

1. Introdução

A análise do comportamento de colunas enterradas em fundação elástica tem atraído a atenção de pesquisadores por um longo período de tempo. Isso se deve principalmente à sua grande aplicação prática em problemas reais do dia-a-dia em Engenharia Estrutural. Pode-se citar, por exemplo, pilares esbeltos em edifícios industriais, pontes e estruturas off-shore, estacas de fundação de edifícios, dentre muitas outras aplicações nessa área.

A solução para problemas como o de uma coluna totalmente enterrada, ou totalmente desenterrada, pode ser encontrada em livros clássicos de estabilidade, como em Bazant e Cedolin (1991).

Andrade (1993) estudou o problema de estabilidade de colunas em contato total ou parcial com uma base elástica, a partir de uma formulação baseada no método de Ritz e uma solução modal baseada no método dos elementos finitos hierárquicos, onde o deslocamento transversal da coluna é descrito por uma combinação linear de polinômios de Hermite e polinômios de Legendre.

Mais recentemente, outros autores também desenvolveram trabalhos nesta área, como Matsunaga (1999), Patel, *et al.* (1999), Nageswara Rao e Venkateswara Rao (2003), entre outros.

Sampaio (2004) estudou o comportamento dinâmico de colunas semi-enterradas, trabalho o qual partiu da mesma formulação desenvolvida nesta Dissertação.

Um diferencial do problema estudado nesse trabalho com relação à trabalhos anteriores desenvolvidos com base nesse assunto, deve-se o fato deste trabalho envolver colunas parcialmente enterradas, assunto que ainda carece de um estudo aprofundado, graças à sua complexidade matemática. Enquanto o estudo de colunas totalmente enterradas ou totalmente desenterradas envolve um sistema matemático matricial de dimensão quatro, o problema estudado nesse trabalho (devido exatamente ao fato da coluna estar semi-enterrada) envolve um sistema matemático matricial de dimensão oito, resultando assim em expressões muito mais extensas e complexas.

Todo projeto estrutural de elementos esbeltos deve satisfazer critérios bem definidos que garantam a segurança da estrutura através da sua resistência aos esforços atuantes e do impedimento de deformações e vibrações excessivas, que possam ocasionar o comprometimento de sua estabilidade. Somente uma estrutura projetada nesses moldes pode ser considerada segura e confiável.

Daí a importância de se conhecer o comportamento detalhado de colunas com respeito à sua estabilidade, evitando-se, desta forma, que as mesmas sejam submetidas a cargas e deformações que possam vir a comprometer a sua utilização como elemento de sustentação.

1.1. Objetivo

O presente trabalho tem por objetivo estudar a estabilidade de colunas esbeltas parcialmente enterradas, a partir da análise dos resultados obtidos para suas cargas críticas, modos de flambagem, caminhos pós-críticos e diagramas de esforço cortante e momento fletor.

O problema em questão constitui-se em uma coluna, que possui um trecho de seu comprimento enterrado sob fundação elástica, sujeita à carregamento axial de compressão em ambas as extremidades, conforme ilustrado na Figura 1.1.

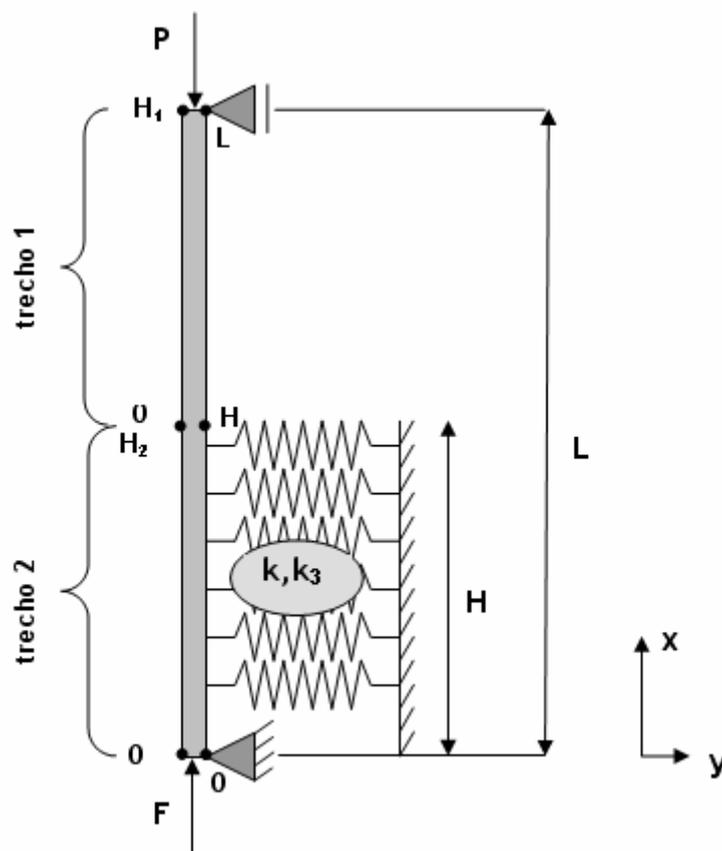


Figura 1.1 – Representação do problema estudado.

Na Figura 1.1, L é o comprimento total da coluna, H , a altura da fundação, P , a carga axial de compressão aplicada no topo da coluna, F , a força de reação exercida pela fundação e k e k_3 , constantes de rigidez linear e não-linear da fundação, respectivamente.

A coluna é subdividida em dois trechos. O primeiro, superior, sem fundação, denominado *trecho 1*, e o segundo, *trecho 2*.

São definidas então as coordenadas globais e locais do sistema: as coordenadas globais estão representadas nos pontos indicados, no lado direito da coluna, e são utilizadas na formulação do problema no Capítulo 2 (itens 2.1 à 2.6).

Por sua vez, as coordenadas locais, representadas no lado esquerdo da coluna, definem os limites de cada trecho, sendo utilizadas na formulação do problema nos Capítulos 2 (item 2.7) e 4.

A fim de representar as condições de contorno do problema, foram desenhados na Figura 1.1 apoios de primeiro e segundo gêneros. Entretanto, ao longo deste trabalho, a coluna será analisada para diferentes tipos de apoios.

Da mesma forma, a altura da fundação e o seu comportamento também serão variados de modo a se obterem resultados para diversas situações.

A coluna é descrita pela formulação clássica de Navier e para a fundação adota-se uma formulação geral que permite representar, através de uma escolha criteriosa dos parâmetros de rigidez da fundação, os modelos de fundação elástica mais encontrados na literatura.

O problema estrutural é analisado para duas situações. Na primeira é adotado um comportamento elástico-linear para a fundação, no qual considera-se que a reação exercida pelo solo é proporcional às deflexões da coluna, segundo o modelo linear de Winkler. Já na segunda situação, a fundação é analisada por um modelo elástico-não-linear, que considera que ocorre perda de rigidez do solo à medida que se aumentam as forças exercidas sobre ele (Greimann, *et al.*, 1987).

Todo o problema estrutural foi modelado com o auxílio de recursos computacionais através do software MAPLE 7.0, de onde se extraíram os resultados que serão apresentados ao longo dessa Dissertação.

1.2. Organização do Texto

Este trabalho foi dividido em oito capítulos, os quais são brevemente descritos a seguir.

No presente capítulo é feita a apresentação do tema dessa Dissertação, dos seus objetivos e dos fatores que motivaram a execução desse trabalho.

No Capítulo 2 é apresentada a formulação do problema linear, com a dedução dos funcionais de energia e das equações diferenciais, objetivando-se a determinação das cargas críticas e modos críticos do problema. São apresentadas também as soluções analíticas e aproximada, sendo, neste último caso, utilizado o Método de Ritz.

No Capítulo 3 são apresentados os resultados das análises do problema linear, incluindo-se variações no problema, com alterações na altura e rigidez da fundação e condições de apoio da coluna.

No Capítulo 4 é formulado o problema não-linear a partir dos seus funcionais de energia, objetivando-se analisar o comportamento não-linear da coluna através do seu caminho pós-crítico.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados das análises do problema não-linear, incluindo-se, novamente, variações no problema. Também são apresentados os resultados obtidos através da utilização de um programa computacional baseado no método dos elementos finitos, permitindo, assim, que possam ser feitas comparações entre os resultados.

No Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões baseadas nos resultados obtidos, bem como algumas sugestões de assuntos que poderão vir a ser abordados em trabalhos futuros.

No Capítulo 7 é apresentada a bibliografia consultada no desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, no Capítulo 8 são apresentados os Apêndices A, B e C, com alguns dos programas desenvolvidos com o software de álgebra simbólica MAPLE e dos quais se obtiveram os resultados apresentados nesse trabalho.