

Encontro Regional de Engenharia Estrutural

Fortaleza 4 de agosto de 2023

Questões práticas relacionadas à *compreensão musical da* análise dinâmica de edifícios altos

Eng. Sérgio Stolovas

1



Em homenagem ao amigo Dácio Carvalho

2

O Eng. Dácio Carvalho e o amor pela música



Aerosmith – "Cryin'" 1993



Bob Marley - "No Woman, No Cry" 1974



Lady Gaga - "Is That Alright?" 2018



The Beatles – "Let It Be" 1970



Nirvana - "Tiny Goddess" 1967



Maroon 5 - "Memories" 2019

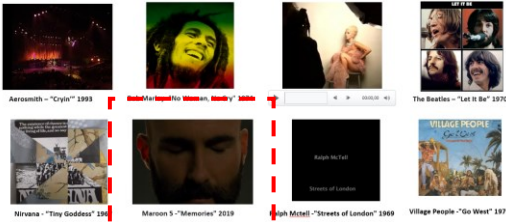


Ralph McTell - "Streets of London" 1969



Village People - "Go West" 1979

3

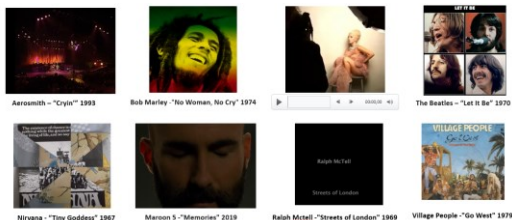


Qual é a relação de todos estes sucessos da música POP com a Dinâmica Estrutural?



Maroon 5 - "Memories" 2019

4

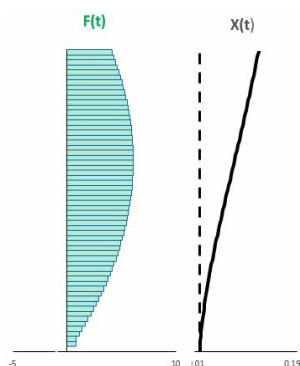
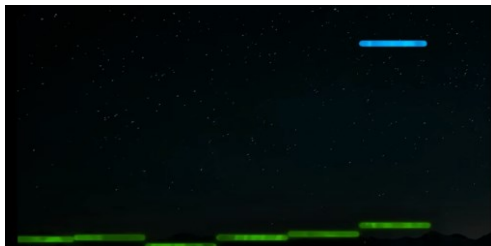


Qual é a relação de todos estes sucessos da música POP com a Dinâmica Estrutural?

Todas essas músicas POP são “variantes estruturais simplificadas” do Cânone de Johann Pachelbel (século XVII).

Seu nome original é Cânone e Giga para 3 violinos e baixo contínuo, às vezes também chamado de Cânone e Giga em ré maior.

5



Os efeitos da música são essencialmente dinâmicos. A harmonia polifônica não acontece em um instante, é consequência da história de acordes sequenciais que o antecedem.

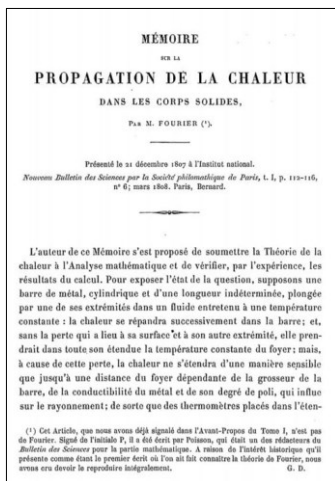
O Cânone de Pachelbel é governado pela superposição dos contrapontos dos 3 violinos e do violoncelo.

