




Estudo de Ruptura em Pontes de Treliça

Rafael César Oliveira Pazianoto
pazianoto.cesar@aluno.ifsp.edu.br

Raylson Rodrigues dos Santos
raylson.rodrigues@aluno.ifsp.edu.br



Introdução

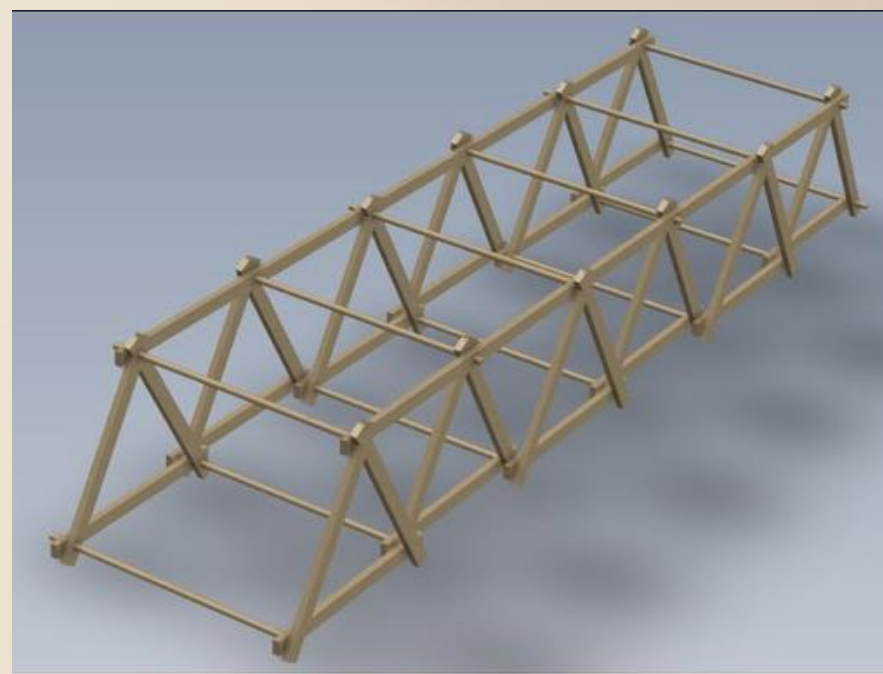
-  O que são pontes de treliça, a física aplicada nelas, os tipos de ponte de treliça e seu funcionamento.
-  Estudo avançado do rompimento em pontes de treliça - comparação entre artigos Walbridge & Nussbaumer (2008) e Chen et al. Exemplos reais de rompimento de pontes.
-  Estudo de Esforços Cisalhantes nas Conexões de Pontes Treliçadas



Treliças e Caminho de Cargas



Treliças são estruturas trianguladas em que as barras trabalham basicamente à tração ou compressão. Nas pontes treliçadas, as cargas vão do tabuleiro para nós, barras e apoios, definindo o caminho de cargas e o dimensionamento.

