

Investigação da Ruptura de Eixos de Transmissão Automotiva

Amanda Bernardes
amanda.zotte@aluno.ifsp.edu.br

João Pedro Blagitz Ravache
b.ravache@aluno.ifsp.edu.br



Introdução



Fadiga é principal modo de falha em eixos automotivos.




Eixos são componentes vitais que transferem potência (torque) do motor/câmbio para as rodas.





A falha de um eixo pode comprometer a operação segura e a integridade estrutural do veículo.

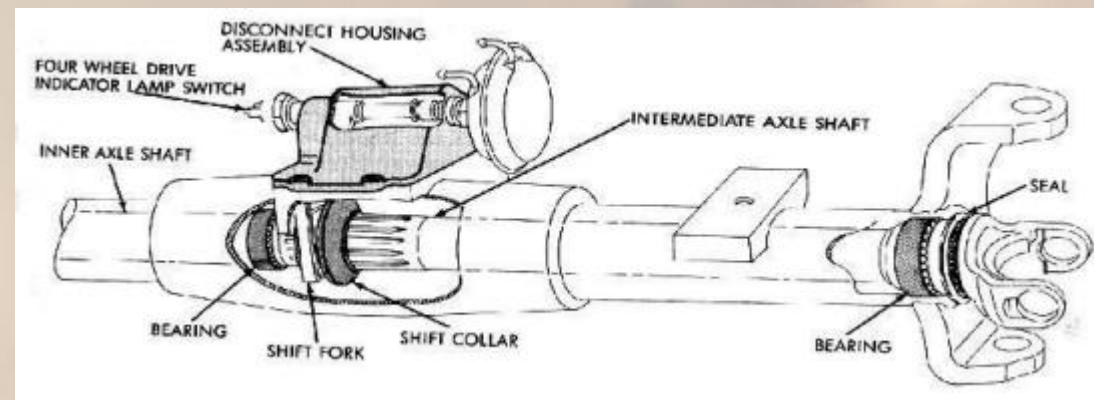


Eixo de Transmissão

 Responsável por transmitir torque do motor às rodas.




 Sujeito a tensões cíclicas de torção e flexão.

 Alta suscetibilidade à fadiga devido a descontinuidades geométricas.







Objetivo


-  Investigar causas de falha por fadiga em eixos automotivos.
-  Comparar eixo real com modelo idealizado (cilindro).
-  Identificar concentradores de tensão via MEF.

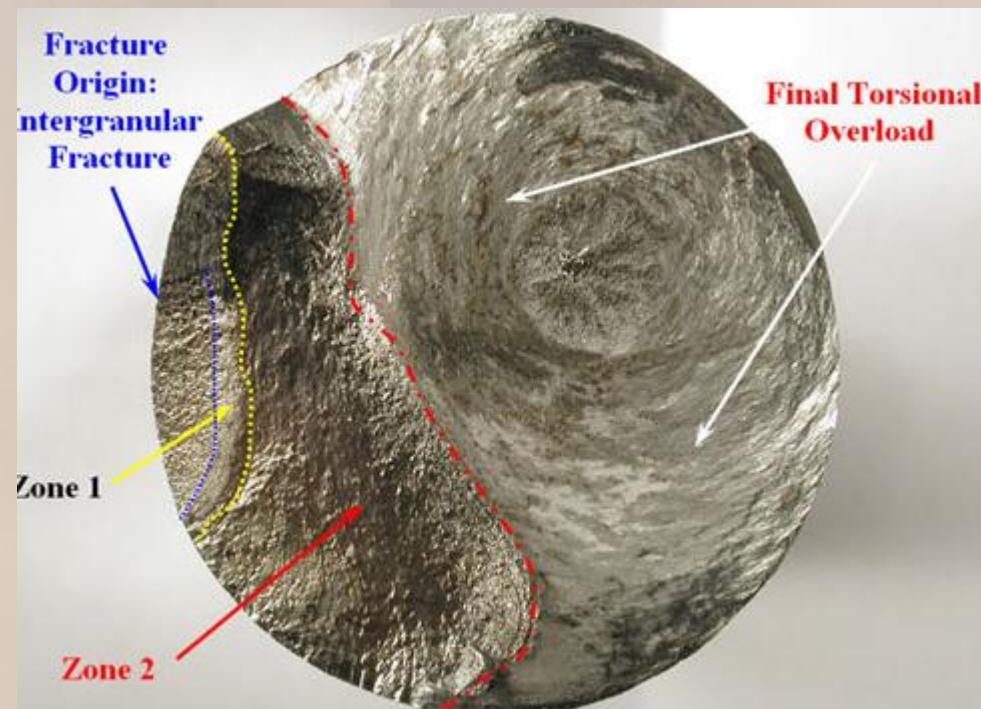


Fadiga de Materiais

 Falha causada por carregamentos cíclicos alternados.