O mesmo acontece com o “instrumento” estrutura de edifício alto:

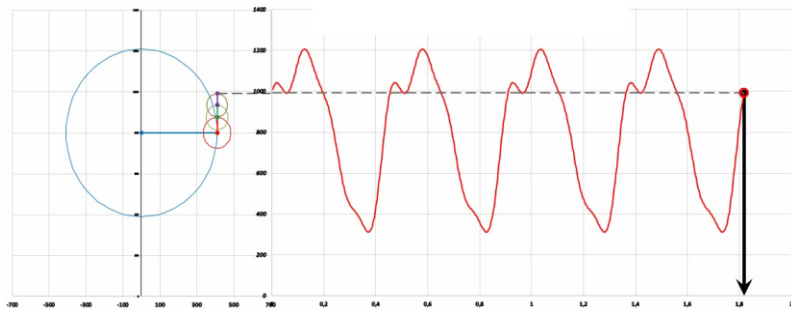
Tanto a resposta como a ação muda com o tempo. A estrutura atinge diversas configurações que dependem da história das ações.

Os efeitos induzidos pelo vento em edifícios altos são respostas estruturais induzidas pelas componentes harmônicas das histórias de pressões que acontecem na interface ar-edifício.

6



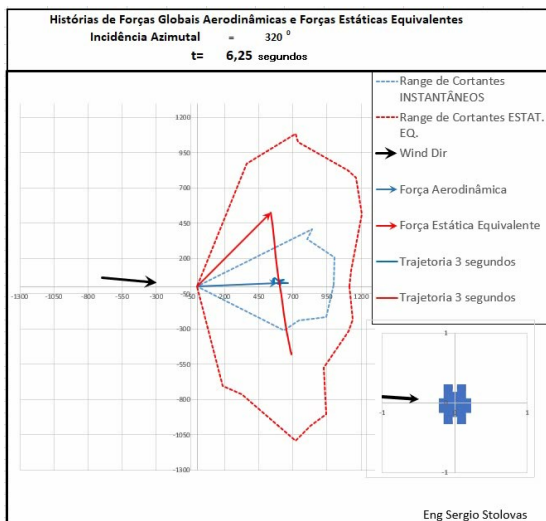
Jean Baptiste-Joseph Fourier introduz em 1807 a ideia “disparatada” que qualquer função, mesmo que seja “arbitrariamente doida”, poderia ser representada mediante combinação lineal de funções harmônicas (senoidais) com períodos submúltiplos do período fundamental



A média da função (o termo constante) equivale ao violoncelo e cada uma das componentes harmônicas equivale a um violino do Cânone de Pachelbel.

7

Princípios do Aplicativo TQS HFPI-BR (Eng. Sérgio Pinheiro e Eng. Sérgio Stolovas)



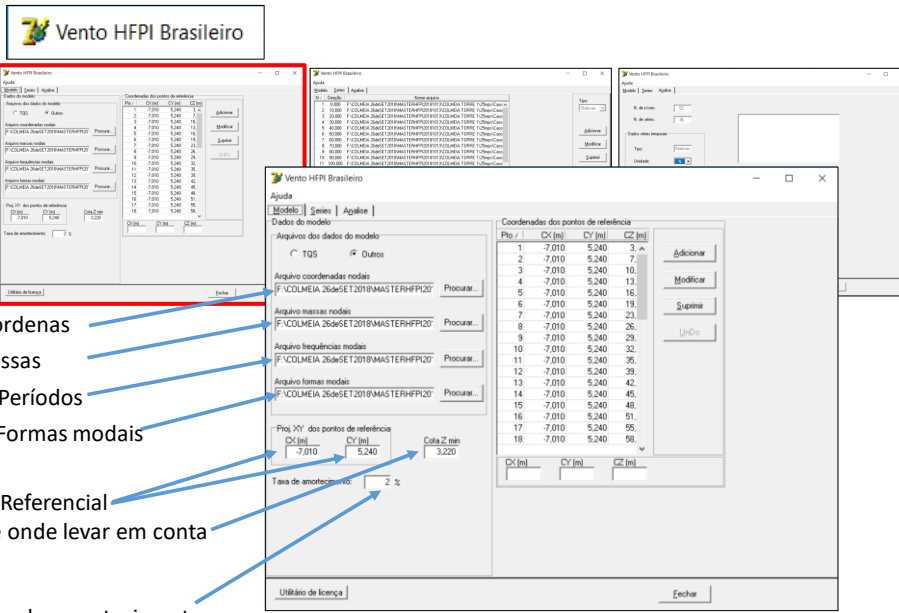
Para obter a resposta estrutural induzida pelo vento em um edifício alto se coletam sequências de 2048 registros associadas as histórias de forças generalizadas mediante um ensaio de Túnel de Vento.

