

Falha por Cisalhamento em Parafusos e Juntas Estruturais Automotivas: Avaliação de Segurança em Fixações Submetidas a Vibrações.

Caique Pimental da Silva
caique.pimentel@aluno.ifsp.edu.br

Kayky Raphael Gigante da Silva
kayky.gigante@aluno.ifsp.edu.br



Introdução

 Desde sua criação em 1885, a indústria automobilística tem crescido e influenciado diversos setores industriais, introduzindo inovações tecnológicas e métodos produtivos como o Fordismo e o Toyotismo. Com o avanço das tecnologias, os padrões de qualidade e segurança também evoluíram, exigindo testes rigorosos para garantir a confiabilidade dos veículos. Entre os componentes mais críticos estão as **juntas e parafusos estruturais**, cuja falha pode causar consequências graves ao usuário.

 Sendo assim, essa mesma indústria investe em tecnologias e estudos para analisar condições de **cisalhamento** e as **vibrações** envolvidas que podem causar falhas em juntas e parafusos. Dessa maneira, o artigo busca discutir as **causas e efeitos das vibrações**, os **modos de falha em fixações** e maneiras de **maximizar a segurança estrutural** dos sistemas automotivos.

Juntas Aparafusadas



Exemplo de junta aparafusada
em veículos leves.



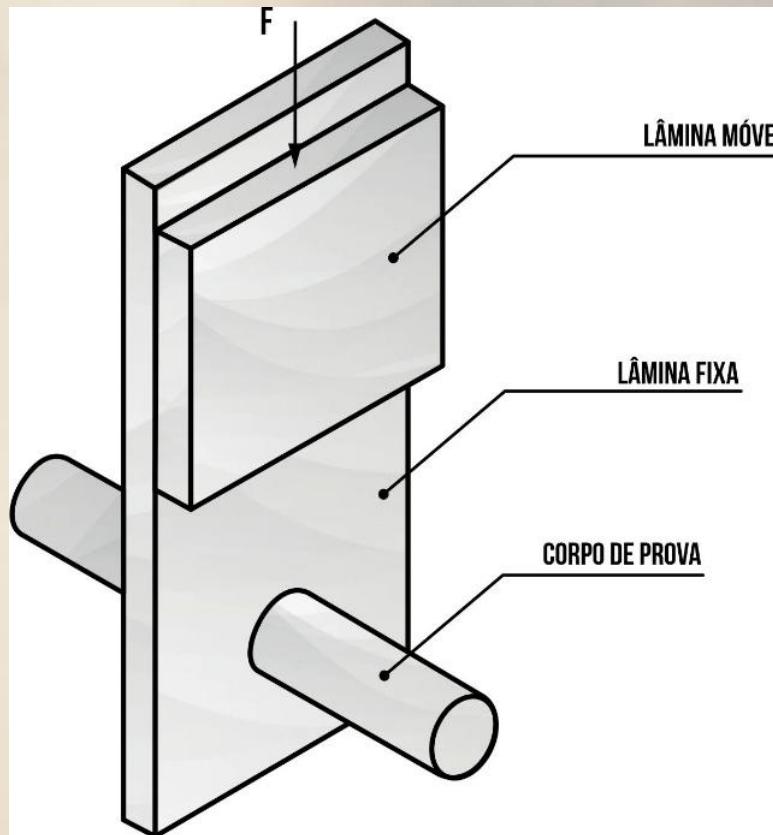
Exemplo de junta aparafusada
em veículos pesados.



Definições Sobre Cisalhamento

-  Cisalhamento pode ser tido como sendo uma **deformação** resultante de esforços que tendem a fazer com que as partes contíguas de um corpo deslizem uma em relação à outra, em direção paralela ao plano de contato entre elas. Sendo assim, em projetos estruturais decorrentes de atuação de forças específicas, os processos de cisalhamento são os principais pontos de análise para garantia de resistência do conjunto.
-  Dessa forma, para avaliar a resistência de um material ao cisalhamento, frequentemente são utilizados **ensaios mecânicos**. Para tal, uma amostra é submetida a uma força de cisalhamento controlada via dispositivos mecânicos, com essa força sendo aplicada de modo a provocar uma deformação por cisalhamento na amostra, gerando um deslocamento relativo entre suas partes.

Definições Sobre Cisalhamento



Dispositivos de cisalhamento
usando lâmina móvel.