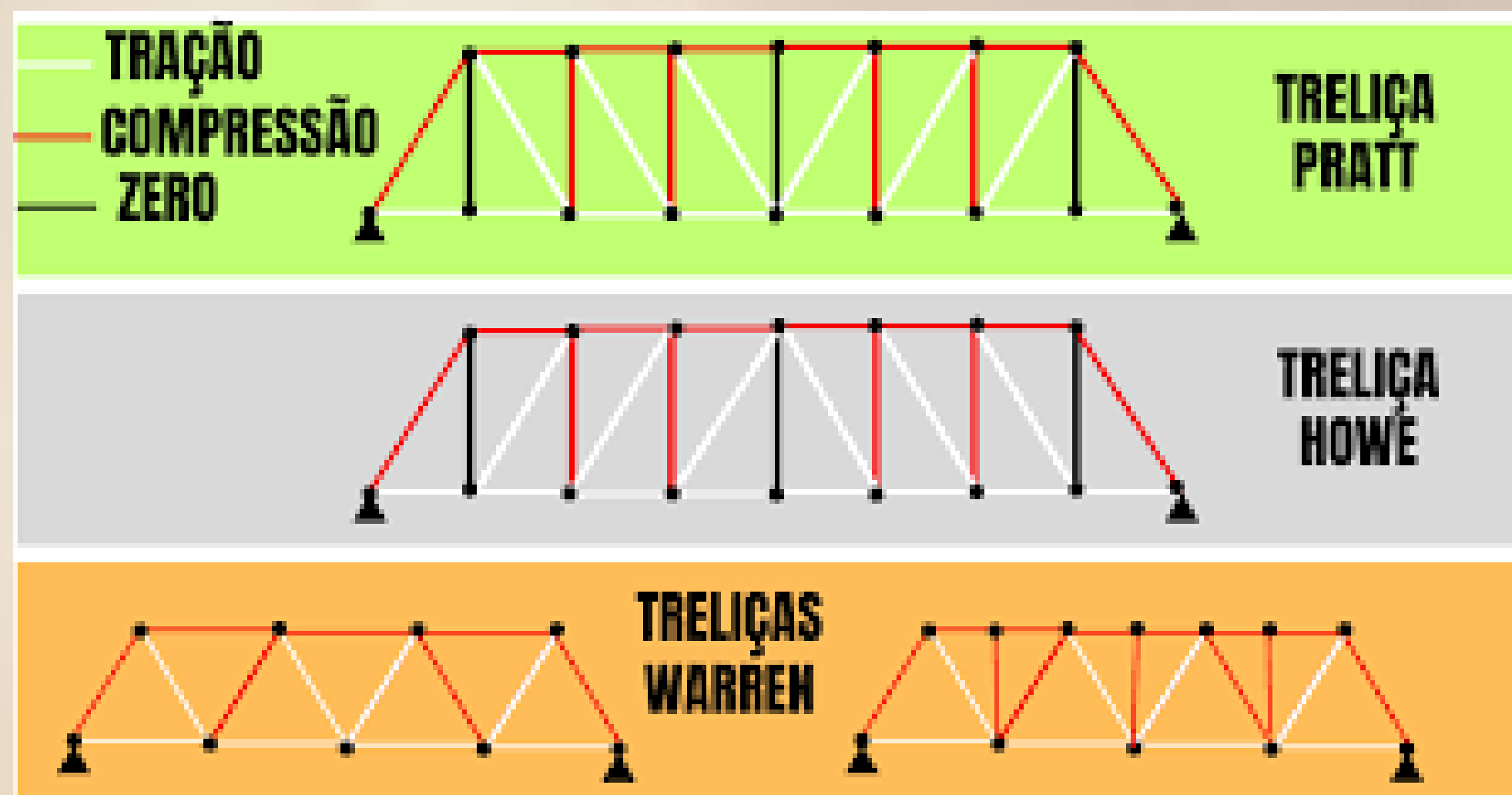




Tipos de Treliças e Mecânica Aplicada



Treliças Pratt, Howe e Warren diferem pela disposição de diagonais e pelo tipo de esforço predominante (tração ou compressão). A análise usa conceitos de resistência dos materiais, com foco em esforços axiais nas barras e cisalhamento concentrado nas ligações.