Essas histórias são decompostas mediante transformadas de Fourier em 512 componentes harmônicas que individualmente resultam de integração trivial.

Ou seja, a complexa ação do vento coletada no teste de túnel de vento é transformada em um “cânone” como superposição de um violoncelo (força média) e 512 violinos (as 512 componentes harmônicas).

8

HFPI-BR Calculator

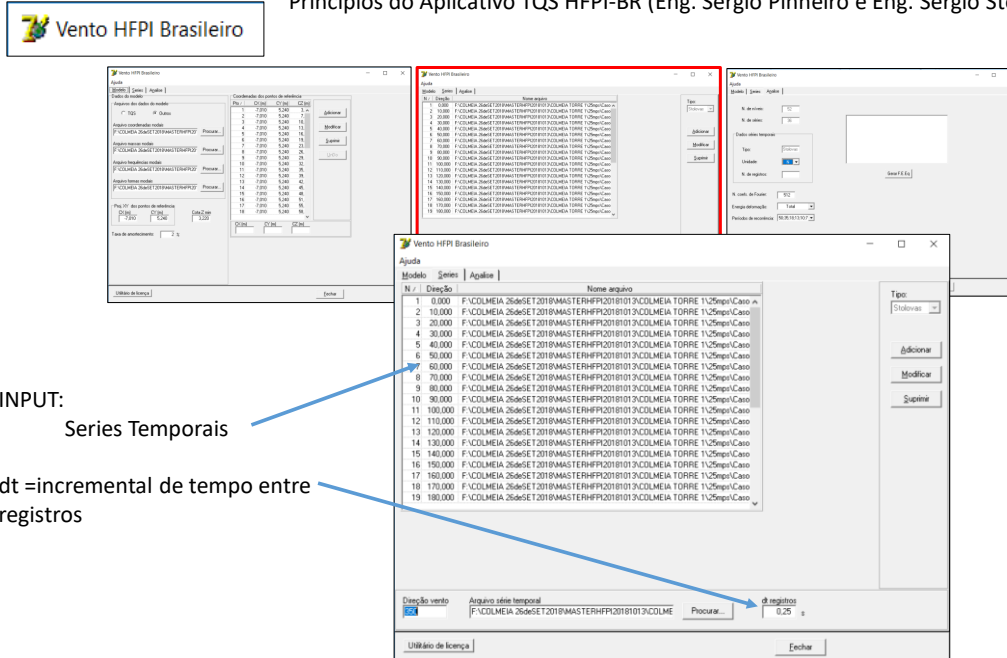


Sérgio Stolovas- STO Análise e Soluções Estruturais

C

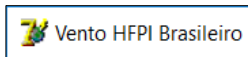
9

Princípios do Aplicativo TQS HFPI-BR (Eng. Sérgio Pinheiro e Eng. Sérgio Stolovas)