Juntas Aparafusadas em Sistemas Automotivos

- As juntas aparafusadas são **indispensáveis** na engenharia automotiva, presentes em praticamente todos os sistemas do veículo, desde a **fixação da carroceria até os conjuntos de suspensão, motor e transmissão**. Tais elementos são responsáveis por garantir a **integridade estrutural** e a **segurança operacional** do automóvel.
- Nesse contexto, um dos principais desafios associados às fixações automotivas está relacionado à sua **exposição contínua a condições dinâmicas severas**, como **vibrações** provenientes do motor, irregularidades da pista e os **esforços variados** decorrentes de acelerações, frenagens e manobras.
- Dessa maneira, tal ambiente favorece a **perda gradual da pré-carga** dos parafusos, que compromete a capacidade de transmissão de esforços pela junta e pode culminar em **falhas por escorregamento ou cisalhamento**.



Juntas Aparafusadas em Sistemas Automotivos

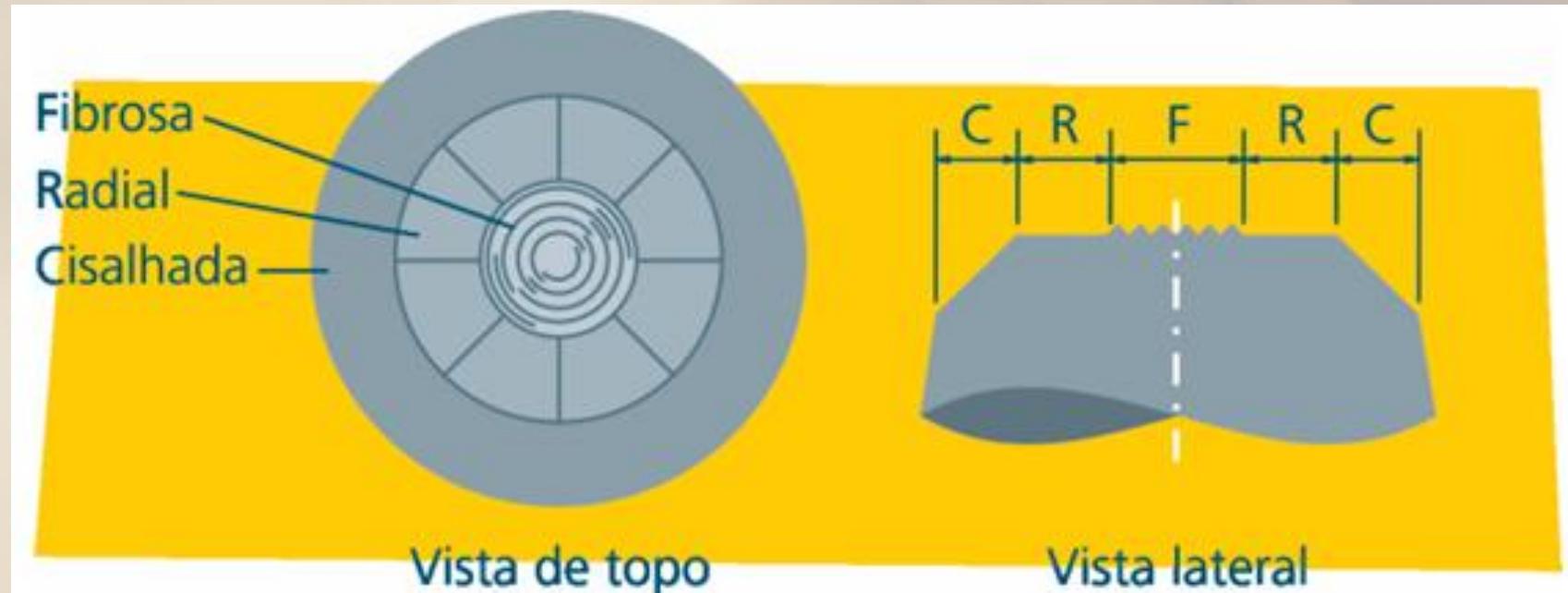
- A falha por cisalhamento em parafusos representa um risco crítico aos sistemas automotivos, pois pode levar à **ruptura total da junta estrutural** e, consequentemente, à **perda de funcionalidade** de componentes de segurança.
- Em meio a isso, métodos de **análise teórica**, aliados a **ensaios de cisalhamento padronizados**, constituem ferramentas indispensáveis para a avaliação da confiabilidade de fixações automotivas submetidas a vibrações.
- Assim, a **integração** entre modelagem analítica e resultados experimentais fornece uma abordagem abrangente para compreender e mitigar os riscos de falha em juntas estruturais automotivas.