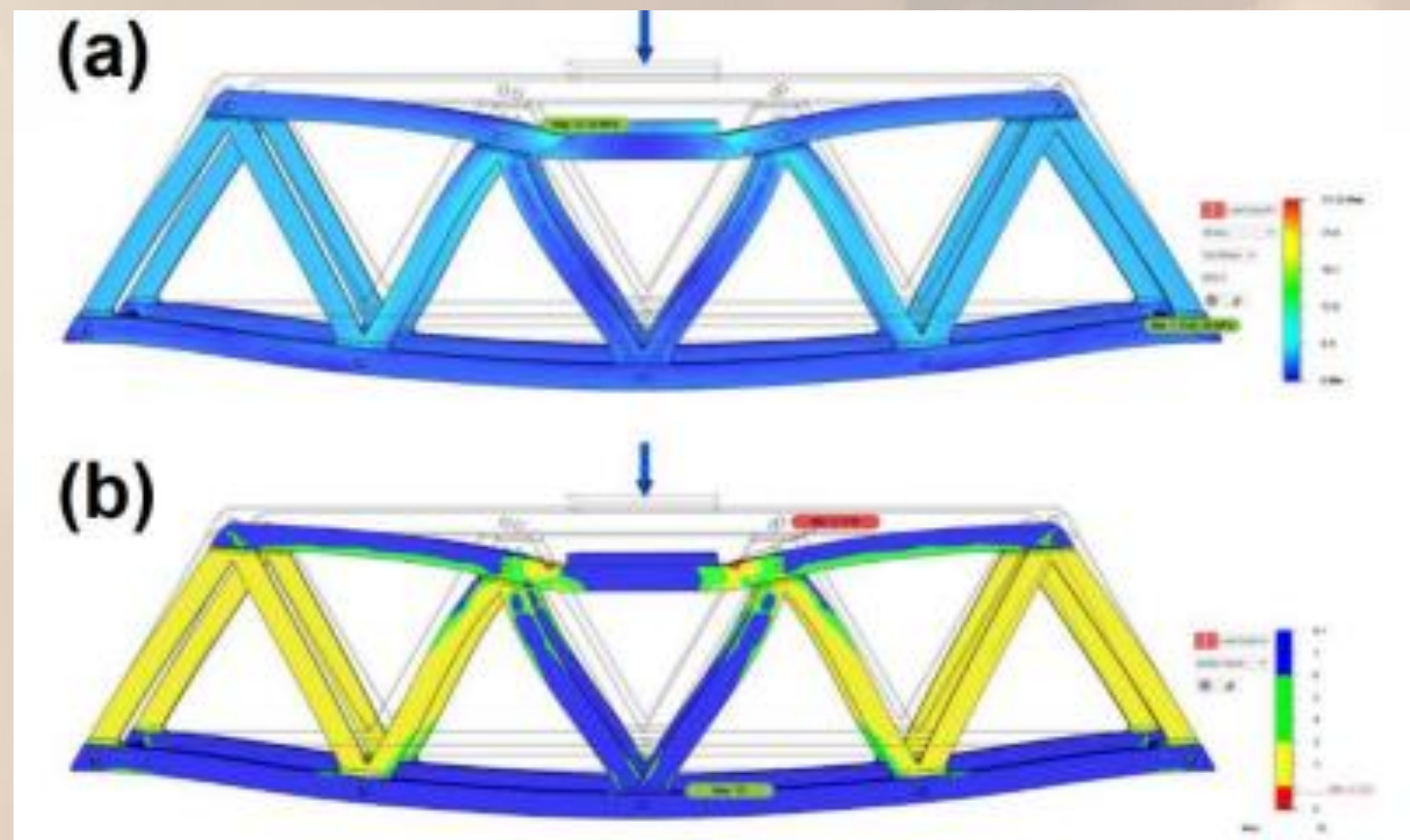
