

Autores: Antonio Carlos S G P Carneiro (bolsista), Katia Lucchesi Cavalca (orientadora). Colaborador: Gregory Bregion Daniel.

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Agência Financiadora: FAPESP

Mancais Hidrodinâmicos – Dinâmica de Rotores – Mancais Segmentados – Estabilidade – Elementos Finitos

## Introdução

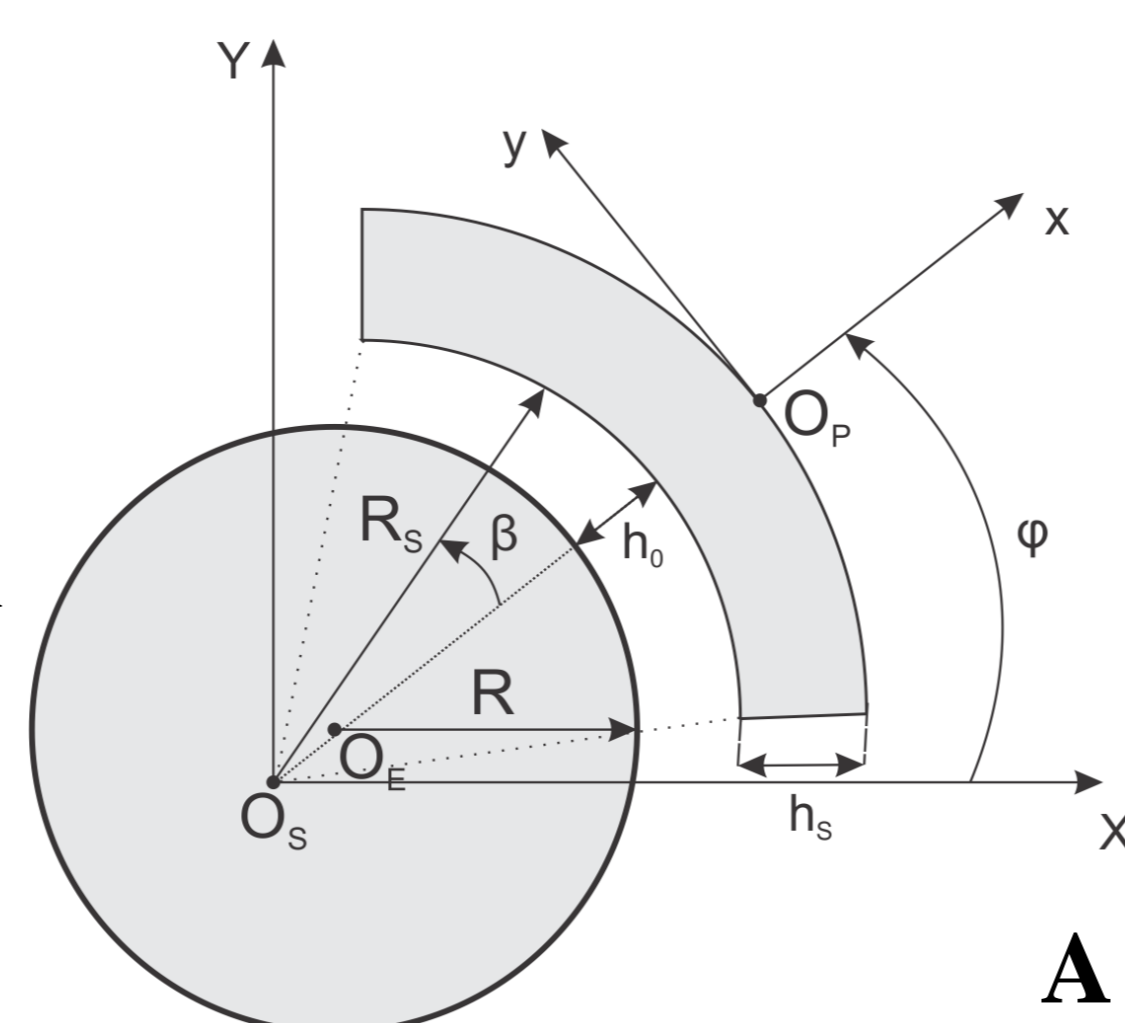
O estudo dos mancais presentes em sistemas rotativos possui grande importância na análise do movimento global deste sistema. As condições gerais de operação e a estabilidade em determinadas velocidades são determinadas pelas características destes componentes de apoio. A necessidade crescente de máquinas maiores e mais rápidas impulsionou o surgimento de mancais segmentados, que possuem alta estabilidade em uma ampla faixa de rotações. O equacionamento do movimento de rotores é feito por meio do método de elementos finitos, o qual depende da determinação correta e adição criteriosa dos coeficientes dinâmicos dos mancais. Tais coeficientes podem ser determinados por meio de dois modelos: o completo, que considera o movimento angular dos segmentos no interior do mancal, e o condensado, que reduz os coeficientes para os movimentos de translação, apenas. Ambos os métodos foram utilizados para o cálculo da resposta de um rotor de Laval em uma determinada frequência e seus resultados comparados.