 Três fases: iniciação → propagação → fratura final.

 Concentrações de tensão aceleram a falha.

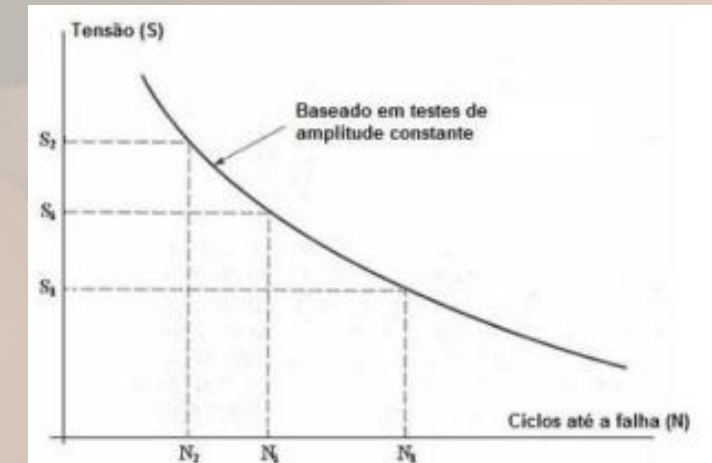





Modelos de Análise

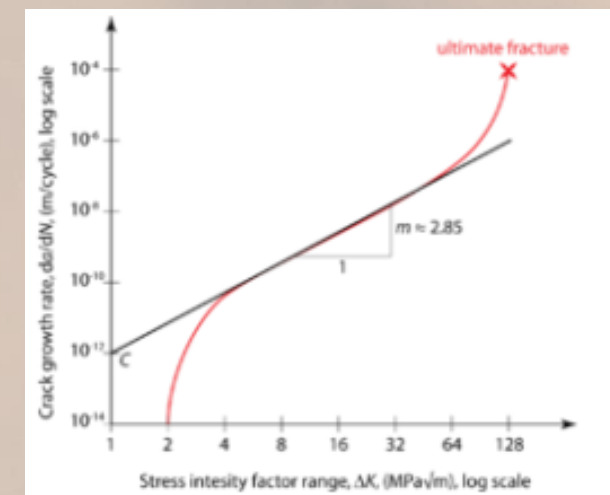
 Regra de Palmgren-Miner (Dano Cumulativo): $B = \sum_{i=1}^k \frac{n_i}{N_i}$

- Modela dano acumulado sob diferentes amplitudes de carga.
- Baseia-se na soma dos ciclos equivalentes até falha.
- Relacionada à curva S–N.






 Lei de Paris-Erdogan (Propagação de Trinca): $\frac{da}{dN} = C \cdot (\Delta K)^n$

- Taxa de crescimento da trinca durante a fase estável da fadiga.
- Relaciona o avanço da trinca à variação da intensidade de tensão.
- Essencial para prever o número de ciclos até a falha final.