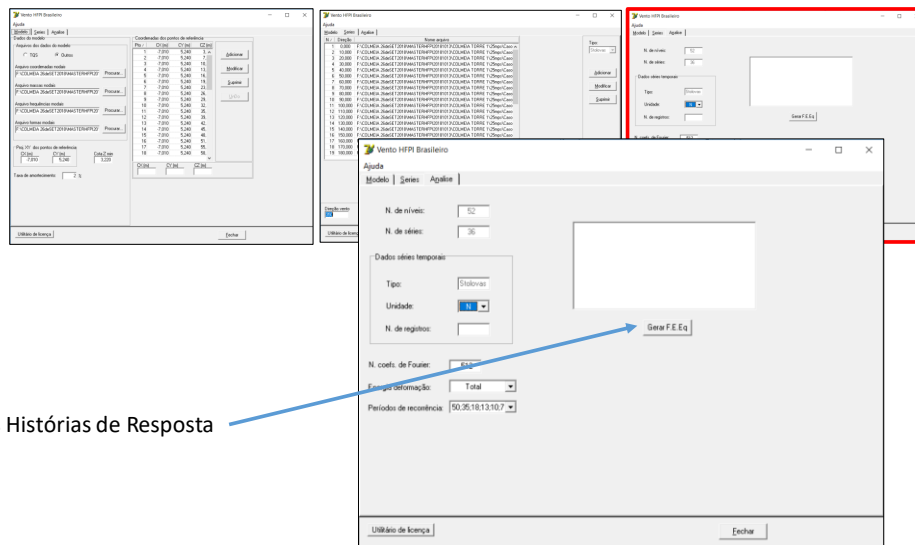


10

10



Princípios do Aplicativo TQS HFPI-BR (Eng. Sérgio Pinheiro e Eng. Sérgio Stolovas)



GERA as Histórias de Resposta

Sérgio Stolovas- STO Análise e Soluções Estruturais

11

11

Sloshing

Movimento do líquido contido em um recipiente devido a efeitos inerciais
As oscilações das estruturas de edifícios altos induzem ondas na massa líquida das piscinas (e de qualquer recipiente solidário ao movimento da estrutura).



Dependendo dos atributos modais e inerciais da Estrutura e das características da piscina, a oscilação da estrutura (mesmo que moderada) pode eventualmente induzir ondas amplificadas e o subsequente derramamento do fluido.

12

Teoria

O campo de velocidade para um tanque bidimensional:

$$\vec{u}(x, z, t) = u_x(x, z, t)\vec{i} + u_y(x, z, t)\vec{k}$$

Considerando que o líquido é irrotacional, existe um campo potencial de velocidades:

$$\phi = \phi(x, z, t)$$

$$u_x(x, z, t) = -\frac{\partial \phi}{\partial x}$$

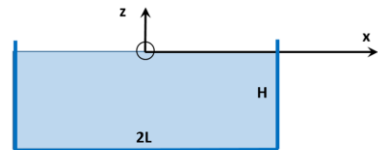
$$u_y(x, z, t) = -\frac{\partial \phi}{\partial z}$$

Equivalente a dizer que:

$$\vec{u}(x, z, t) = -\nabla\phi(x, z, t) = -\frac{\partial \phi}{\partial x}\vec{i} - \frac{\partial \phi}{\partial z}\vec{k}$$

Ao considerar o fluido incompressível se cumpre a equação de Laplace:

$$\nabla^2\phi(x, z, t) = 0$$



A solução geral da equação de Laplace será combinação linear de funções simétricas e assimétricas:

Assimétricas:

$$\phi_k(x, z, t) = \sin\left(\frac{k}{L}\pi x\right) \cosh\left[\frac{k}{L}\pi(z + H)\right]$$

$$k = 1, 3, 5, \dots, 2m - 1$$

Simétricas:

$$\phi_k(x, z, t) = \cos\left(\frac{k}{L}\pi x\right) \cosh\left[\frac{k}{L}\pi(z + H)\right]$$

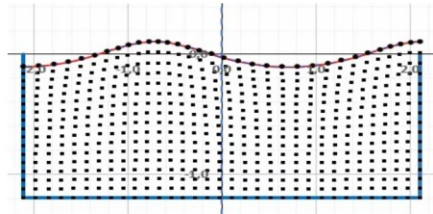
$$k = 2, 4, 6, \dots, 2m$$

13

O sloshing das piscinas instaladas em andares de edifícios altos é consequência da “dança” da massa inercial de água quando é obrigada a acompanhar a oscilação induzida pelo vento no “instrumento” estrutura.

14

***Exemplo de Análise de Sloshing de uma piscina na
cobertura de um Edifício Alto***



26 de maio de 2020

<https://www.youtube.com/watch?v=XO8LmzmRceE&t=23s>

[Eng. Sérgio Stolovas - STO ANÁLISE E SOLUCOES ESTRUTURAIS](#)

15

OBRIGADO

16