## Metodologia

A metodologia utilizada baseia-se na dinâmica de rotores, utilizando, para descrever o movimento, a equação de movimento matricial global para o conjunto rotor e mancais. O eixo é discretizado em elementos finitos, e cada um destes elementos é modelado por uma matriz de massa, rigidez e amortecimento, conforme a metodologia de Nelson (1976), aplicada em Tuckmantel (2010). Estas matrizes, então, são compostas para formar uma representação matemática do eixo como um todo.

$$[M_{global}]\{\ddot{r}\} + [C_{global}]\{\dot{r}\} + [K_{global}]\{r\} = \{F_{global}\}$$

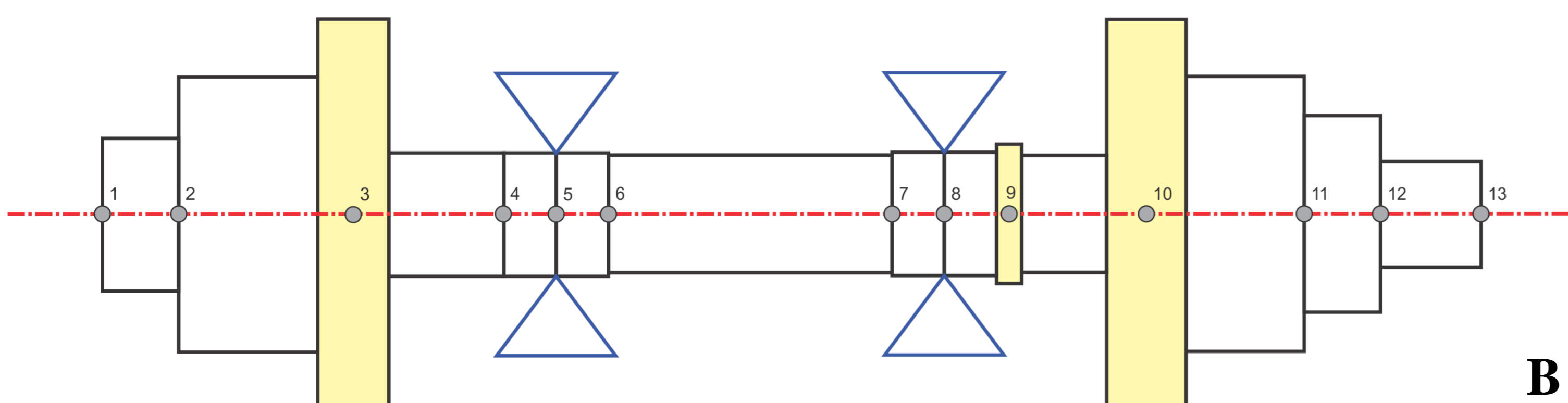
Os mancais, por sua vez, possuem coeficientes de rigidez e amortecimento próprios, sendo adicionados nas posições correspondentes das respectivas matrizes. Tais coeficientes são obtidos por meio da resolução da equação de Reynolds combinada com a equação da espessura de filme de óleo, representada na Figura A (Lund, 1964).



$$\frac{\partial}{\partial X} \cdot \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial P}{\partial X} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \cdot \left( \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial P}{\partial Z} \right) = 6 \cdot \omega \cdot R \cdot \frac{\partial h}{\partial X} + 12 \frac{\partial h}{\partial t}$$

