

Autores: Lucas Ward Franco de Camargo (bolsista), Katia Lucchesi Cavalca (orientadora), Hélio Fiori de Castro (colaborador)

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Agência Financiadora: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP)

Palavras-chave: Rotores - Ajuste de Modelos – Mancais Hidrodinâmicos – Algoritmo Genético Multi-Objetivo

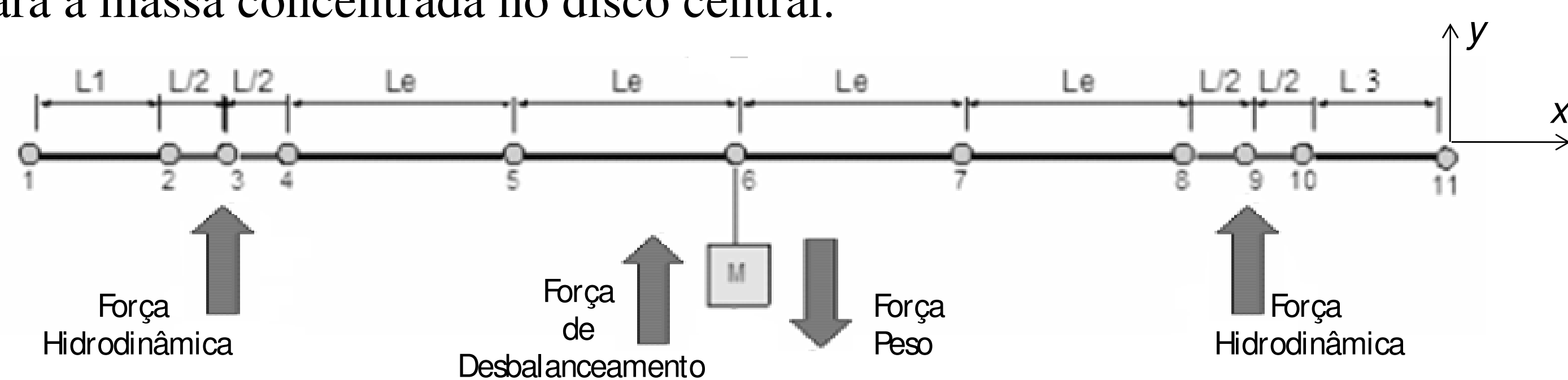
Introdução

O estudo de máquinas rotativas ocupa uma posição destacada no contexto de máquinas e estruturas em vista da significativa quantidade de fenômenos típicos na operação desses equipamentos. Modelos matemáticos são desenvolvidos para prever o comportamento dinâmico desses sistemas e, para obter resultados confiáveis, faz-se necessário o uso de técnicas de otimização para ajustar as respostas das simulações dos modelos às respostas obtidas em bancadas experimentais.

Este trabalho pretende apresentar uma contribuição na área de projeto de máquinas rotativas, visto que propõe um método relativamente simples de ajuste e validação de um modelo não-linear de mancais hidrodinâmicos cilíndricos, considerado como parte integrante de um sistema rotativo modelado por elementos finitos. O ajuste envolve a consideração simultânea de múltiplos critérios de performance e, portanto, um algoritmo genético multi-objetivo é proposto para permitir a análise individual de cada função objetivo e a identificação dos parâmetros desconhecidos do modelo.

Metodologia

O modelo dinâmico do sistema inclui interação entre rotor, eixo e mancais hidrodinâmicos. O método dos elementos finitos é aplicado para o eixo e para a massa concentrada no disco central.



O modelo das forças hidrodinâmicas devido aos mancais hidrodinâmicos cilíndricos é baseado no trabalho de Capone (1986 e 1991) e a distribuição de pressão dentro dos mancais é baseada nas Equações de Reynolds para mancais curtos. Dessa forma, as duas equações de movimento do sistema, em x e y , são:

$$(1) \quad [M] \frac{d^2 x}{dt^2} + ([C] + [G]) \frac{dx}{dt} + [K]x = Fh_x(x, y, \frac{d}{dt}x, \frac{d}{dt}y) + \omega^2 ME \cos(\omega t)$$

