

Aula 1 - Fundamentos das Vibrações Estruturais

1. Introdução: Cargas Estáticas vs. Dinâmicas Em engenharia de estruturas, tradicionalmente lidamos com **cargas estáticas**, que são aplicadas de forma lenta e gradual, como o peso próprio da estrutura ou a mobília em um edifício. No entanto, muitas ações importantes são **dinâmicas**: sua magnitude, direção ou ponto de aplicação variam rapidamente no tempo. Exemplos incluem ventos, sismos, explosões e vibrações de máquinas.

Pêndulo de Newton ilustrando impactos (carga dinâmica)

Figure 1: Pêndulo de Newton ilustrando impactos (carga dinâmica)

A principal diferença é que cargas dinâmicas geram **forças de inércia** (lembre-se da Segunda Lei de Newton, $F=ma$), que se opõem à aceleração e alteram completamente a resposta da estrutura.

2. O Modelo Fundamental: Sistema Massa-Mola-Amortecedor

Para entender o comportamento dinâmico, simplificamos uma estrutura complexa em um modelo com um único grau de liberdade (1 GDL).

Este modelo é composto por três elementos:

- **Massa (M):** Representa a inércia da estrutura. Em um edifício, seria a massa concentrada no nível do pavimento.
- **Mola (Rigidez, k):** Representa a capacidade da estrutura de resistir à deformação. Em um pórtico, seria a rigidez lateral combinada dos pilares.
- **Amortecedor (Amortecimento, c):** Representa a dissipação de energia da estrutura, que faz com que a vibração diminua e pare. Ocorre por atrito interno no material, interação com elementos não estruturais, etc.

3. Vibração Livre Não Amortecida: A Essência da Estrutura

Vamos analisar o caso mais simples: uma estrutura que é deslocada de sua posição de equilíbrio e solta, sem a ação de forças externas e sem amortecimento ($c=0$). Ela oscilará perpetuamente em um movimento harmônico simples.

Dois parâmetros fundamentais governam esse movimento:

- **Frequência Natural (ω_n):** É a frequência na qual o sistema “prefere” vibrar. Depende apenas da rigidez e da massa. Uma estrutura mais rígida vibra mais rápido, enquanto uma mais pesada vibra mais devagar.