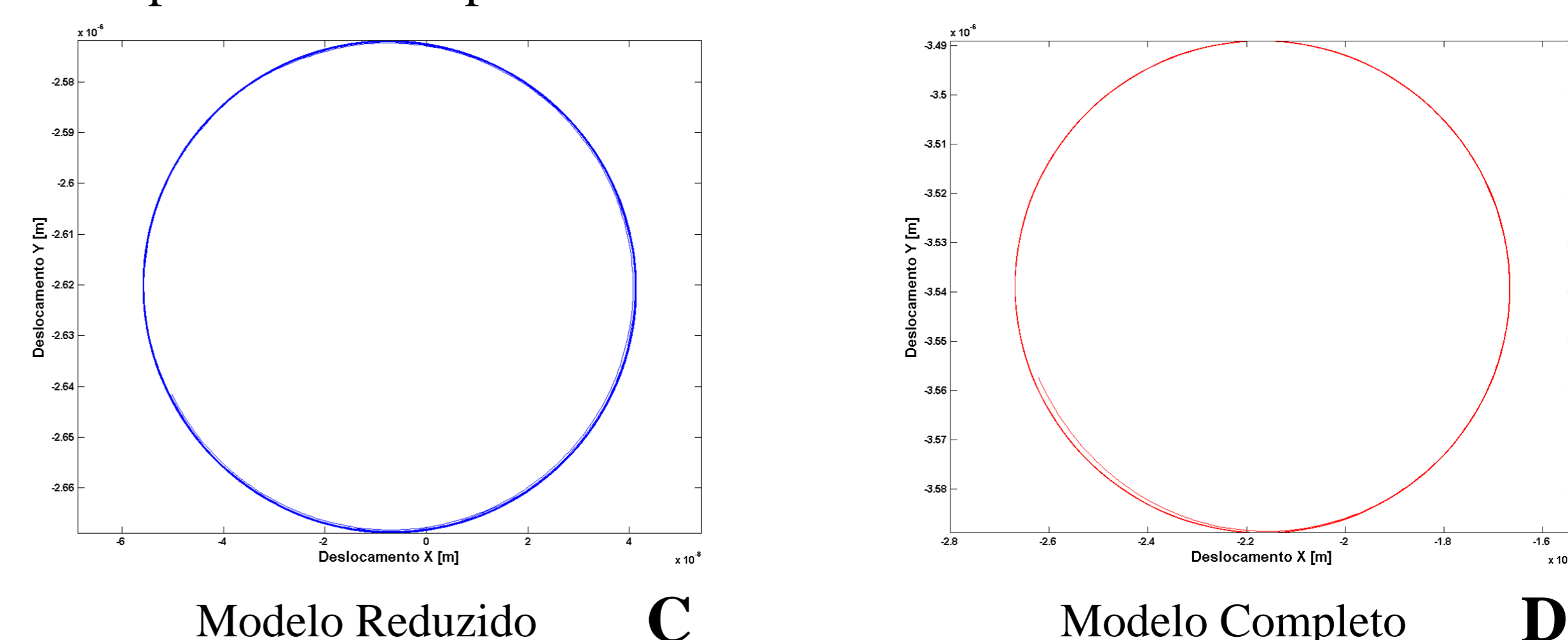
$$h_j(\beta) = R_s - R - \{ \sin(\beta) [y_R + \alpha_j(R_s + h_s)] + \cos(\beta) (x_R + R_s - R - h_0) \}$$

Este trabalho compara os resultados obtidos utilizando-se, em um mesmo conjunto rotor- mancal, duas abordagens de cálculo para os coeficientes dos mancais: a completa e a reduzida. A completa leva em consideração os deslocamentos angulares dos segmentos presentes dentro do mancal, conforme feito por Daniel (2012). Desse modo, pode-se visualizar o movimento dos segmentos, porém as matrizes previamente descritas devem ser expandidas para acomodar esses graus de liberdade extras. A reduzida, entretanto, condensa esses efeitos nos graus de liberdade de translação. Na Figura B, encontra-se uma esquematização do rotor utilizado neste trabalho.

