

## Dúvidas sobre Análise Dinâmica

### Dúvida enviada à Comunidade-TQS

Não encontro resposta para algumas questões sobre análise dinâmica, tais como:

1. Qual a formulação utilizada pelo TQS?
2. A análise é linear?
3. Após o cálculo da frequência natural da estrutura, comparamos com as frequências dadas no cap 23 da NBR6118, majorada por 1,2?
4. Se tenho um pavimento em uma edificação, cujo uso difere completamente dos demais e neste é importante pensarmos na análise dinâmica, como fazemos?

Enfim, as dúvidas são muitas.

### Resposta 1

Sou o responsável pela implementação do módulo para determinação das freqüências naturais e dos modos normais de vibração do sistema TQS. Deste modo, permita-me tentar responder algumas das questões levantadas no seu email.

#### 1) Formulação do problema

A forma matricial das equações de equilíbrio das vibrações livres de uma estrutura com N graus de liberdade sem amortecimento é a seguinte:

$$M\ddot{U} + KU = 0, \text{ onde (1)}$$

0 é o vetor nulo de ordem N;

K é a sua matriz de rigidez, de ordem  $N \times N$ ;

M é a sua matriz de massa, de ordem  $N \times N$ ;

U é o vetor deslocamento, de ordem N, e  $\ddot{U}$  sua derivada segunda com relação ao tempo.

Considerando-se

$$U = \Phi \sin \omega (t - t_0) \text{ (2)}$$

onde  $\Phi$  é um vetor de ordem N, t é a variável tempo,  $t_0$  é uma constante e  $\omega$  é a constante que representa a freqüência angular de vibração do vetor  $\Phi$ .

E substituindo-se (2) em (1), tem-se o problema de autovalor generalizado,

$$K \Phi = \omega^2 M \Phi \text{ (3)}$$

cuja solução é constituída de N pares  $(\omega_1^2, \Phi_1), (\omega_2^2, \Phi_2), \dots, (\omega_N^2, \Phi_N)$ , denominados de modos naturais de vibração da estrutura. Para cada modo i, o autovalor é igual ao quadrado da freqüência angular,  $\omega_i^2$ , e a freqüência,  $f_i$ , e o período,  $T_i$ , do modo são dados por:

$$f_i = \omega_i / 2\pi; \text{ (4)}$$

$$T_i = 1 / f_i \text{ (5)}$$

#### 2) Comentários sobre a solução do problema de autovalor no Sistema TQS

- a) O módulo do TQS calcula os modos associados as p primeiras freqüências, as mais baixas. O parâmetro p é definido pelo usuário;
- b) a massa a ser considerada na análise, peso próprio da estrutura ou peso próprio mais uma parcela da sobrecarga, deve ser especificada pelo usuário;
- c) a matriz de massa utilizada na análise é a discreta;
- d) somente os graus de liberdade associados aos deslocamentos de translação são considerados ativos na análise;

e) a matriz de rigidez da estrutura utilizada na análise é a elástica linear;

f) o algoritmo utilizado é o de iteração por sub-espço.

Sergio Pinheiro

## Resposta 2

Ainda continuo com a seguinte dúvida:

- Tomemos com exemplo, uma edificação de 06 pavimentos, sendo os 05 primeiros destinados à escritórios e o último à uma academia de ginástica.

O programa vai me calcular as frequências naturais da estrutura como um todo e podemos visualizar o comportamento de cada pavimento. Até então, ele não sabe que o último pavimento tem um uso diverso dos demais.

De posse das frequências naturais, tomo a menor frequência, correspondente ao modo de vibração 1 e comparo-a com os valores da NBR, majorados de 1,2. É isso?

- O modo de vibração 1 sempre corresponde à menor frequência, mas a participação modal pode ser pequena, quando comparada com outros modos de vibração. Face ao raciocínio anterior, que pode estar equivocado, pergunto:

Para que serve os demais modos de vibração e a sua respectiva participação modal?

- Em seus comentários, vc afirma em b), que a massa da estrutura deve ser especificada pelo usuário. Onde faço isso? Estava imaginando que ao optar pela análise dinâmica, automaticamente, uma combinação era criada, peso próprio + carga acidental ponderada (pequena). Agora, as dúvidas aumentaram.....

## Resposta 3

Vou acrescentar mais alguns comentários sobre a questão que você levantou e que o eng. Sérgio Pinheiro Medeiros já respondeu: o efeito das vibrações nos edifícios.

Primeiramente, é importante distinguir dois tipos de análises:

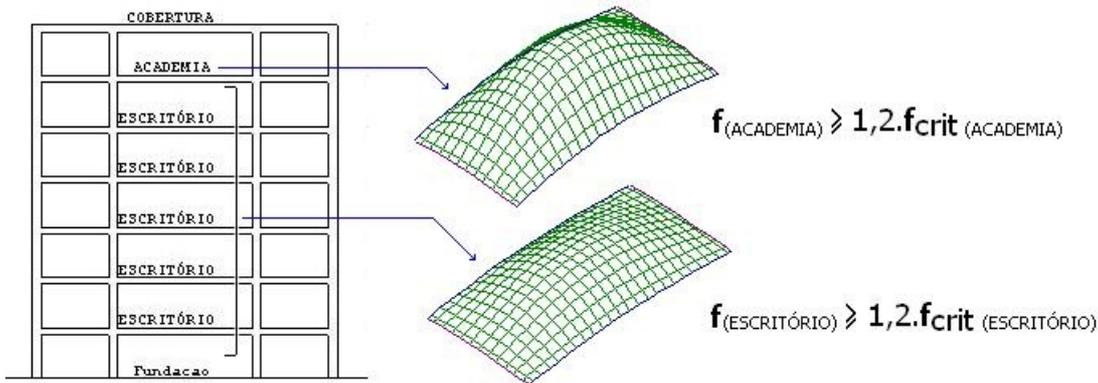
- Análise de um pavimento isolado.

