

Estudo dos efeitos da lubrificação elastohidrodinâmica em pares engrenados

Palavras-Chave: pares engrenados, rigidez de contato, amortecimento de contato.

Autores/as:

Gabriel do Lago Marques [UNICAMP]

Prof.^a Dr.^a Katia Lucchesi Cavalca Dedini (orientadora) [UNICAMP]

Dr.^a Natália Akemi Hoshikawa Tsuha (colaboradora) [UNICAMP]

INTRODUÇÃO:

O conjunto de pares engrenados é de extrema importância para mecanismos de máquinas, pois são elementos caracterizados como rodas dentadas, de forma cilíndrica ou cônica, capazes de transmitir rotações e forças de um eixo motriz para um eixo movido em um sistema de transmissão de potência, podendo ainda estar combinados com correntes e correias de transmissão.

Pelo fato de ambos, engrenagem e pinhão, serem considerados corpos rígidos, o contato do par engrenado resulta em uma elevada tensão normal entre os dentes. Assim sendo, uma área de contato extremamente pequena, demanda a preocupação com a lubrificação. Dessa forma, é importante estudar a condição de lubrificação no contato para amenizar o atrito e a nucleação de trincas. Neste tipo de sistema, o tipo de lubrificação é elastohidrodinâmica (EHD), a qual leva em conta tanto a dinâmica do filme do material lubrificante quanto a deformação local no contato devido às grandes pressões no lubrificante [1,2,3,4].

O estudo de soluções para reduzir vibrações e emissão de ruídos no funcionamento de pares engrenados é crescente nos últimos anos. Esta motivação é devido à considerável perda de energia do mecanismo, afetando o seu desempenho, e ao avanço da indústria 4.0, que traz conceitos de maior eficiência e sustentabilidade na produção automotiva, marinha e aeronáutica, por exemplo. Portanto, este trabalho tem seu foco principal na análise dinâmica do mecanismo com e sem a influência do efeito de lubrificação, ao inserir a rigidez e o amortecimento do contato na construção da equação de movimento do sistema.

Atualmente, a grande maioria dos sistemas que tem como objetivo transformar diferentes tipos de energia em energia mecânica, e transmitir este ganho energético para o restante do mecanismo, utiliza um mecanismo de transmissão por meio de pares engrenados. Dessa forma, o conhecimento do funcionamento e o estudo sobre um par engrenado se mostram de grande importância para indústrias que utilizam maquinários de rotação, como também para as que produzem este tipo de produto. Em vista disso, a demanda por um par engrenado modelado de forma a otimizar este desempenho de transmissibilidade de potência como também a aumentar a vida deste sistema, pode acarretar diversos benefícios para o setor industrial.

METODOLOGIA:

Para o estudo do par engrenado, foram analisados os parâmetros geométricos e operacionais que envolvem o perfil de uma engrenagem e a velocidade de escorregamento do mecanismo, respectivamente. Ambos os parâmetros estão totalmente atrelados ao desempenho do mecanismo.

Na análise da dinâmica do par engrenado, pinhão e engrenagem são considerados corpos rígidos. Dessa forma, esse sistema pode ser aproximado a um mecanismo de quatro barras [3] com apenas um grau de liberdade, conforme a Figura 1. A Figura 1(a) apresenta o esquema do sistema pinhão-engrenagem no plano bidimensional, enquanto a Figura 1(b) mostra o mecanismo quatro barras equivalente ao par engrenado.

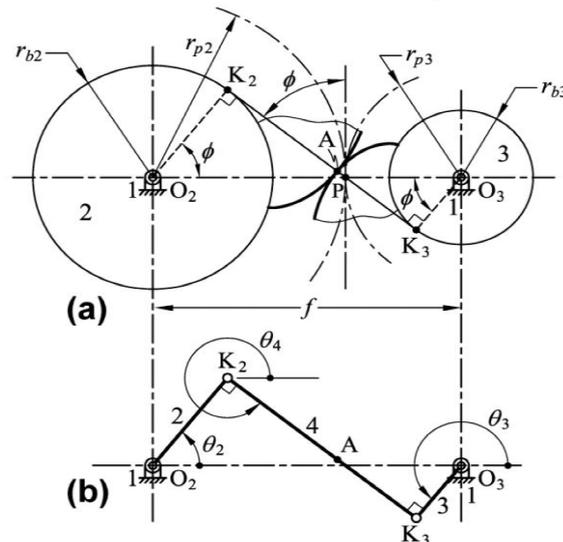


Figura 1: (a) Mecanismo de engrenagem plano; (b) Conexão quatro-barras equivalentes [3].