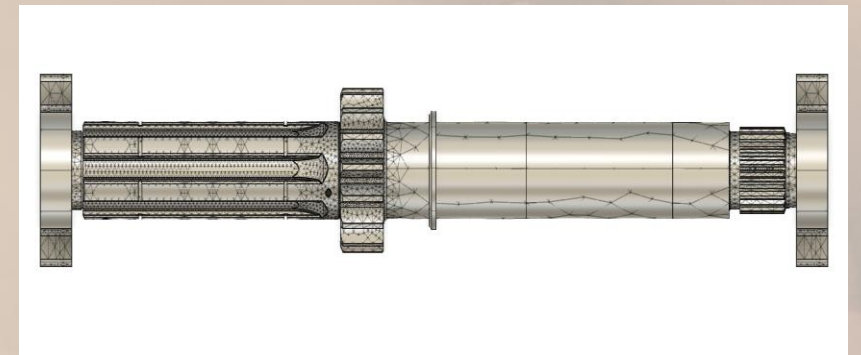
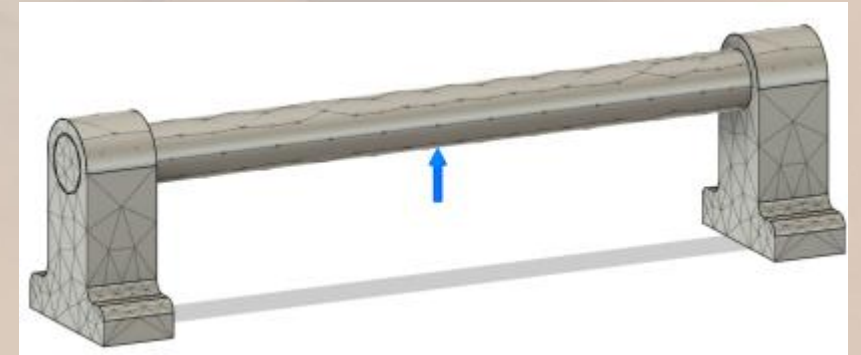
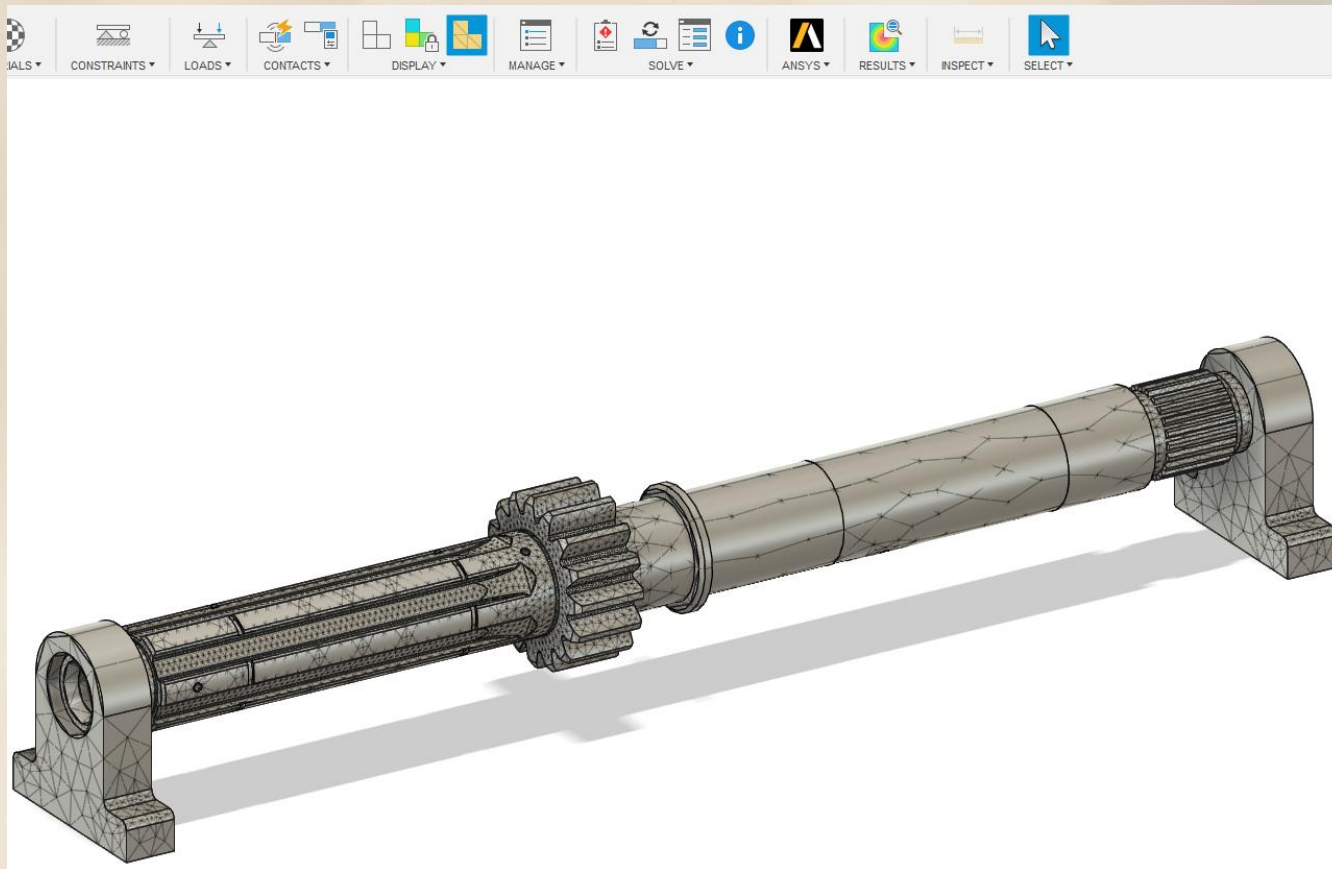


