforma ultrapassa a frequência do pêndulo, também não há vibração significativa.

Para o pêndulo duplo, também existe uma faixa de frequência em que a vibração é maior, mas como se trata de um sistema caótico os ciclos não são tão regulares e às vezes ele para de vibrar.

As mesmas características foram observadas para o tubo de papel sobre a esponja simulando um edifício, existe uma faixa mediana de frequência onde a vibração do tubo é maior. Ao aumentar a quantidade de alfinetes que prendem o tubo de papel a esponja há uma diminuição significativa na amplitude de movimento. Também foi observado que mudar a distribuição de massa no tubo de papel modifica a frequência de ressonância. Essa é uma tentativa que muitos engenheiros fazem para afastar a frequência própria de um prédio das frequências comumente encontradas em abalos sísmicos.

A corda presa fica com uma extremidade presa na plataforma vibrante e a outra pode ser segurada por um espectador. Também apresentou os padrões dos outros corpos citados anteriormente. Para tentar amenizar sua amplitude de vibração, foram acoplados pequenos pêndulos embaixo da corda e eles alteraram a frequência de ressonância e também a amenizaram.

## Comentários

No início deste trabalho encontrei muitas dificuldades em tentar realizar projeto original. Fiz alguns cálculos e até comprei alguns materiais em lojas, mas não obtinha sucesso. Percebi que um projeto é a parte mais difícil de se realizar pois é impossível prever todas as pequenas dificuldades que vão surgindo nos experimentos. Talvez para alguém que tenha grande disponibilidade de materiais e ferramentas essa não seja a maior dificuldade, pois em caso de uma falha, fica mais fácil

encontrar a peça que teria a função exata ou dar um ajuste ou substituir as peças. Porém para aquele que não tem acesso a ferramentas e materiais diversos, acho que muitas vezes é bom começar trabalhando com o que se tem à mão, de uma forma mais empírica.

Foi assim que trabalhei nesse experimento após o fracasso na tentativa de realizar o projeto, deixei os cálculos de lado e através de observações sem auxílio de instrumentos fui notando que um tubo de papel tem a frequência da ordem de 1segundo e que o motor elétrico disponível junto com a caixa de engrenagens podia gerar essa frequência. O ajuste do tamanho dos pêndulos foi feita também através da experiência, sem cálculos prévios.

Também não me concentrei no uso de fórmulas ou de funções senoidais para explicar a ressonância, essa abordagem mais qualitativa talvez desperte mais interesse em alunos do ensino médio.

Os resultados obtidos foram muito bons e fáceis de se observar. Acho que é um tema interessante para o aluno do ensino médio, pois este se interessa em saber para que serve a física e as outras coisas que estuda e o assunto abordado mostra uma aplicação da física na resolução de grandes problemas.

O meu orientador, Prof. Dr. Daniel Mario Ugarte realizou os seguintes comentários:

Você foi claro sobre as dificuldades encontradas para fazer um projeto desde zero, e como foi procurando as soluções, muitas vezes empiricamente. Felicitações pela motivação e perseverança.

Em alguns tramos seu relatório é muito qualitativo. Poderia ganhar muito sendo mais quantitativo, e visual, com o agregado de figuras ou esquemas.

Muito texto requer muita imaginação do leitor. Com mais figuras e esquemas ganharia muita clareza.

## Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador pela escolha do tema muito interessante e adequado para alunos do ensino médio e pelas idéias certas para o funcionamento do experimento. Também a minha esposa pela paciência que teve com a bagunça que fiz pela casa durante a montagem do experimento.

## Referências

[http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10\\_T03.asp](http://www.feiradeciencias.com.br/sala10/10_T03.asp)

<http://ciencia.hsw.uol.com.br/pontes10.htm>

<http://ciencia.hsw.uol.com.br/arranha-ceus.htm>

<http://www.fcfrp.usp.br/dfq/Fisica/Guia%20Massa%20Mola/Massa-Mola.pdf>

<http://www.seara.ufc.br/tintin/fisica/ressonancia7.htm>

<http://ciencia.hsw.uol.com.br/estruturas-inteligentes2.htm>

<http://www.ajc.pt/ciencia/n26/avulso2.php>

<http://cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/3739>

[http://en.wikipedia.org/wiki/Tacoma\\_Narrows\\_Bridge#Collapse](http://en.wikipedia.org/wiki/Tacoma_Narrows_Bridge#Collapse)

Nussenzveig, H. M., Curso de Física Básica, Vol 2, Ed. Edgard Blucher, São Paulo 1981-1983

## Apêndices

### 1) conceito de ressonância

Ressonância mecânica ou simplesmente **ressonância** é o fenômeno físico em que se registra a transferência de energia de um sistema oscilante para outro, quando a frequência do primeiro coincide com uma das frequências próprias do segundo.