Modos de Falha em Fixações

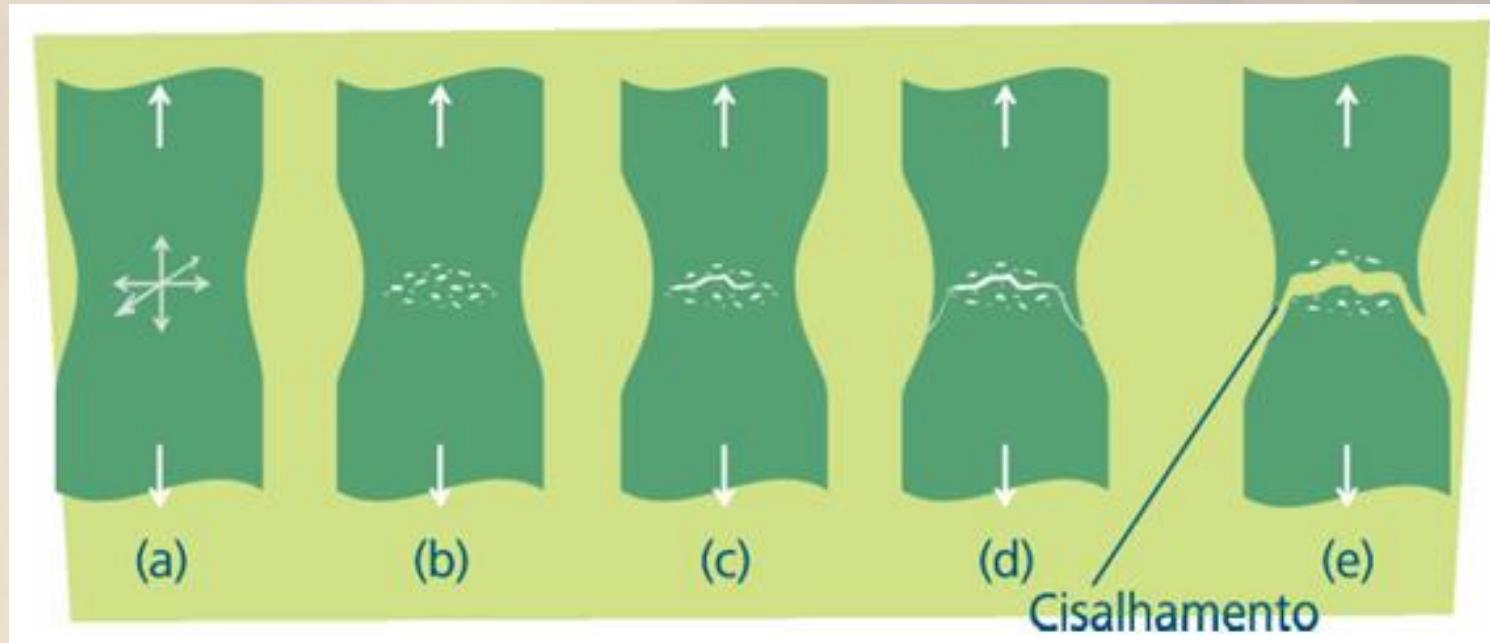
- De modo geral, os parafusos costumam falhar principalmente na **região de contato entre a cabeça e a região cilíndrica**, nos primeiros fios de rosca.
- As principais razões para a falha são: a utilização de parafusos com resistência inferior à necessária, pré-carga inadequada e projeto da junta insatisfatório.
- Segundo o professor Ivan Zolin em “Ensaios Mecânicos e Análises de Falhas” (2011), o processo de cisalhamento direto pode ser tido como uma fratura dúctil do material. Isso significa que a fratura em si é acompanhada de uma deformação plástica significativa e de uma estrição da secção transversal. Seguindo o raciocínio, a fratura dúctil, em geral, apresenta três zonas distintas:
 - **Zona fibrosa**: corresponde ao início da fratura;
 - **Zona radial**: corresponde à região de propagação instável da fratura, com aparência rugosa;
 - **Zona de cisalhamento**: inclinada 45° em relação ao eixo de tração.