Método dos Elementos Finitos

-  Divide a geometria real do componente em pequenos elementos interconectados, permitindo analisar regiões críticas com alta precisão.
-  Resolve numericamente campos de tensão, deformação e deslocamento, com base no comportamento mecânico do material. Permitindo simular carregamentos complexos, como torção cíclica, flexão e combinações de esforços simultâneos.
-  Reduz custos de prototipagem física ao antecipar falhas em ambiente virtual, acelerando o desenvolvimento do componente. Para este estudo, o MEF foi aplicado no Fusion 360 com malhas tetraédricas finas em zonas críticas, garantindo maior resolução nos pontos de maior gradiente de tensão.







Método dos Elementos Finitos







Etapas da Pesquisa


-  **Revisão Bibliográfica:** Estudo sobre fadiga, ruptura de eixos e métodos de análise.
-  **Definição do Sistema:** Seleção do software (Autodesk Fusion 360) e do objeto de estudo (eixo do Honda GL).
-  **Simulação (MEF):** Modelagem 3D e aplicação de testes virtuais de estresse e fadiga (MEF) em condições realistas.
-  **Análise Comparativa:** Comparação dos dados extraídos da simulação para identificar os pontos críticos de projeto.




Material: Aço SAE 4140 (Temperado e Revenido)

 Liga de Cromo-Molibdênio, de uso comum na indústria automotiva

 Alta Resistência Mecânica: Suporta tensões elevadas.

 Boa Tenacidade: Resiste à propagação de trincas e impactos.

 Elevada Resistência à Fadiga: Essencial para componentes sob cargas cíclicas.

Propriedades	Valores
Densidade (ρ)	7750 kg/m ³
Gravidade Específica	7.75
Coeficiente de Poisson (ν)	0.29
Limite de Escoamento (S_y)	986 MPa
Limite de Resistência à Tração (UTS)	1075 MPa
Resistência à fadiga (S_e)	~500 - 650 MPa



Resultados: Tensões



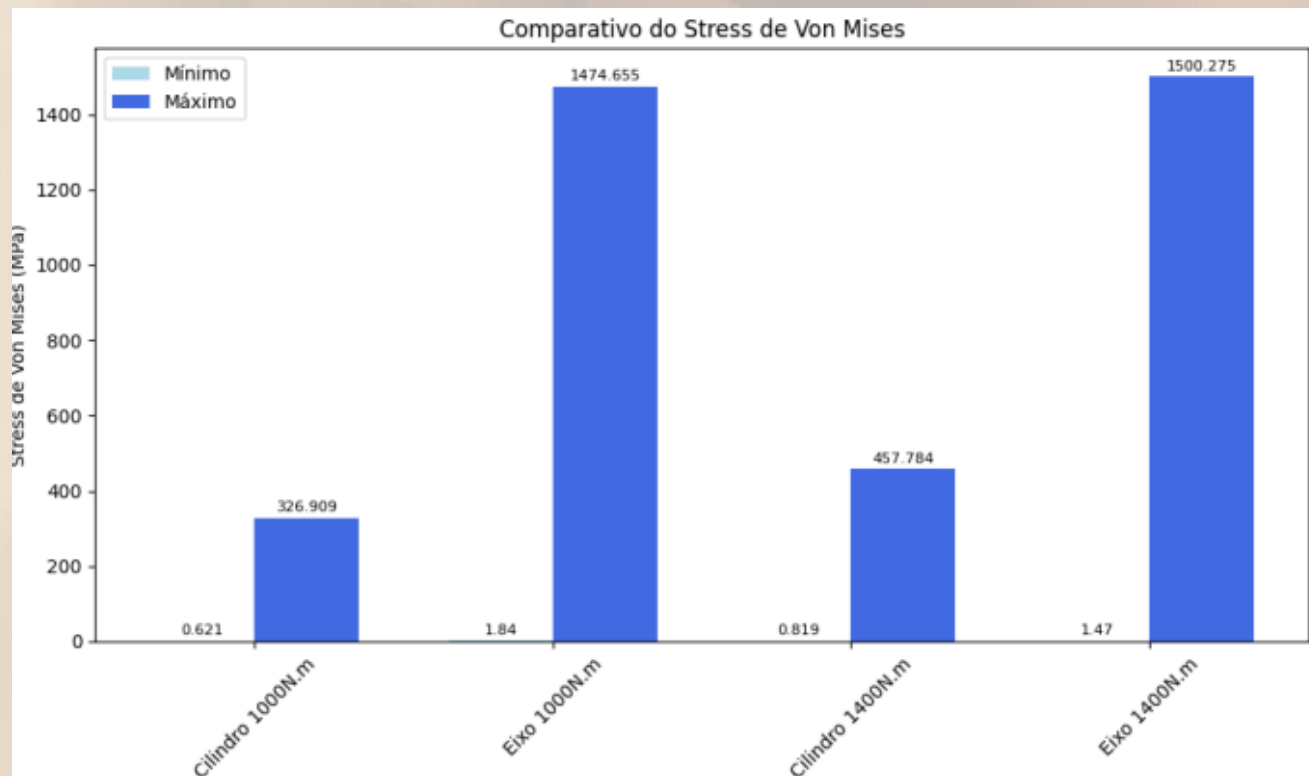
Eixo: picos acima de 1470 MPa → muito além do limite do material.



Cilindro: até 457 MPa → dentro da capacidade do aço.



Concentrações de tensão explicam a falha.

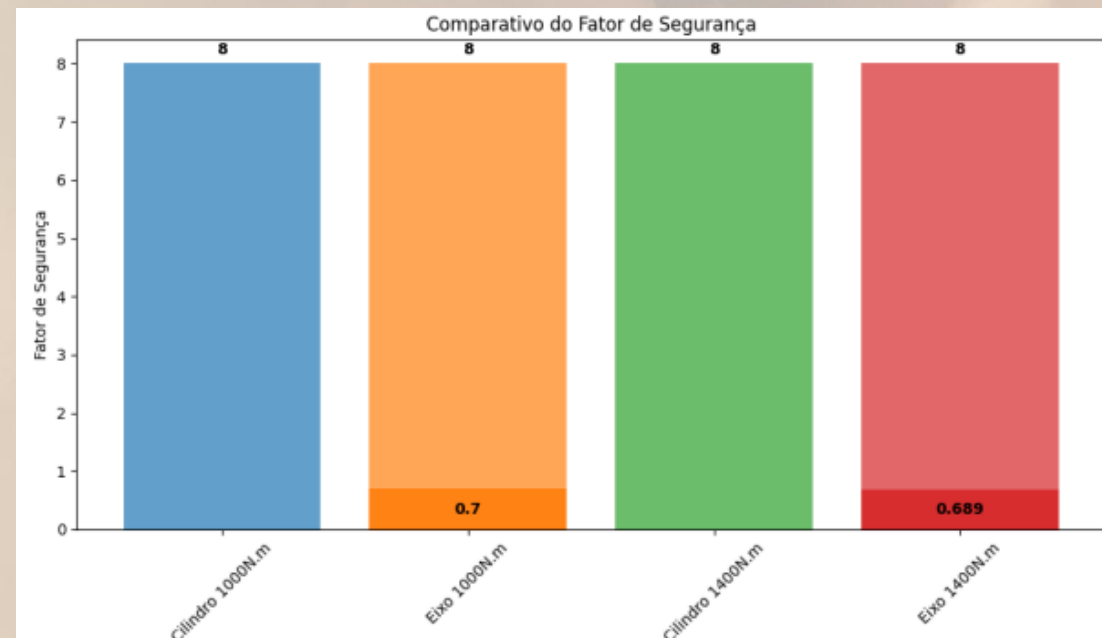
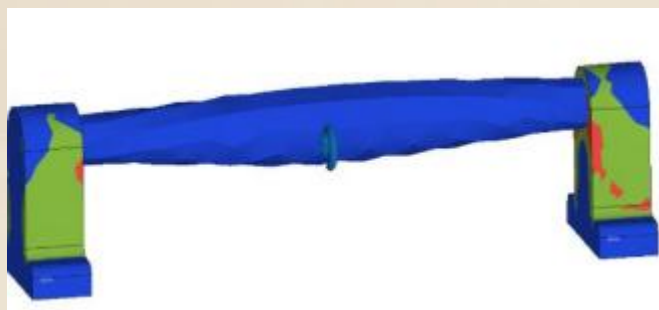