A partir da Figura 1(b), pode-se desenvolver as equações de posição, de velocidade e de aceleração do mecanismo, em que O_2 e O_3 são os centros do pinhão e da engrenagem, respectivamente. As barras 2, 3 e 4 são o raio base do pinhão, o raio base da engrenagem e o comprimento da linha de ação, respectivamente. Por sua vez, θ_2 , θ_3 e θ_4 são os ângulos entre as respectivas barras e a referência horizontal.

Modelando o sistema engrenado como um sistema quatro barras, consegue-se desenvolver a análise cinemática, e posteriormente a análise dinâmica do problema, considerando três situações:

- Contato seco, desconsiderando a rigidez de contato;
- Contato seco, considerando a rigidez de contato;
- Contato lubrificado.

Para as duas primeiras situações é considerado um mecanismo de um grau de liberdade, e na última situação, com dois graus de liberdade. A solução do problema em questão foi feita através do software Matlab®, utilizando o método de integração numérica pela ferramenta ode45.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O perfil de engrenamento escolhido foi o perfil evolvente, muito utilizado nas engrenagens presentes em sistemas de transmissão na grande maioria das máquinas nos setores automobilístico, marinho e aeronáutico.

O material escolhido foi o Aço SAE 1045, uma vez que é comumente utilizado para a produção de engrenagens, possui uma boa usinabilidade, facilitando a manufatura, como

também boas propriedades mecânicas. Por fim, esse material tem um preço acessível em comparação a outros aços que existem no mercado.

1.1 Geometria

Nas Figuras 2 e 3 estão os perfis modelados do pinhão e da engrenagem.

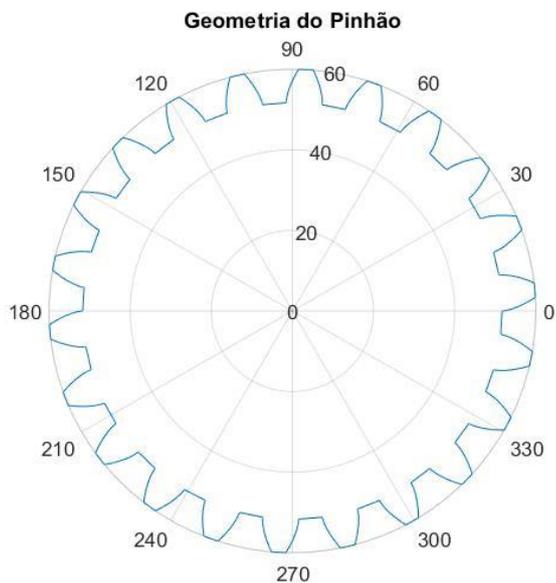


Figura 2: Perfil do pinhão.

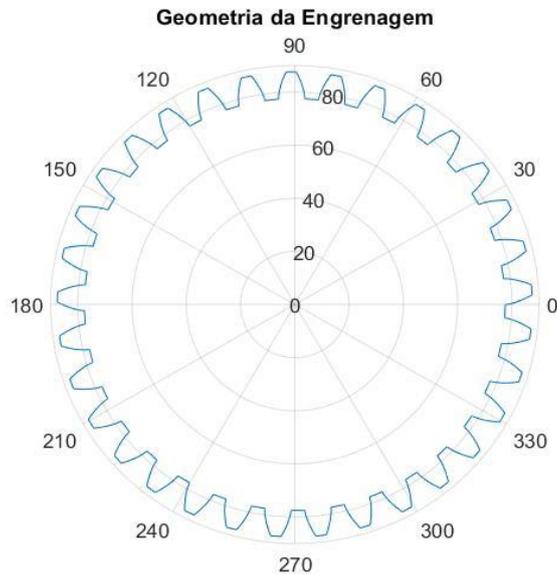


Figura 3: Perfil da engrenagem.

1.2 Comportamento do Raio de Curvatura

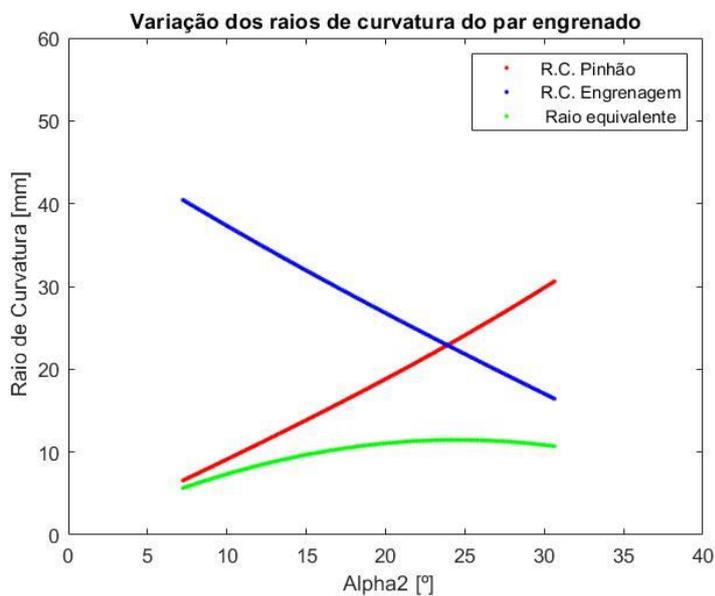


Figura 4: Variação dos raios de curvatura do par engrenado.

1.3 Comportamento da Velocidade de Escorregamento

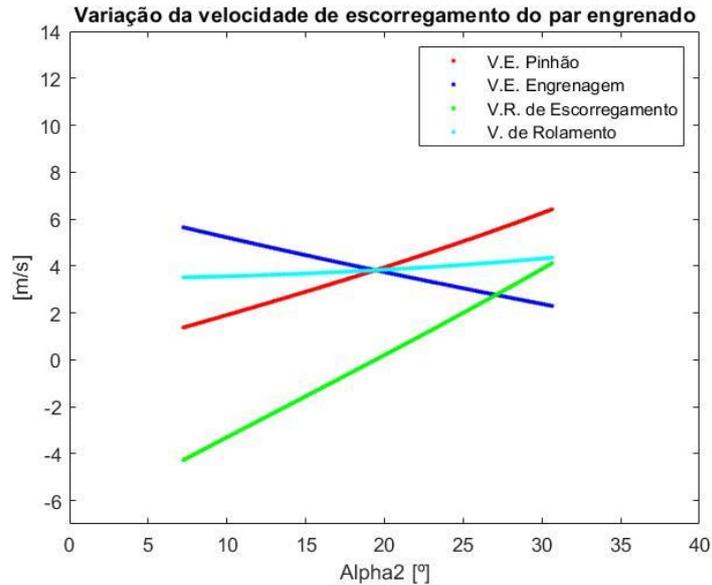


Figura 5: Comportamento das velocidades de escorregamento do par engrenado.

Observe-se que no ponto em que as velocidades de escorregamento do pinhão, da engrenagem e de rolamento são aproximadamente iguais, o valor do ângulo é aproximadamente o valor do ângulo de pressão do par engrenado. E para o mesmo valor de ângulo, α_2 , a velocidade resultante de escorregamento é um valor praticamente nulo, sendo que no ponto primitivo, a velocidade de escorregamento tende a ser nula.

1.4 Comportamento dinâmico do sistema desconsiderando a rigidez

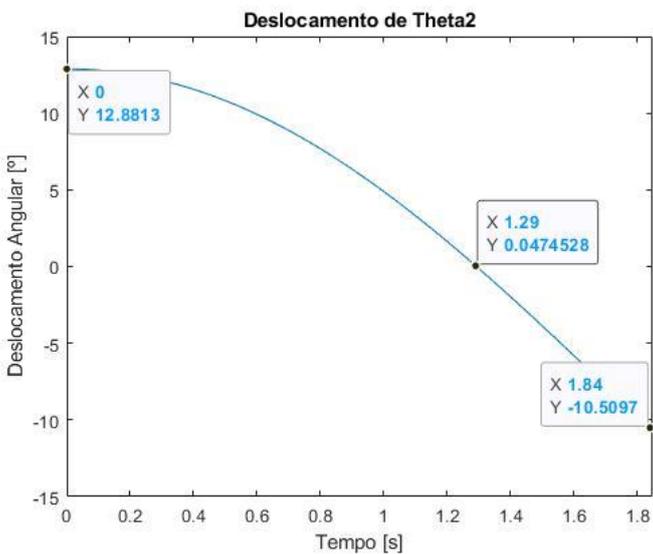


Figura 6: Deslocamento da coordenada generalizada.

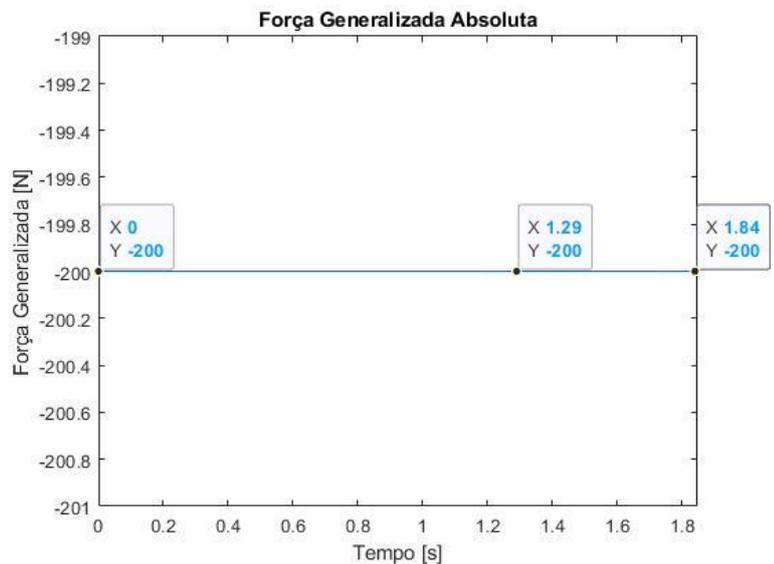


Figura 7: Força generalizada absoluta do sistema.