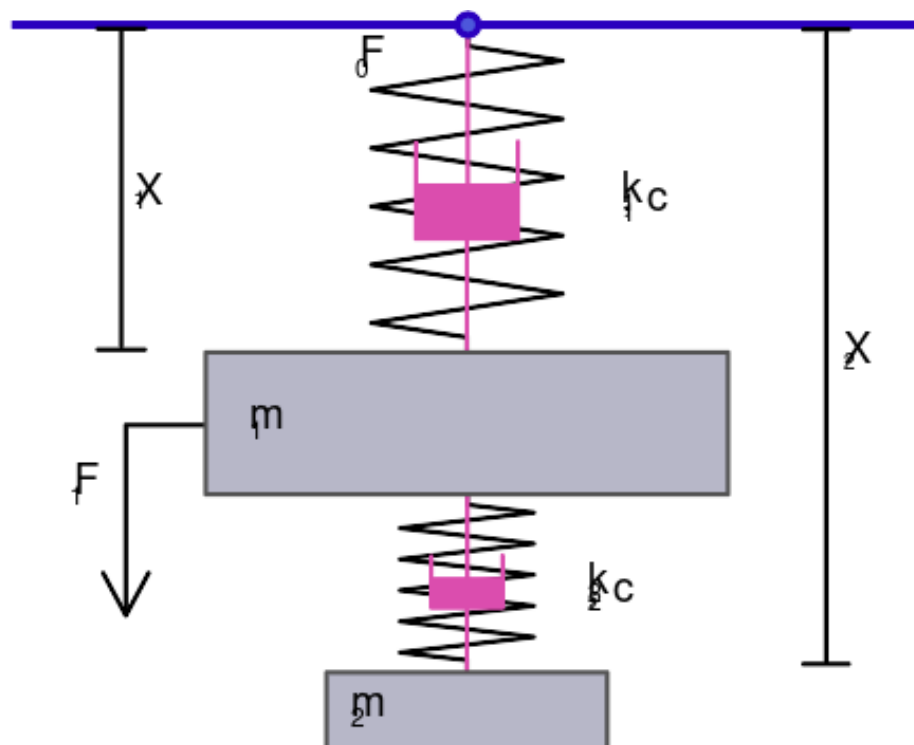


Figure 2: Diagrama clàssico massa-mola-amortecedor

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{M}} \quad (\text{rad/s})$$

* **Período Natural (T_n):** É o tempo que a estrutura leva para completar um ciclo de vibração. É o inverso da frequência.

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (\text{s})$$

O período natural é o “DNA” dinâmico de uma estrutura. Um arranha-céu tem um período longo (vários segundos), enquanto uma estrutura baixa e rígida tem um período curto (frações de segundo).

4. Vibração Livre Amortecida: O Comportamento Real Na realidade, toda estrutura dissipa energia. O amortecimento faz com que a amplitude da vibração livre diminua com o tempo. A forma como isso acontece depende da **taxa de amortecimento (ζ)**, um valor adimensional que compara o amortecimento real do sistema com o “amortecimento crítico”.

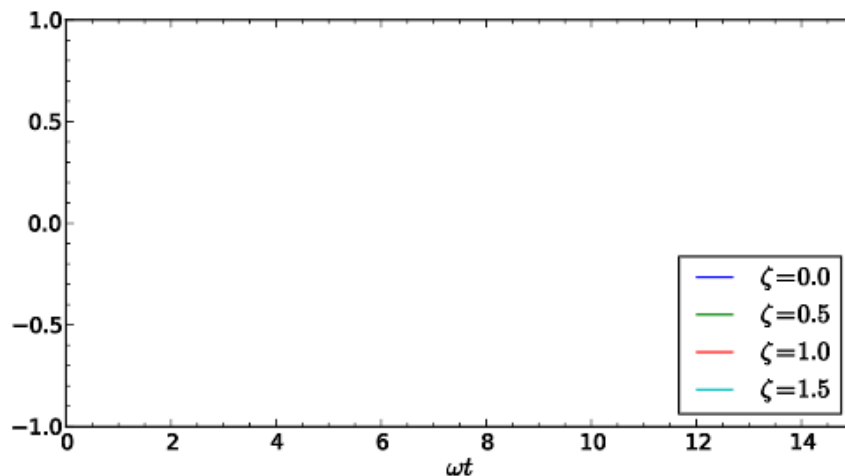


Figure 3: Regimes de amortecimento: subcrítico, crítico e supercrítico

- **Amortecimento Subcrítico ($\zeta < 1$):** O sistema oscila, mas com amplitude decrescente até parar. Este é o caso de 99% das estruturas de engenharia civil.
- **Amortecimento Crítico ($\zeta = 1$):** O sistema retorna à posição de equilíbrio o mais rápido possível, sem oscilar.

- **Amortecimento Supercrítico ($\zeta > 1$):** O sistema retorna à posição de equilíbrio lentamente, sem oscilar (ex: um amortecedor de porta).

5. Pontos-Chave da Aula

1. Cargas dinâmicas geram forças de inércia que são cruciais na análise.
2. O comportamento dinâmico pode ser entendido pelo modelo simplificado **massa-mola-amortecedor**.
3. Toda estrutura possui uma **frequência natural (ω_n)** e um **período natural (T_n)**, que dependem apenas de sua massa e rigidez.
4. O **amortecimento (ζ)** é a propriedade que dissipa a energia de vibração.

6. Preparação para a Próxima Aula Na próxima aula, investigaremos o que acontece quando uma força externa contínua atua sobre a estrutura, introduzindo o conceito de **vibração forçada** e o perigoso fenômeno da **ressonância**.