- Análise do edifício como um todo.

### **a. Análise de um pavimento isolado**

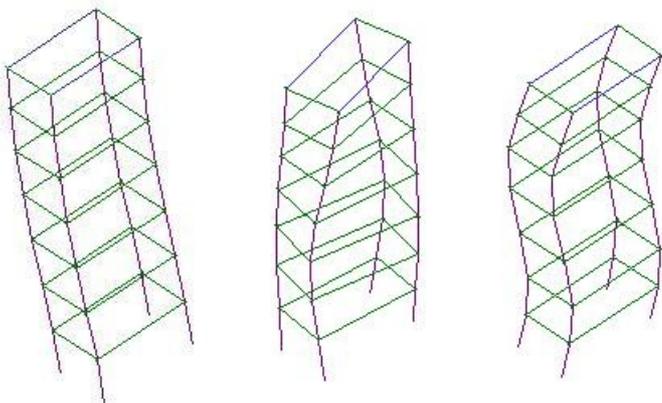
Aplica-se basicamente no estudo dos efeitos das vibrações ocasionadas pela atuação de cargas verticais em um pavimento. Ex: movimentação de pessoas numa aula de academia, operação de máquinas, etc. Neste caso, o modelo numérico usualmente empregado é a grelha, contendo elementos de lajes e vigas.

Quando em um edifício, existirem pavimentos com diferentes formas de utilização (pavim. de escritório + pavim. de academia), cada um deles deve ser analisado de forma independente, cada qual com a sua frequência própria e com sua frequência crítica.



### b. Análise do edifício com um todo

Aplica-se principalmente no estudo dos efeitos das vibrações ocasionadas pela atuação de cargas horizontais sobre a edificação. Exemplo: vento, existência de máquina no topo do edifício que gere esforços horizontais, etc. Neste caso, o modelo numérico usualmente empregado é o pórtico espacial, contendo elementos de vigas e pilares. Normalmente, geram efeitos de flexão e torção ao longo da estrutura.



### c. NBR6118:2003

Muito embora não esteja explícito em seu texto, acredito que os limites estabelecidos na tabela 23.1 da NBR6118:2003 se referem a análise de um pavimento. Deve-se procurar afastar ao máximo a frequência própria da estrutura da frequência crítica.

### d. Modo de vibração correto

Na análise de pavimentos, nem sempre o modo de vibração que possui uma frequência menor é aquele que deve ser levado em conta, mas sim aquele que mobiliza mais massa segundo a direção vertical (normalmente o eixo Z global). Exemplos de alguns casos:

Ex1: pode existir um trecho solto no modelo que mobilize uma massa muito pequena do pavimento.

Ex2: em pavimentos modelados por pórtico espacial (necessário quando da existência de retração ou variação térmica), muitas vezes o primeiro modo se refere a movimentos no plano do pavimento, e não segundo a direção vertical.

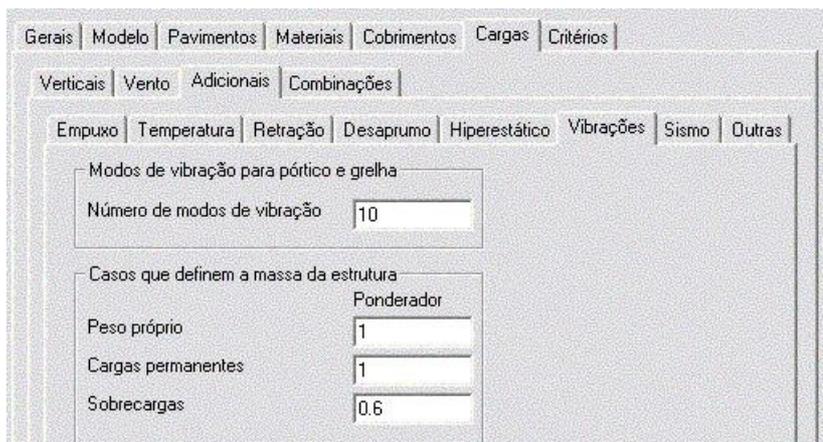
Além de checar os valores de participação modal, uma maneira interessante de verificar qual modo é aquele de deve ser considerado é visualizar a animação gráfica de cada um deles.

### e. TQS

Ambos tipos de análise foram desenvolvidos pelo eng. Sérgio Pinheiro e estão disponíveis nos sistemas TQS. A "análise do edifício como um todo" pelo pórtico espacial é um módulo opcional, e que NÃO está incluído nos pacotes padrões.

### f. Definição da massa da estrutura

A definição da massa da estrutura pode ser feita diretamente na janela de dados do edifício. Trata-se de uma combinação de peso próprio, carga permanente e carga variável. O item 11.8.3.1 sugere que seja utilizada a combinação freqüente na análise de vibrações.



Casos que definem a massa da estrutura	
	Ponderador
Peso próprio	1
Cargas permanentes	1
Sobrecargas	0.6

Alio - TQS