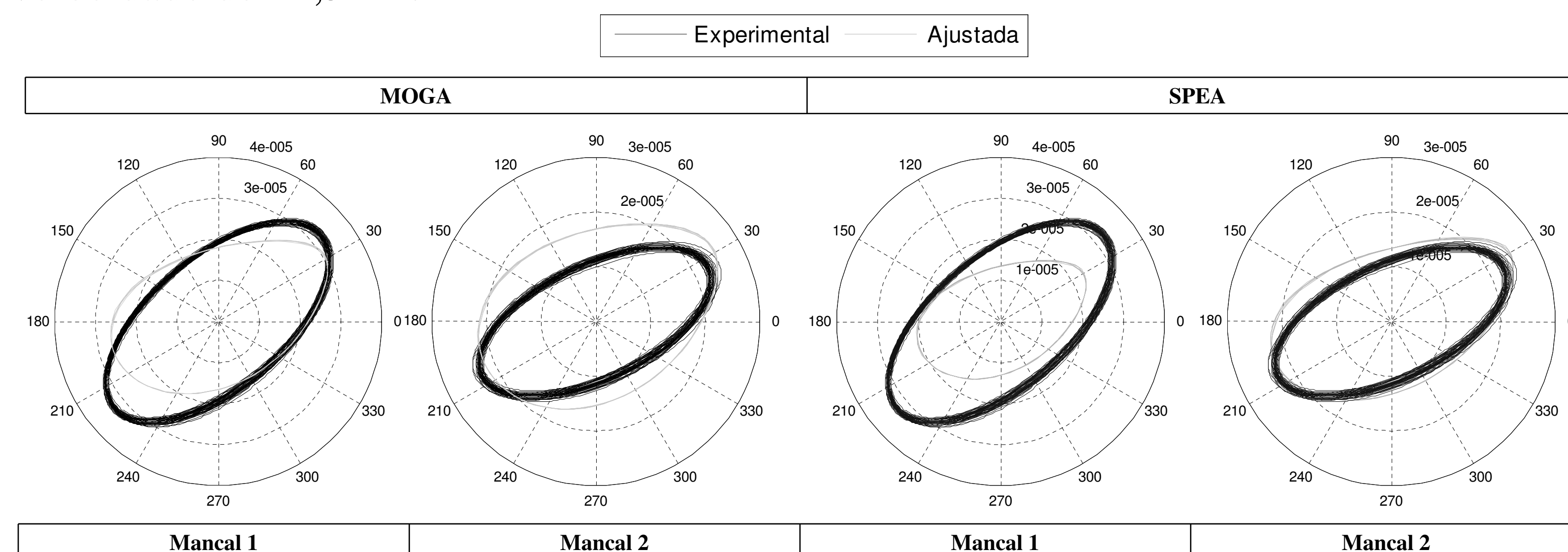
$$(2) \quad [M] \frac{d^2 y}{dt^2} + ([C] + [G]) \frac{dy}{dt} + [K]y = Fh_y(x, y, \frac{d}{dt}x, \frac{d}{dt}y) + \omega^2 ME \sin(\omega t) - W$$

Em que $[M]$, $[C]$, $[G]$ e $[K]$ são, respectivamente, as matrizes globais de massa, amortecimento, giroscópica e de rigidez; Fh são as forças hidrodinâmicas e W é o peso do rotor horizontal.

As funções objetivo adotadas são baseadas na diferença entre as forças hidrodinâmicas e as propriedades geométricas das órbitas elípticas experimentais e simuladas. O processo de minimização de cada um destes parâmetros pode ser considerado como uma função objetivo a ser minimizada, constituindo, portanto, um problema de otimização multi-objetivo. Foram propostos dois algoritmos genéticos para o ajuste do modelo: um baseado no Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA) de Fonseca e Fleming (1993) e outro baseado no Stenght Pareto Evolutionary Algorithm (SPEA) de Zitzler e Thiele (1998).

Resultados e Discussões

Os parâmetros utilizados nos algoritmos genéticos multi-objetivo implementados foram: total de gerações: 50; tamanho da população: 40 indivíduos; probabilidade de recombinação: 70 %; probabilidade de mutação: 25 %; população externa do SPEA: 10 indivíduos. Como o tamanho da população é 50 indivíduos, o algoritmo retornou 50 soluções finais. Uma das soluções de cada algoritmo foi escolhida e as suas respectivas órbitas estão comparadas com as órbitas experimentais obtidas a velocidade de 22,5 Hz:



As figuras acima apontam os intercâmbios (*trade-offs*) entre as soluções, indicando que se trata de soluções pareto-ótimas: uma melhora em um (ou mais) objetivo(s) representa uma degradação de outro(s). O método de ajuste retornou melhores resultados para o mancal 2, visto que o modelo matemático implementado não considera o efeito do acoplamento próximo ao mancal 1.

Os resultados simulados demonstram que os dois algoritmos de otimização podem encontrar satisfatoriamente as soluções do problema. Além disso, é possível afirmar que não houve hierarquia entre os algoritmos de otimização quanto aos resultados encontrados. Contudo, quanto à dispersão de soluções, o SPEA foi superior e apresentou um maior número de soluções diferentes que ajustam satisfatoriamente as órbitas.

Conclusões

O método de ajuste é útil para a análise de máquinas rotativas devido às eventuais limitações dos modelos matemáticos em representar a estrutura de uma maneira aceitável. As órbitas ajustadas pelos dois métodos apresentaram algumas diferenças quando comparadas às obtidas experimentalmente. Essas diferenças podem ser explicadas devido a algumas variáveis não serem consideradas no modelo, como o acoplamento motor-eixo e o amortecimento proporcional no eixo. Porém, métodos bastante promissores foram obtidos para determinar as órbitas dos mancais utilizando apenas medidas de deslocamento experimentais, o que torna o método bastante interessante para aplicações práticas na análise de máquinas reais. Portanto, é possível afirmar que foi possível obter resultados confiáveis na previsão do comportamento dinâmico de um sistema rotativo através do ajuste das respostas das simulações dos modelos às respostas obtidas em bancadas experimentais.

Referências Bibliográficas

- [1] Capone, G., Orbital motions of rigid symmetric rotor supported on journal bearings. *La Meccanica Italiana*, n. 199, 1986, pp. 37-46.
- [2] Capone, G., Descrizione analitica del campo di forze fluidodinamico nei cuscinetti cilindrici lubrificati., *L'Energia Elettrica*, n. 3, 1991, pp. 105-110.
- [3] Fonseca, C.M. and Fleming, P.J. Multiobjective genetic algorithms, *IEE colloquium on 'Genetic Algorithms for Control Systems Engineering'* (Digest No. 1993/130), 28 May 1993, IEE, London, UK (1993).
- [4] Zitzler, E., Thiele, L. *An evolutionary algorithm for multiobjective optimization: The strength Pareto approach*. Technical report 43, Zürich, Switzerland: Computer Engineering and Networks Laboratory (TIK), Swiss Federal Institute of Technology (ETH), 1998.