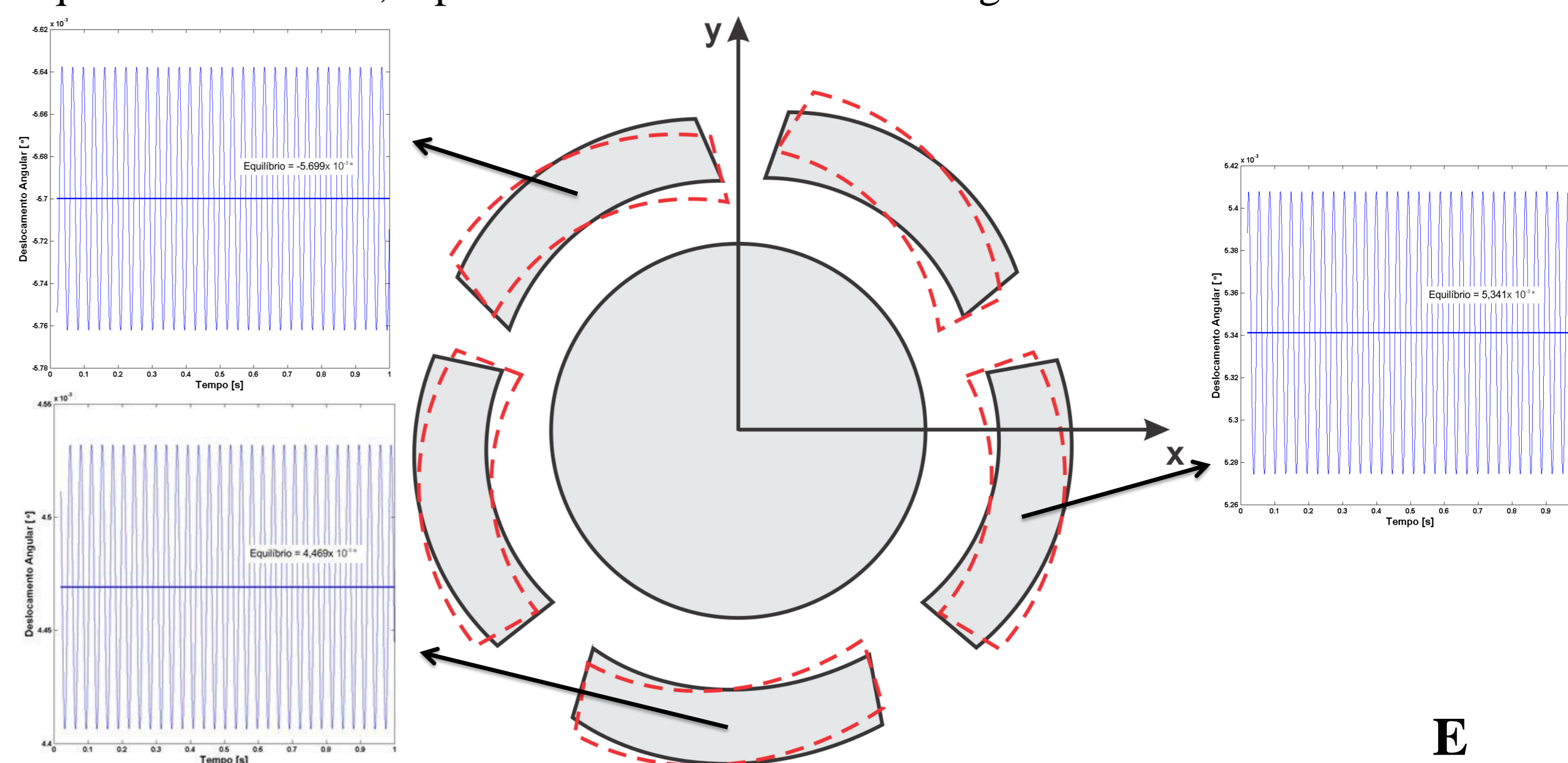


## Resultados e Discussões

A simulação do rotor previamente mostrado resultou na sua resposta temporal para uma velocidade angular de 200 rad/s, sendo possível plotar as curvas que representam a órbita descrita por qualquer um dos nós da malha de elementos finitos (Figuras C e D). Assim, escolheu-se representar a órbita descrita pelo nó 5, no qual está posicionado o primeiro mancal.



Conforme já descrito, a vantagem do modelo completo é a representação explícita dos graus de liberdade dos segmentos dos mancais. Assim, pode-se obter a descrição do movimento angular dos segmentos no tempo, como sua posição de equilíbrio dinâmico, representado em vermelho na Figura E.



## Conclusões

Pode-se observar nos gráficos das órbitas a concordância de suas amplitudes. Isto era um comportamento esperado, pois os coeficientes utilizados no modelo reduzido são calculados a partir dos coeficientes completos. A diferença existente no cálculo pelo modelo completo reside no fato de ser possível visualizar o movimento descrito pelos segmentos, permitindo-se observar o comportamento dos segmentos do mancal durante a operação da máquina.

## Referências Bibliográficas

- Daniel, G. B., Cavalca, K. L. (orient.). *Desenvolvimento de um Modelo Termohidrodinâmico para Análise em Mancais Segmentados*. 2012. 236p. Dissertação (doutorado) – UNICAMP, FEM, Campinas, SP.
- Lund, J. W., *Spring and damping coefficients for the tilting-pad journal bearing*. ASME Transactions, n.7, p.342-352, 1964.
- Nelson, H. D.; McVaugh, J. M., *The Dynamics of Rotor-Bearing Systems Using Finite Elements*. Journal of Engineering for Industry, p.593-600, May 1976.
- Tuckmantel, F. W., Cavalca, K. L. (orient.), *Integração de sistemas rotor-mancais hidrodinâmicos-estrutura de suporte para resolução numérica*. 2010. 159 p. Dissertação (mestrado) – UNICAMP, FEM, Campinas, SP.