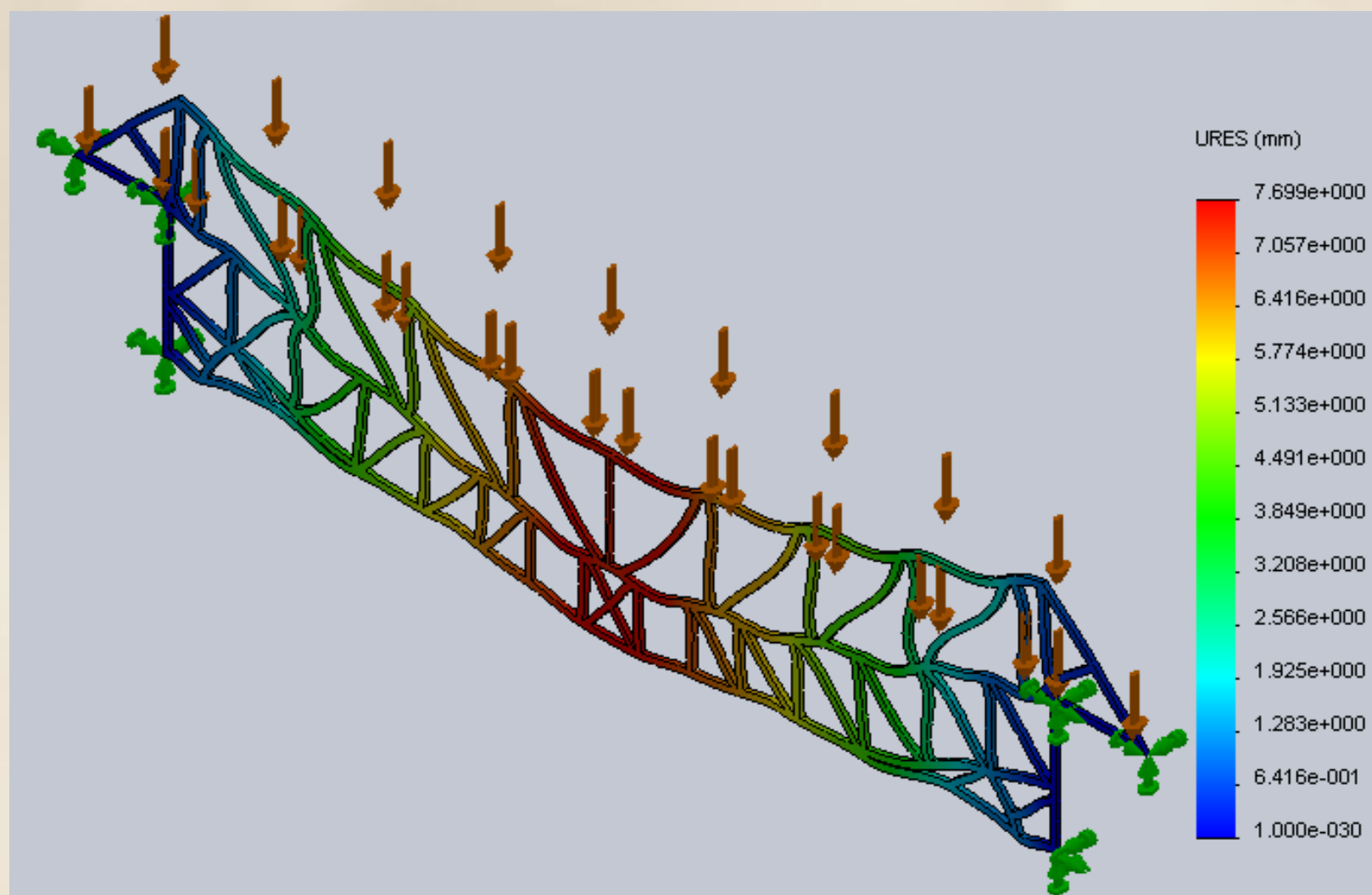