Modos de Falha em Fixações



Representação da zona fibrosa,
radial e cisalhada.

Modos de Falha em Fixações



Mecanismo de formação da fratura através
do coalescimento dos grãos.

Modos de Falha em Fixações

 Alguns outros elementos que podem contribuir para falhas em juntas de fixação:

- Aperto insuficiente;
- Vibrações;
- Forças dinâmicas;
- Cargas de flexão;
- Efeitos térmicos;
- Dobramento de peças;
- *Self-loosing*.



Etapas do desenvolvimento de uma trinca até o rompimento.



Equações para Dimensinamento

- Determinada a força resultante em cada fixação calculada, a **fixação mais solicitada**, ou seja, aquela com a maior força resultante, **deve ser dimensionada** para resistir a essa carga.
- Sendo assim, a tensão de cisalhamento no corpo de um parafuso (τ) deve ser menor que a tensão de cisalhamento admissível (τ_{adm}).

$$\tau = \frac{P_{res}}{A_s} \leq \tau_{adm} \quad \text{onde, } A_s \text{ indica área de cisalhamento do parafuso.}$$

- Além disso, também deve ser considerada a tensão de esmagamento (*bearing stress*) no material da placa (σ_b).

$$\sigma_b = \frac{P_{res}}{d \cdot t} \leq \sigma_{b,adm} \quad \text{onde, } d \text{ é o diâmetro do parafuso e } t \text{ é a espessura da placa.}$$

Discussão e Análise Crítica

- Com base na linha de raciocínio e conhecimento desenvolvido, é possível notar grande embasamento teórico e de cálculo para projetos mecânicos, representando, por sua vez, **cenários estáticos gerais** e que permitem boa compreensão e análise para um dimensionamento correto e de componentes e juntas de fixação, inclusive tendo ciência dos riscos e adversidades por possíveis falhas enfrentadas.
- Entretanto, quando se trata de questões de **aplicabilidade prática**, é necessária compreensão profunda de suas **limitações**. Nesse contexto, temos que os modelos matemáticos e físicos definidos são tidos frequentemente simplificados quanto a geometria do projeto, propriedades do material e condições de carregamento. Além disso, podemos ter também a **existência de variáveis não controladas** no sistema, como temperatura, umidade, corrosão ou pequenas imperfeições de fabricação, com a teoria não sendo capaz de capturar por completo fenômenos complexos.

Discussão e Análise Crítica

- 💡 Sendo assim, a discrepância entre os modelos ideias e o comportamento real é um **ponto crítico** na engenharia. Em modelos ideias, as condições de contorno são simplificadas, enquanto em campo essas condições são bastante complexas e podem variar com o tempo, afetando a distribuição de tensões e deformações.
- 💡 Por tanto, nesse contexto, destaca-se a necessidade de uma **apuração cautelosa** na implementação de **margens e fatores de segurança**. Para tal, existem diversos ensaios relacionados que fornecem dados empíricos e valiosos a respeito do comportamento de todo o jogo estrutural, como por exemplo ensaios de fadiga e vibração, havendo ainda um conjunto de normas que procura enquadrar os projetos mecânicos em margens seguras de utilização.
- 💡 VDI 2230: análise de juntas aparafusadas e ISO 898-1: propriedades mecânicas de parafusos



Conclusões

- Ao longo deste artigo, pode-se compreender a importância do estudo das vibrações atuantes em um sistema automotivo, além também de entender como tal pode influenciar nos efeitos de cisalhamento nas juntas e parafusos do corpo de prova, evidenciando as suas características e principais métodos de validação teórico-prático utilizado pelas montadoras de veículos automotores e as influências que estas trazem consigo.
- Em acréscimo, o mesmo também evidenciou a funcionalidade das análises, explicitando o viés de segurança que os testes aqui apresentados possuem e destacando sua influência na régua de qualidade e segurança imposta pelas fábricas de automóveis, assim, espera-se que o leitor possa entender o valor que os testes realizados pelos fabricantes possuem a fim de evitar que os efeitos aqui apresentados para juntas mal dimensionadas e parafusos cisalhados impactem diretamente na vida do usuário dos veículos.

Obrigado Pela Atenção