Resultados: Fator de Segurança




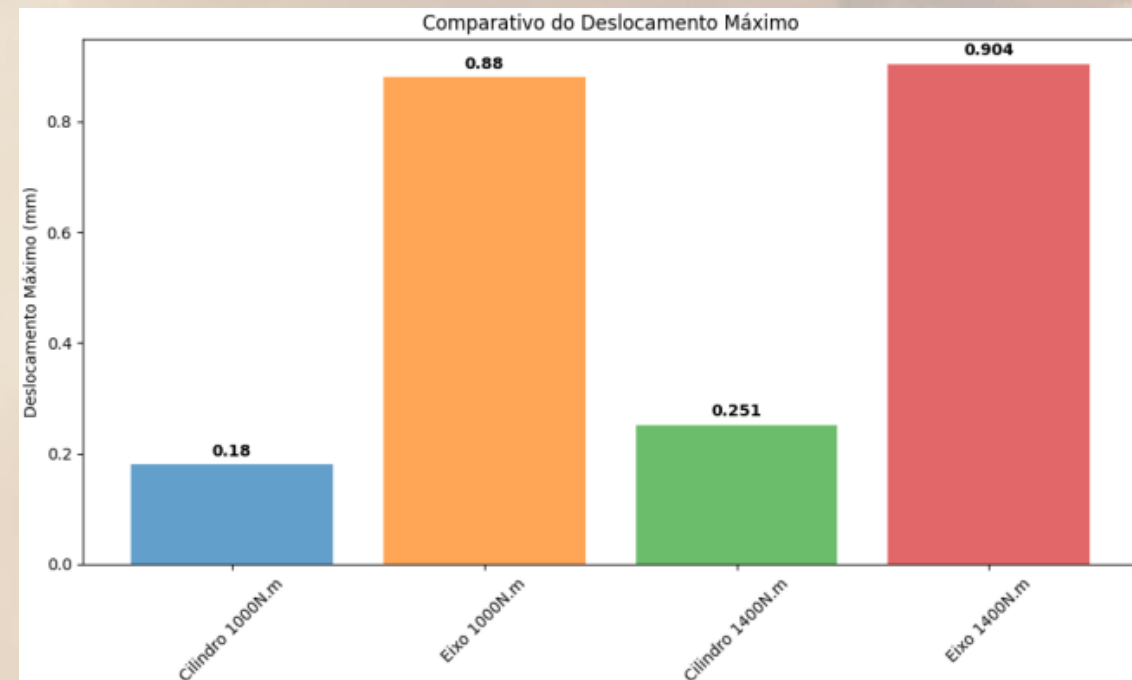
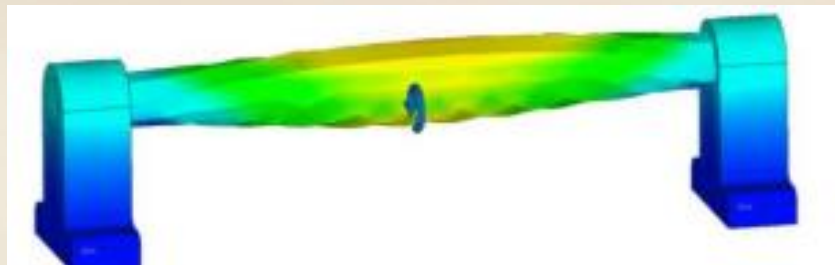
O Fator de Segurança (FS) indica quão longe o componente está de falhar, sendo calculado com base no limite de escoamento do material. Um FS abaixo de 1.0 indica falha iminente.








Resultados: Análise de Vida em Fadiga

 O maior deslocamento está associado a menor rigidez e maior concentração de tensão. A geometria complexa do eixo, com transições bruscas e entalhes, amplifica deformações locais.





Conclusões

-  As simulações revelaram que o eixo real atinge tensões de Von Mises (até MPa) que excedem o limite de resistência do material (SAE 4140).
-  A falha não se deveu a uma falha primária de fadiga cíclica, mas sim à **sobrecarga estática localizada** e subsequente falha por fadiga.
-  A causa principal da ruptura é o efeito de **Concentração de Tensão** provocado pelas descontinuidades geométricas (base dos dentes e raios de concordância).

Obrigado Pela Atenção