Estabilidade e Cálculo de Esforços



Barras comprimidas podem flambar, exigindo verificação de esbeltez e redução da carga resistente. Os esforços nas barras são obtidos por equilíbrio global e métodos como nós e seções, servindo de base para checar deformações e flechas.





Ligações e Cenários de Colapso



Colapsos de treliças costumam começar nas ligações, por corrosão, perda de aperto ou chapas frágeis. Em estruturas pouco redundantes, a falha de uma conexão pode desencadear colapso progressivo de toda a ponte.

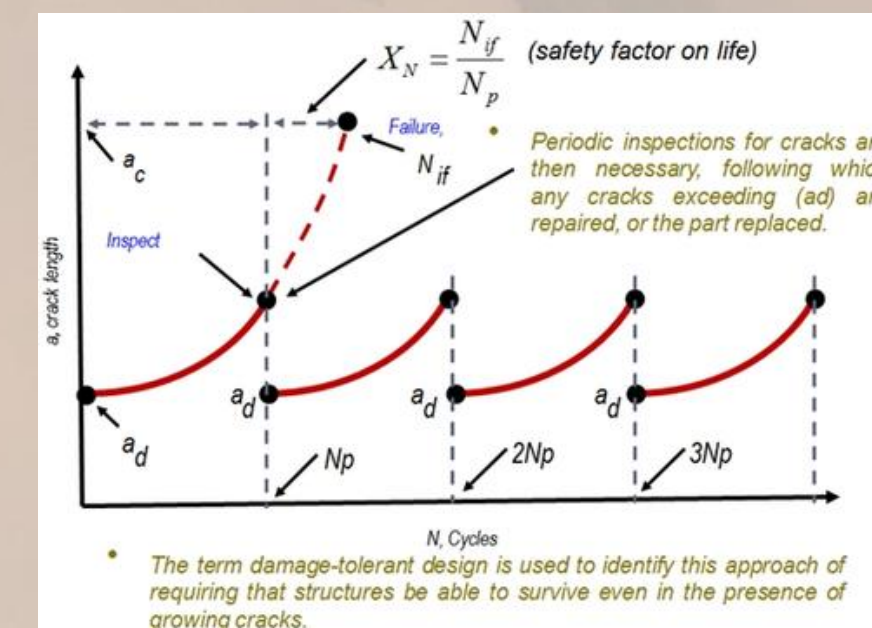
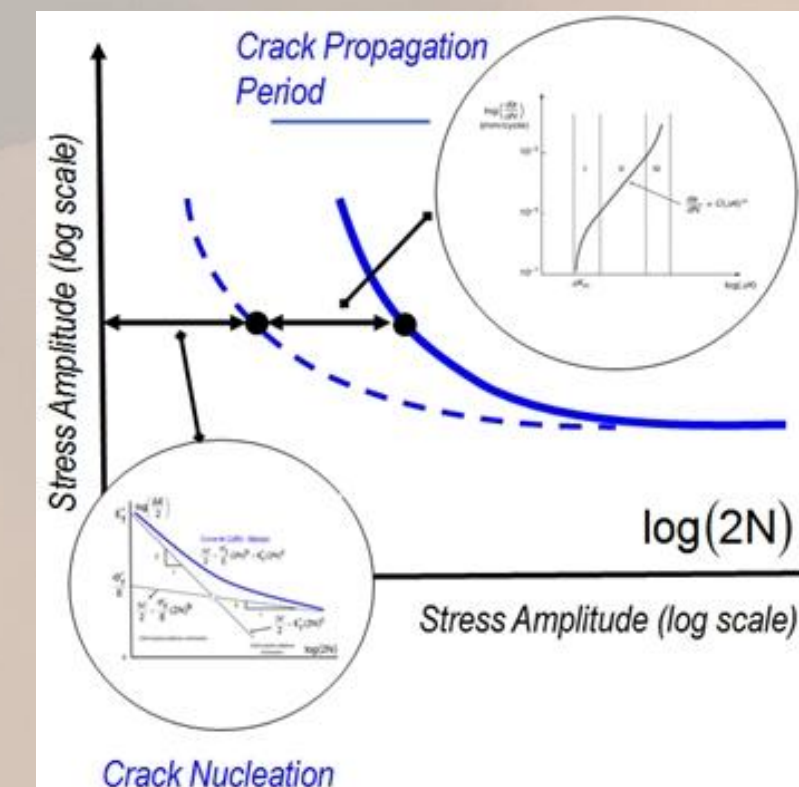




Estudo 1: Walbridge & Nussbaumer (2008)

A fadiga é o inimigo mais insidioso das estruturas metálicas, sendo responsável pela maioria das falhas em serviço. Em pontes treliçadas, o tráfego contínuo gera carregamentos cíclicos que, ao longo do tempo, causam a nucleação e a propagação de trincas em pontos de alta concentração de tensão.

A Mecânica da Fratura Elástica Linear (LEFM) é a ferramenta essencial para analisar este risco. Ela quantifica a magnitude do campo de tensões na ponta da trinca através do Fator de Intensidade de Tensão.





Estudo 2: Chen et al. (2024)