1.5 Comportamento dinâmico do sistema considerando a rigidez

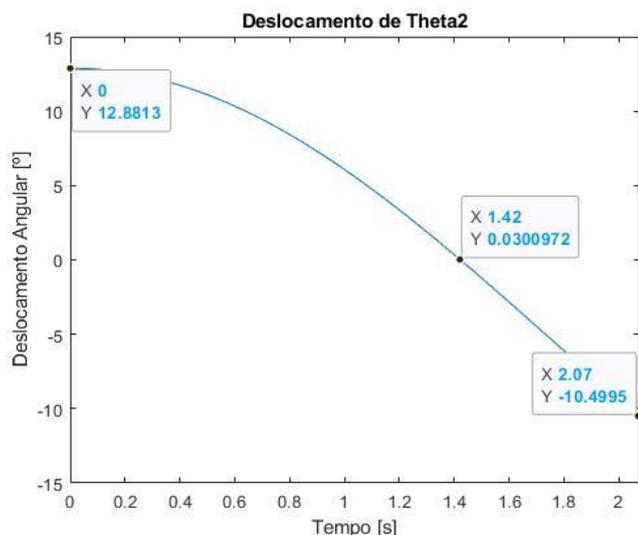


Figura 8: Deslocamento da coordenada generalizada.

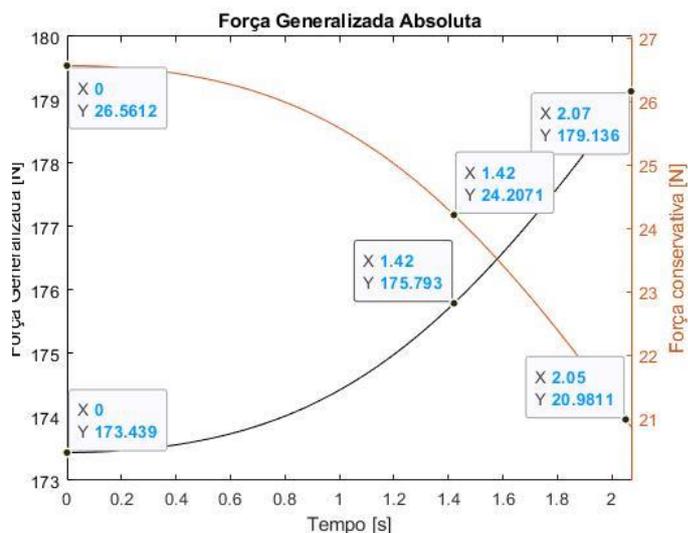


Figura 9: Força generalizada absoluta do sistema.

1.6 Comportamento dinâmico do sistema considerando lubrificação

A atual fase da pesquisa está em andamento com a programação para solucionar o problema considerando a lubrificação a óleo entre as engrenagens.

CONCLUSÕES:

A construção da geometria das engrenagens a partir dos parâmetros estudados mostrou-se coerente. No início do contato, o raio de curvatura do pinhão é menor que o raio de curvatura da engrenagem. Esse comportamento é invertido ao longo da linha de contato e, no fim do engrenamento, o raio de curvatura da engrenagem é menor que o do pinhão, o que corrobora com os resultados esperados para a geometria do par engrenado.

Além disso, de acordo com os resultados da análise dinâmica do sistema, é possível simplificar o par engrenado a um mecanismo quatro barras. A razão de transmissão é próxima, e o comportamento das variáveis do problema mostrou-se de acordo com o que se esperava, como comentado na seção 4 de resultados.

Assim, os resultados atingidos até o momento da pesquisa, desde a construção da geometria, até a equivalência a um mecanismo quatro barras, são coerentes, de acordo com as referências de pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

- [1] S. A. Badkas; N. Ajmera. Static and Dynamic Analysis of spur gear. International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), volume 7, p. 8-21, 2016.
- [2] LI, S.; KAHRAMAN, A. A Transient Mixed Elastohydrodynamic Lubrification Model for Spurs Gear Pairs. Journal of Tribology, v. 132, p. 1-9, 2010.
- [3] Chang, W.-T.; Yang, D.-Y. A Note on Equivalent Linkages of Direct-Contact Mechanisms. International Symposium on Robotics and Mechatronics. p. 51-62, 2019
- [4] Xiao, Z.; Zhou, C.; Chen, S.; Li, Z. Effects of oil film stiffness and damping on spur gear dynamics. Nonlinear Dynamics. 2019