Este fenômeno tem aplicações importantes em todas as áreas da ciência, sempre que há a possibilidade de troca de energia entre sistemas oscilantes.

A aplicação mais palpável é na área das telecomunicações em que as ondas eletromagnéticas atuam como intermediárias na transmissão das informações do transmissor até o(s) receptor(es), constituindo-se o que se chama sinal.

Também se pode destacar a área da espectroscopia, em que a energia radiante incidente é absorvida, refletida ou ainda transmitida pela amostra, fornecendo como resultado um espectro que é a informação da energia absorvida em função do comprimento de onda (ou da frequência) em forma de um gráfico.

Em mecânica celeste, é comum encontrarem-se períodos orbitais entre astros orbitando o mesmo corpo cuja razão é da forma  $p/q$ , sendo  $p$  e  $q$  números inteiros pequenos. Estes períodos aparecem por causa de forças não-gravitacionais, e são estabilizados pela ressonância

Algumas vezes o fenômeno da ressonância é indesejável, pois pode aumentar a amplitude de vibração de um corpo rapidamente e destruí-lo, como já aconteceu com a Ponte de Tacoma. Um vento de 65 Km por hora causou ressonância na ponte e a destruiu. Asas de aviões mal projetados também podem entrar em ressonância e se partir em pleno vôo.

## 2) Ponte de Tacoma

A ponte de Tacoma, situada sobre o estreito de Tacoma no estado de Washington-EUA entrou em ressonância e colapsou em maio de 1940. O evento foi gravado e o filme pode ser facilmente encontrado na internet.

A causa do colapso, descoberta mais tarde, foi um vento de 65 Km por hora, em uma pequena balançada da ponte começaram a se criar vórtices de vento alternados, hora em cima, hora embaixo que aumentavam a amplitude do movimento.

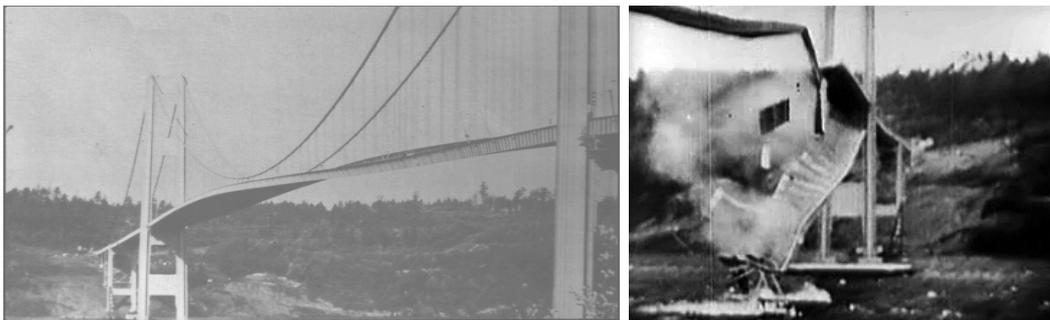


Fig 4 :ponte de Tacoma em modo de ressonância torcional e em seguida colapso.

A ponte Rio-Niterói também enfrentou alguns problemas de ressonância, não chegou a desabar ou sofrer danos, mas quando o vento vinha do quadrante sudoeste com velocidade de 55 km/h o tráfego tinha que ser interrompido. Nessas condições a ponte balançava com uma amplitude de 1,2m com um período de 3 s.

Para resolver esse problema foram instaladas 32 unidades ADS (Atenuadores Dinâmicos Sincronizados). Cada unidade consiste de uma caixa de aço com 2 toneladas cada, penduradas por molas helicoidais com capacidade para se alongar 3,5m cada. Quando a ponte começa a oscilar pelo vento, as caixas de aço também vibram e contrabalançam o movimento da ponte.



Fig 5: ADS em um laboratório e instalados na viga caixão da ponte rio-Niterói.

### 3) Instalação elétrica

A instalação elétrica utilizada no experimento é extremamente simples. Utilizei um motor de máquina de costura antigo, com potência 40W, ligado a um dimmer comercial com capacidade para 80W de potencia. Para que não fiquem dúvidas, o esquema da instalação elétrica é:

