



22 a 27 de abril de 1990

ANAIS - PROCEEDINGS**O PROGRAMA COMPUTACIONAL ELCOM NO PROJETO E
ANÁLISE ESTRUTURAL DE ECs TÍPICOS DE REATORES PWR:
UM CASO EXEMPLO**

Leandro Vieira da Silva Macedo *
José Augusto Perrotta **

- * Coordenadoria para Projetos Especiais - COPESP
Departamento de Sistemas Nucleares
Divisão de Engenharia do Núcleo
- ** Comissão Nacional de Energia Nuclear - SP
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Departamento de Tecnologia de Reatores
Divisão de Engenharia do Núcleo

SUMÁRIO

Neste trabalho são mostrados resultados obtidos com o programa ELCOM de análise estrutural de Elementos Combustíveis de reatores PWR. São obtidas frequências naturais do conjunto, diagramas de esforços nos tubos guias e varetas combustíveis e deflexões em posições de grades espaçadoras. Estes resultados são obtidos em função do tipo de vínculo considerado nas extremidades do EC (bi-apoiado, apoiado-engastado, etc...), das constantes de mola dos vínculos da vareta combustível com as grades espaçadoras e do número de grades espaçadoras no elemento combustível. Com base nestas análises pode-se definir a melhor configuração e características do EC para atender condições específicas de carregamentos durante operação no reator.

ABSTRACT

It's presented some results obtained with the ELCOM computer code, such as deflections, moments and natural frequencies, used in the design and structural analysis of PWR fuel assemblies. It's studied the behavior of these results varying the number of spacer grids, the rigidity of the joint between the fuel pin and the spacer grid, and the fuel assembly's boundary condition, considered in the analysis, in it's mounting into the core (if clamped-clamped, clamped-hinged or hinged-hinged).

1-INTRODUÇÃO

O programa computacional ELCOM /1/ realiza análises matriciais de estruturas formadas por um conjunto de tubos acoplados por espaçadores rígidos, típicas de elementos combustíveis (EC) de reatores PWR (fig. 1). O programa considera movimento de corpo rígido das grades espaçadoras, o que significa a consideração de que as grades são bem mais rígidas do que o feixe de varetas combustíveis e tubos guias. A matriz de rigidez global é obtida através do somatório das transformações de rigidez de cada sistema vareta-vínculo-grade espaçadora e tubo guia-grade espaçadora, para o centro de gravidade das grades espaçadoras.

Da forma como é constituído o EC, os tubos guias são ligados rigidamente às grades espaçadoras e aos bocais de extremidade. As varetas combustíveis são presas às grades espaçadoras através das molas de fixação e dos batentes opostos às molas (fig. 2). A rigidez de fixação deste vínculo da vareta com a grade é dependente do material da mola, da geometria da mola, da distância entre o batente e a mola e do coeficiente de atrito entre os materiais da mola e da vareta. O programa ELCOM permite a parametrização do comportamento do EC com a variação da rigidez deste vínculo nos 6 graus de liberdade, através do fornecimento destas constantes de mola como dados de entrada do programa.

Outro fator importante no projeto do EC é o número de grades espaçadoras. A parametrização do comportamento estrutural do EC de acordo com o número de grades espaçadoras é também possível de ser estudada com o programa ELCOM.

A condição de apoio do EC no núcleo, considerada nas análises estruturais (bi-engastado ou bi-apoiado, ou engastado-apoiado, nas placas inferior e superior do núcleo) obviamente afeta os resultados obtidos. A variação desta condição de apoio pode ser feita no programa ELCOM avaliando-se sua influência nos resultados.

Outras possibilidades do programa são ainda a verificação da influência das molas de fixação do EC (que são importantes no seu comportamento axial) e a consideração de comportamento bi-linear das molas dos vínculos vareta combustível-grade espaçadora.

Neste trabalho, para a demonstração das aplicações do ELCOM na parametrização e análises estruturais do EC, foram estudadas a influência do valor das constantes de mola dos vínculos vareta combustível-grade espaçadora, a influência do número de grades espaçadoras e a influência da condição de apoio do EC, nos valores de deslocamentos laterais, frequências naturais e esforços sobre os tubos guias e varetas combustíveis. Para tanto foi feito um estudo de um EC semelhante ao EC do reator ANGRA-I, com as seguintes características:

- comprimento dos tubos guias: 3897,1 mm
- arranjo: 16 x 16 com 20 tubos guias e 1 tubo de instrumentação

- 2 bocais e 8 grades espaçadoras, espaçadas conforme a fig.3
- distância entre tubos: 12,32 mm
- tubo guia: diâmetro externo: 11,962 mm
diâmetro interno: 11,048 mm
- vareta combustível: diâmetro externo: 9,500 mm
diâmetro interno: 8,356 mm
- material dos tubos guias e varetas: zircaloy 4
- carregamento: peso próprio na direção lateral ao EC

2-INFLUÊNCIA DO VALOR DAS CONSTANTES DE MOLA DOS VÍNCULOS VARETA COMBUSTÍVEL- GRADE ESPAÇADORA

Neste trabalho são mostradas a influência das constantes de mola em dois dos seis graus de liberdade do vínculo; o deslocamento na direção axial das varetas e a rotação em torno dos eixos perpendiculares à direção axial da vareta. Para tanto, a variação dos vínculos foi colocada de forma adimensional da seguinte maneira:

$$K_z = \frac{1}{1 + (EA/LK_3)} \quad (1)$$

$$K_F = \frac{1}{1 + (EI/LK_5)} \quad (2)$$

onde EA/L é a rigidez na direção axial do tubo de revestimento das varetas combustíveis para um comprimento $L = 520$ mm

EI/L é a rigidez à rotação do tubo de revestimento das varetas combustíveis para um compr. $L = 520$ mm

K_3 é a rigidez ao deslocamento segundo uma direção paralela à direção axial das varetas

K_5 é a rigidez à rotação em torno dos eixos perpendiculares à direção axial da vareta

Na figura 4 temos os valores de deslocamentos laterais máximos e os valores de frequência fundamental do EC em função da variação da rigidez dos vínculos.

3-INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE GRADES ESPAÇADORAS

Foi estudado este mesmo EC com 6 e 7 grades espaçadoras ao invés de 8, dispostas conforme a figura 5, utilizando-se valores de $K_z = 0,254$ e $K_F = 0,7$. Na figura 6 aparecem para comparação, os valores obtidos de deslocamento máximo e frequência fundamental. Nas figuras 7 e 8 temos os diagramas de momento fletor na vareta combustível da posição 1 e tubo guia da posição 38 respectivamente.

4-INFLUÊNCIA DA CONDIÇÃO DE APOIO DO EC

Foram consideradas três diferentes condições de apoio para o EC, com $K_z = 0,254$ e $K_F = 0,7$:

- a) bocal inferior engastado; bocal superior apoiado
- b) bocal inferior engastado; bocal superior engastado
- c) bocal inferior apoiado; bocal superior apoiado

Na figura 9 estão mostrados gráficos de deslocamento lateral máximo e das três primeiras frequências naturais em função das três condições de apoio consideradas. Nas figuras 10 e 11 estão mostrados diagramas de momento fletor na vareta combustível da posição 1 e tubo guia da posição 38 respectivamente.

5-COMENTÁRIOS

Com as análises mostradas neste trabalho, procurou-se mostrar as possibilidades de utilização do programa ELCOM na parametrização e análise estrutural de EC típico de reatores PWR. Dos resultados mostrados aqui, e de outras análises realizadas com o programa ELCOM, pode-se tirar algumas conclusões a respeito do comportamento deste tipo de EC:

a) A variação da rigidez lateral do EC com a variação da rigidez em cada um dos graus de liberdade do vínculo vareta-grade espaçadora é praticamente linear. Em termos de maior efetividade na variação da rigidez lateral do EC é observada a seguinte ordem decrescente em função da rigidez dos vínculos:

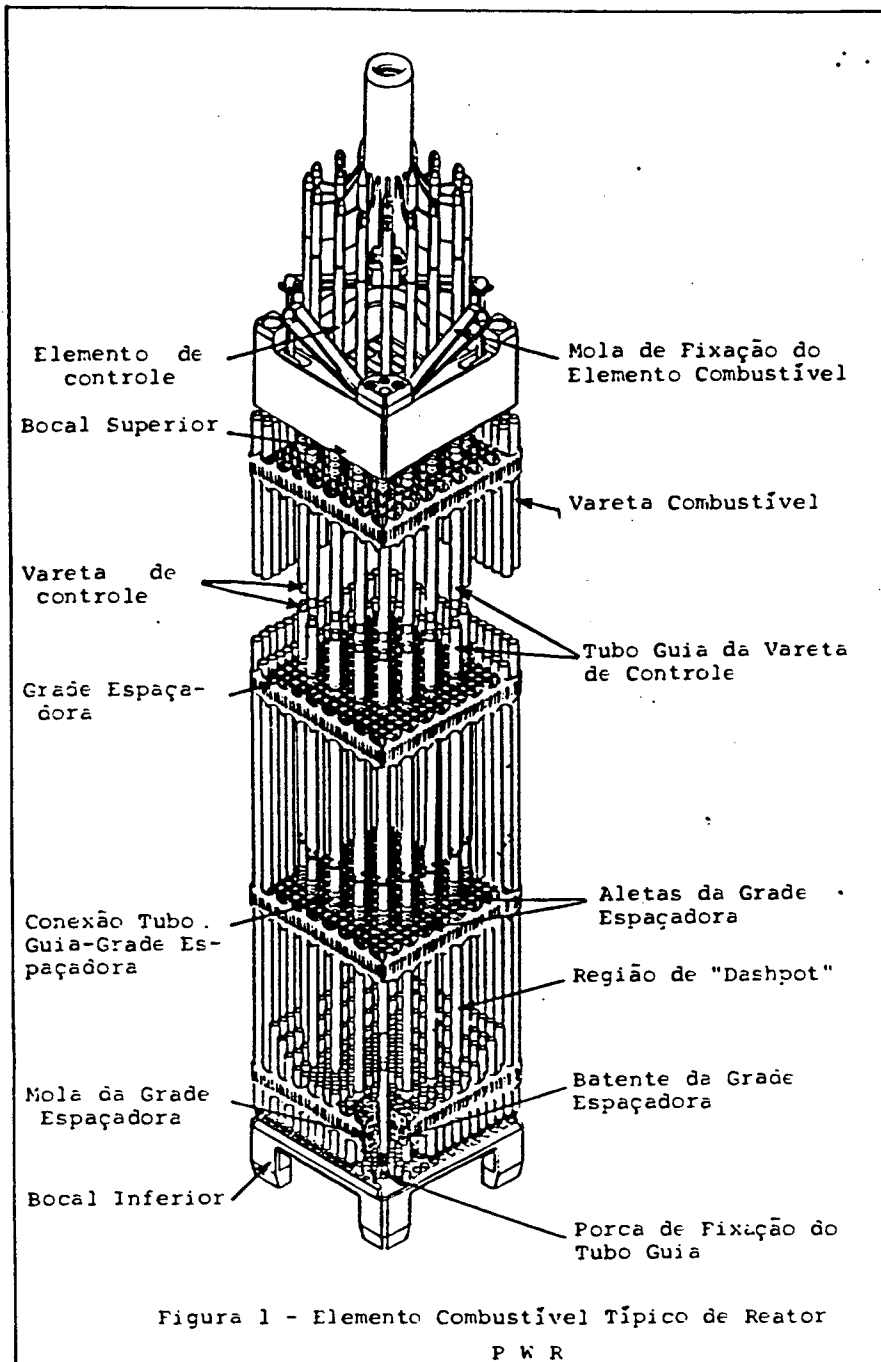
- 1-rigidez à rotação em eixos perpendiculares ao eixo axial da vareta;
- 2-rigidez a deslocamento em direção paralela à direção axial da vareta;
- 3-rigidez a deslocamento perpendicular à direção axial da vareta.

b) O aumento do número de grades espaçadoras contribui significativamente para a rigidez lateral do EC, no entanto o aumento relativo de rigidez vai decrescendo com o aumento do número de grades.

c) Com o aumento da rigidez do vínculo vareta-grade espaçadora há uma crescente distribuição dos esforços dos tubos guias para as varetas, e vice-versa.

6-REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- /1/ HAYASHI, I.M.V., PERROTTA, J.A. - Um Programa Computacional para Análise Estrutural de Elementos Combustíveis.
 In: II Congresso Geral de Energia Nuclear - RJ - Abril, 1988.



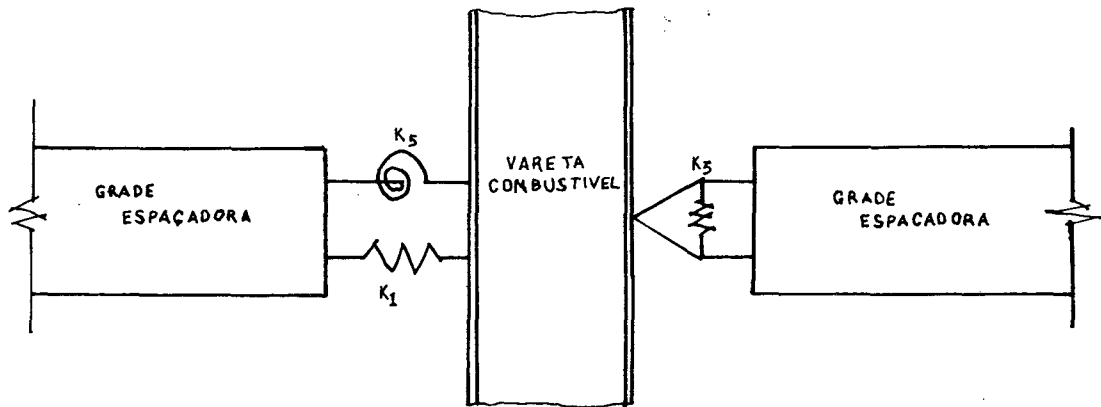


Figura 2 : Vínculo da vareta combustível com a grade espaçadora

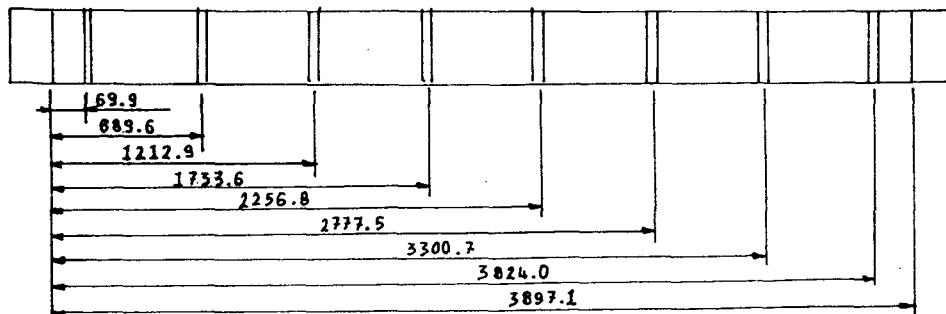
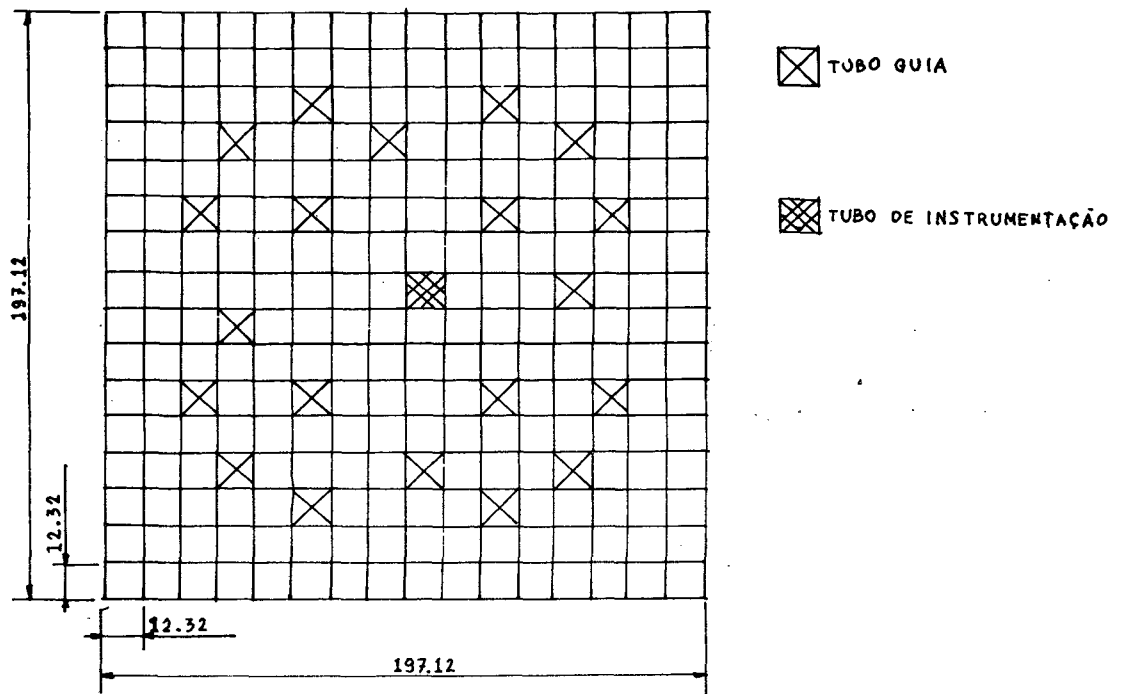


Figura 3 : Distribuição dos tubos guias e grades espaçadoras (EC 8 grades)

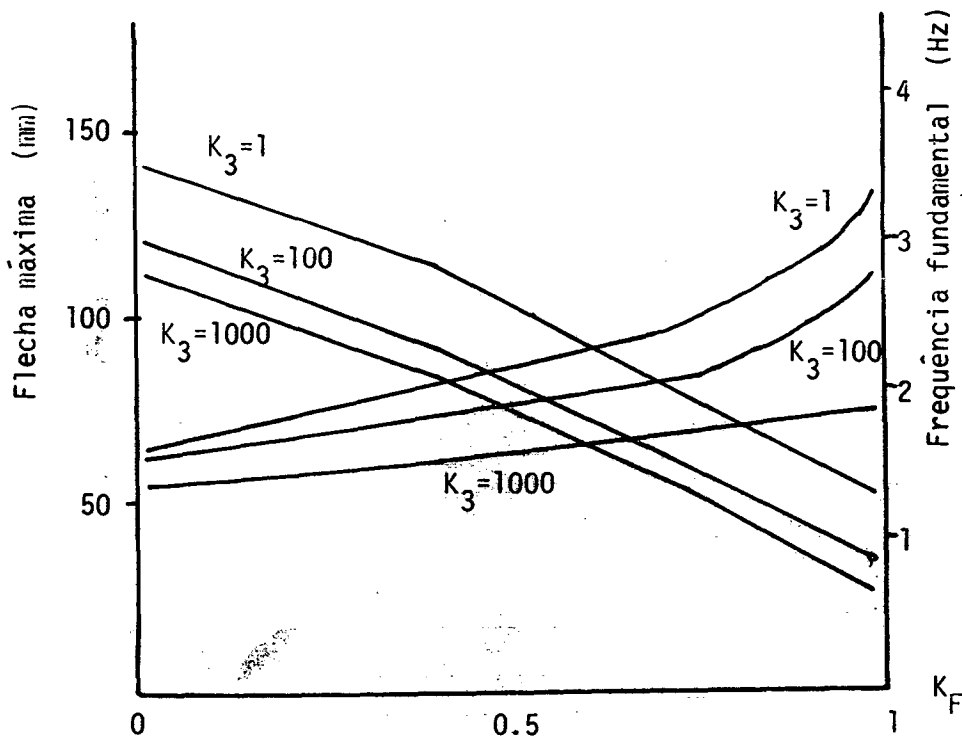


Figura 4: Deslocamento lateral máximo e frequência fundamental do EC em função das rigidezes dos vínculos.

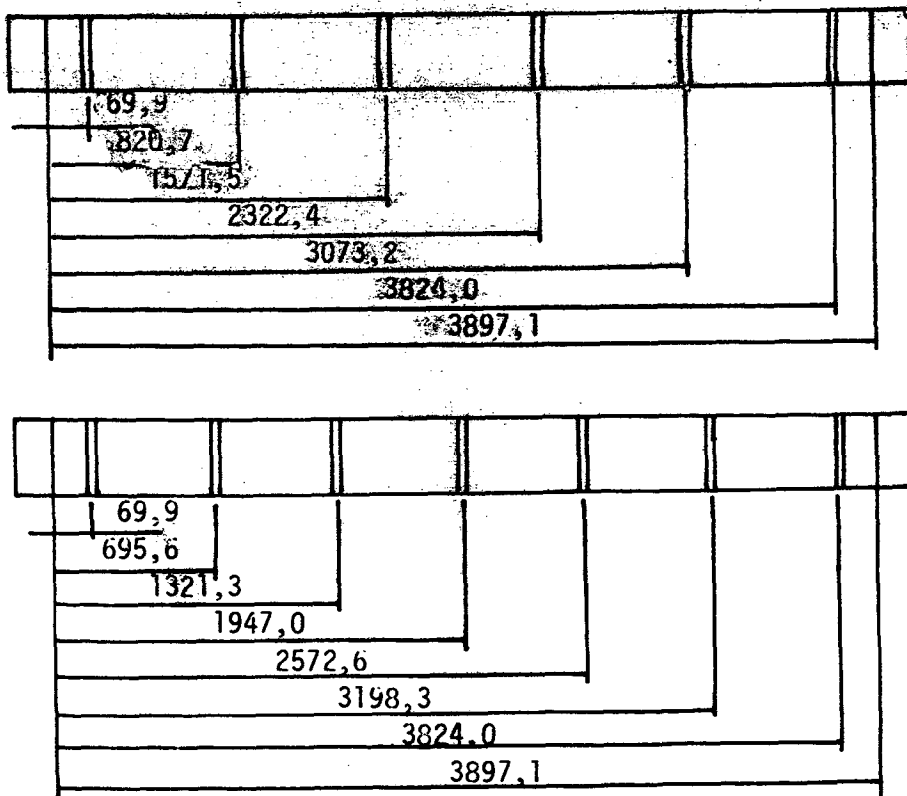


Figura 5: EC com 6 e 7 grades.

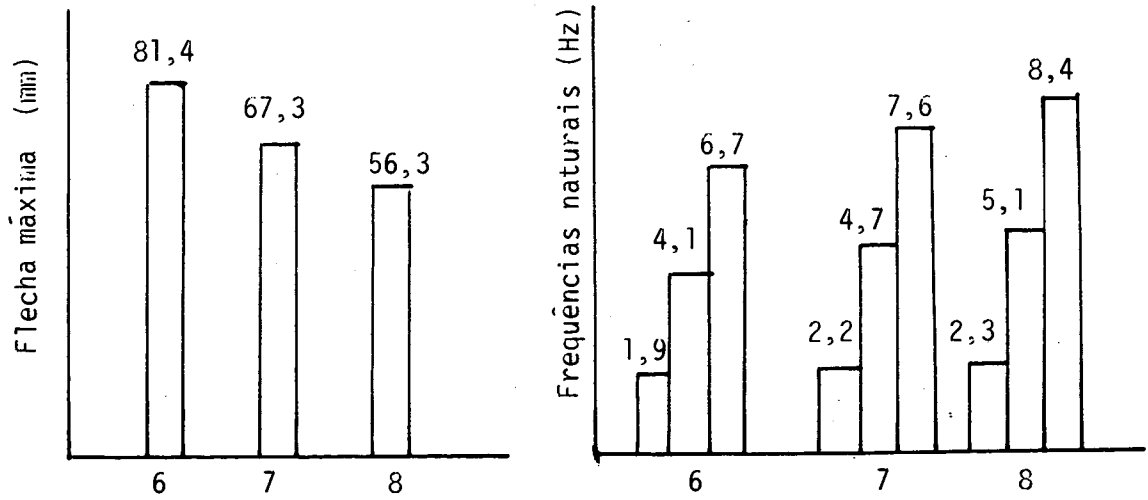


Figura 6: Deslocamento lateral máximo do EC e suas três primeiras frequências naturais em função do número e grades espaçadoras.

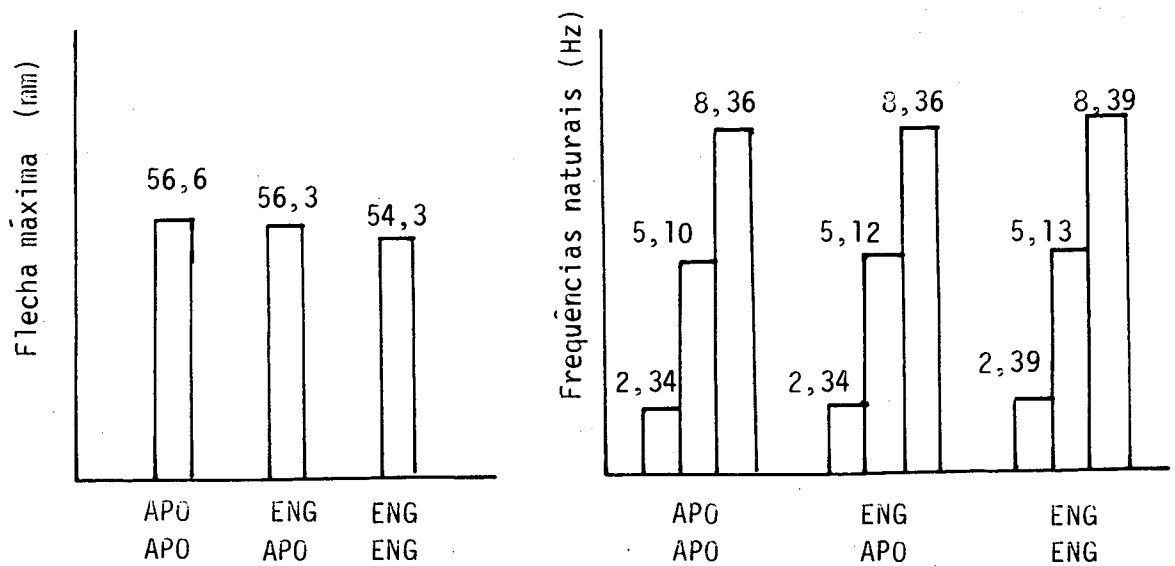


Figura 8: Deslocamentos laterais máximos do EC e três primeiras frequências naturais do EC em função da condição de apoio considerada.

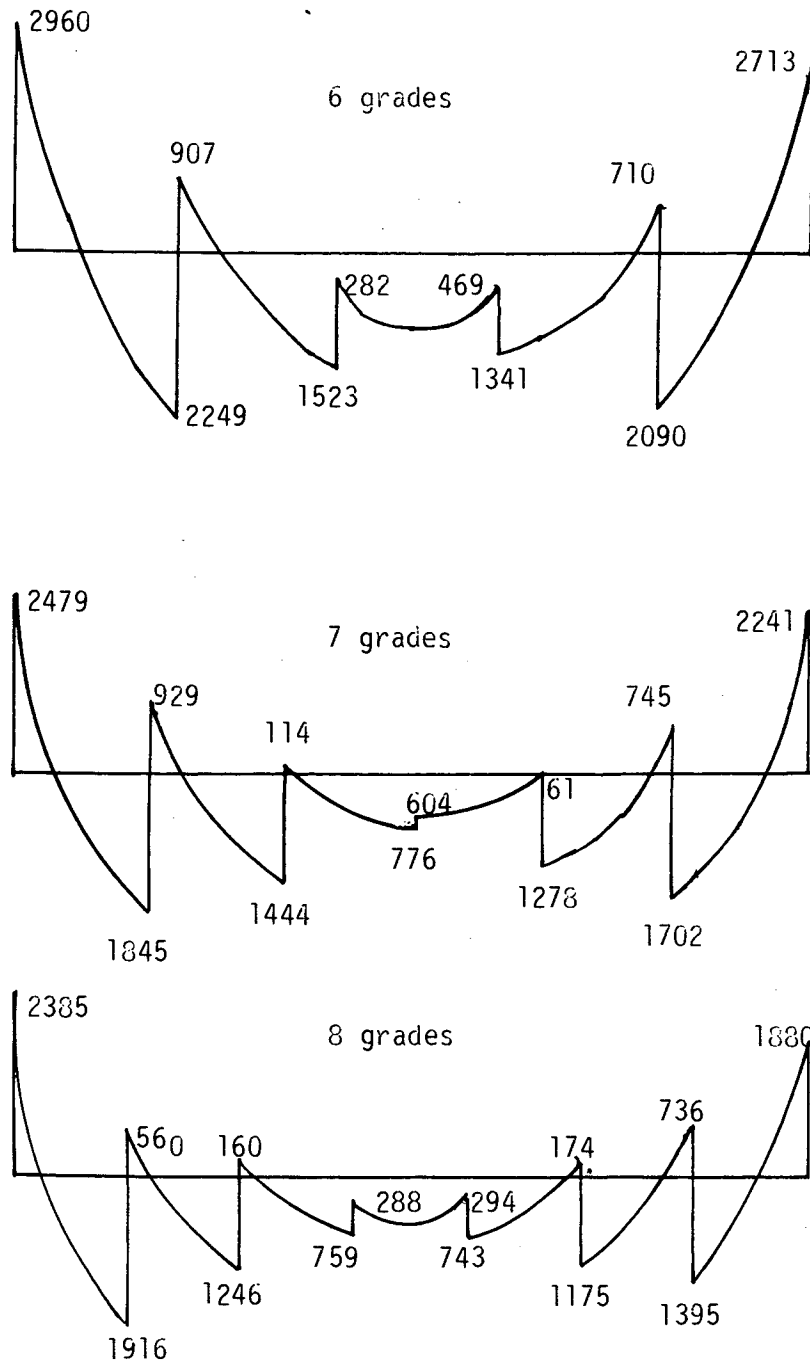


Figura 7: Momento fletor na vareta da posição 1 para 6, 7 e 8 grades espaçadoras. (N.mm)

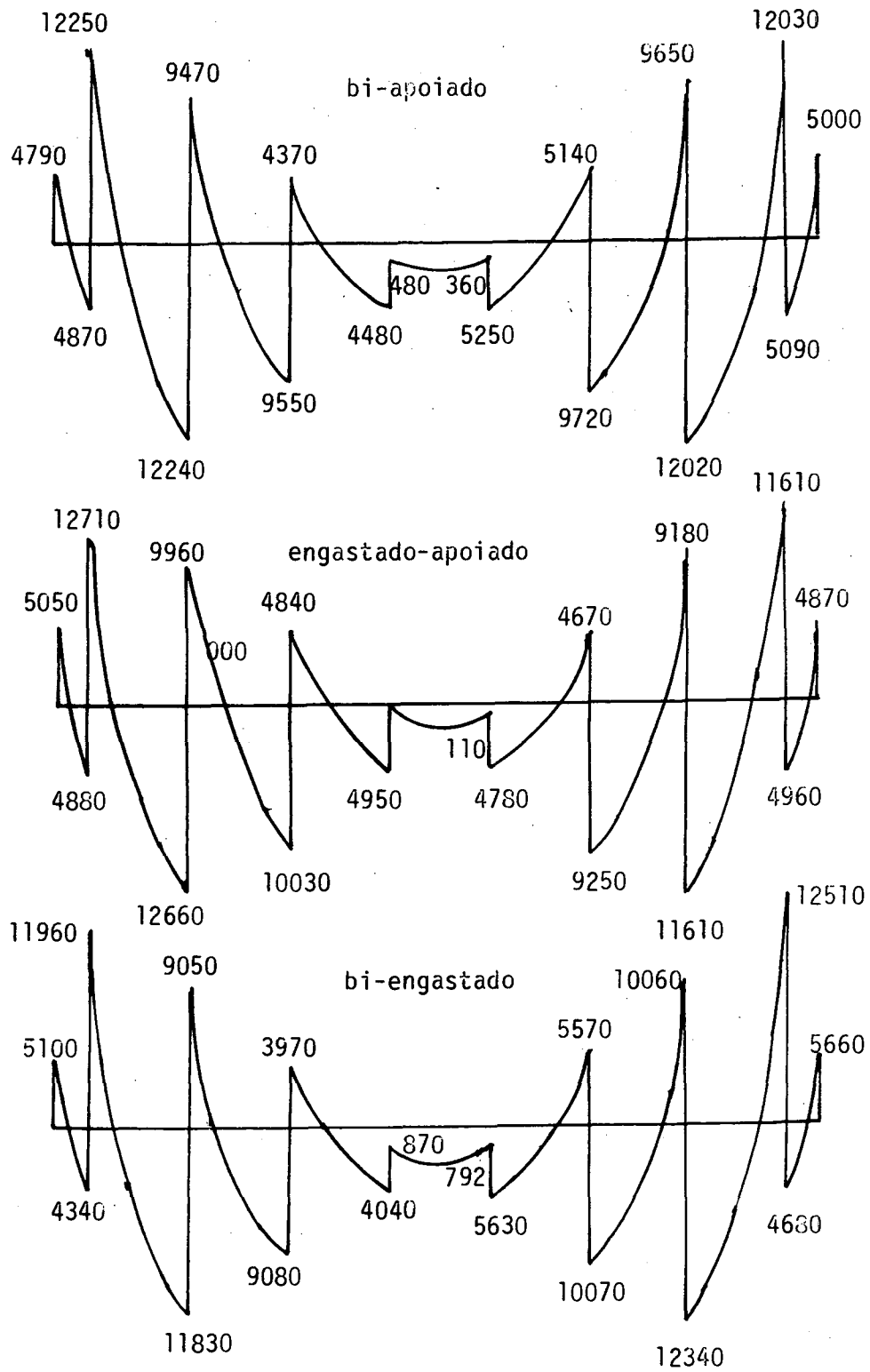


Figura 9: Momento fletor no tubo guia da posição 38 em função da condição de apoio do EC. (N.m)