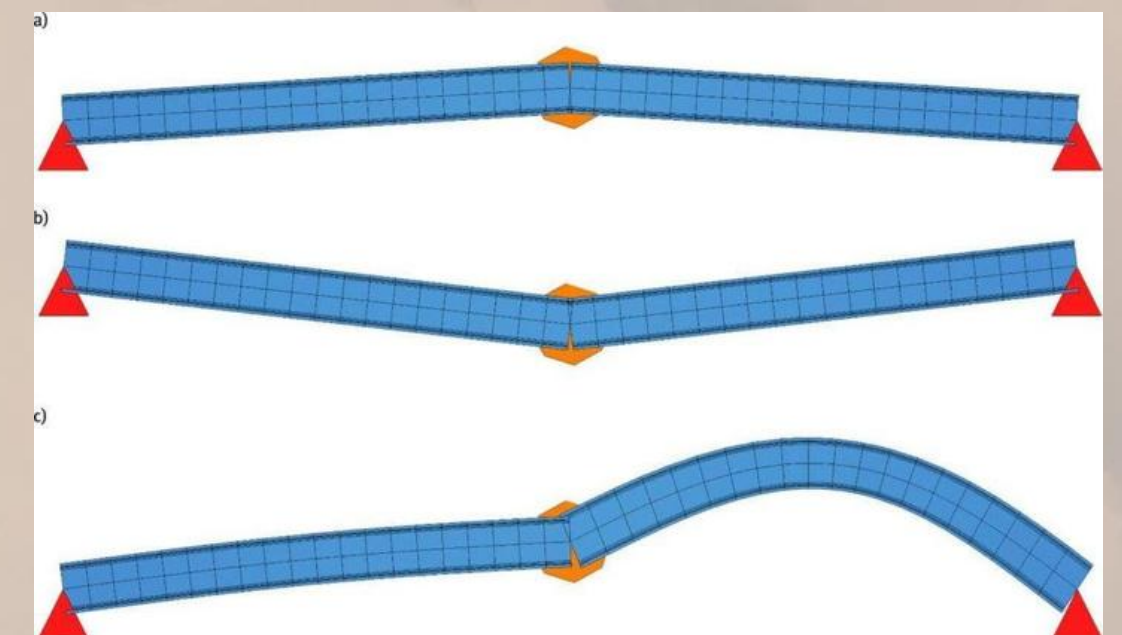
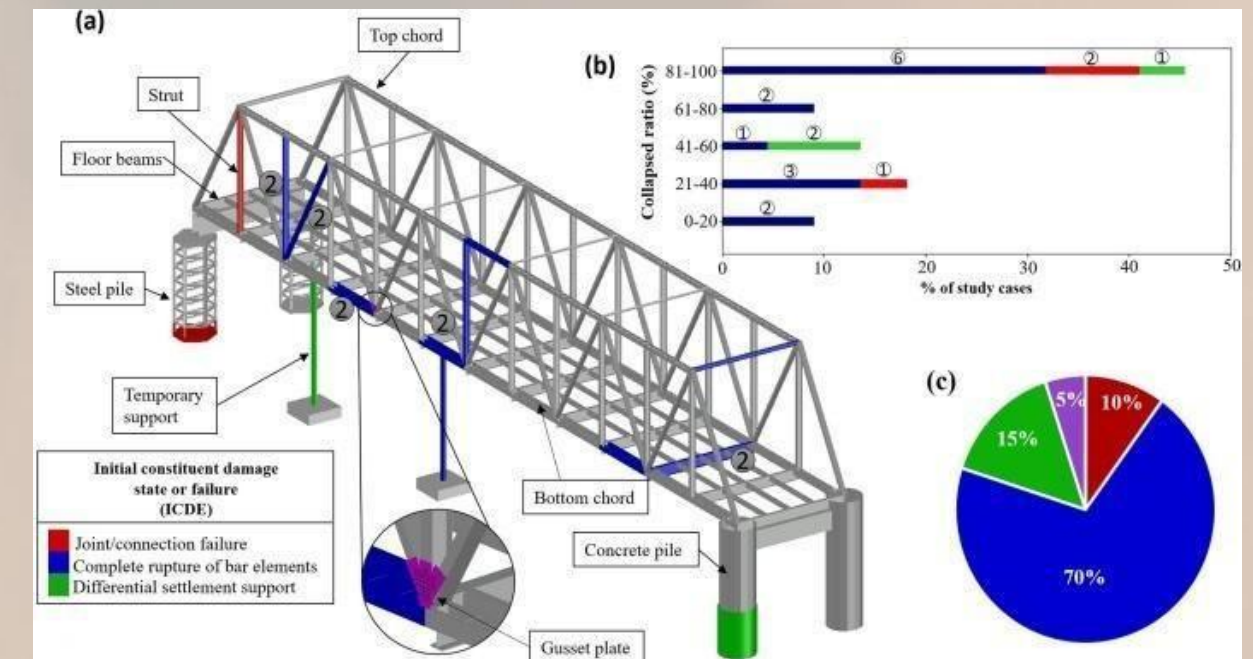
A ruptura súbita de um membro estrutural pode desencadear o Colapso Progressivo, um efeito dominó onde a falha inicial leva à falha em cascata de toda a estrutura.

A Robustez estrutural, ligada à Redundância, é a chave para a tolerância a danos localizados, garantindo a existência de Caminhos de Carga Alternativos (ALPs).

O Fator Crítico: A falha súbita é um evento dinâmico. O Fator de Amplificação Dinâmica (FAD) quantifica o impacto, podendo dobrar a tensão nos membros remanescentes (valor teórico de 2.0), exigindo que a análise vá além da estática.

Análise Avançada: A Análise Não-Linear por Método dos Elementos Finitos (MEF) é essencial para simular o comportamento real da estrutura, considerando:

1. Não-Linearidade Geométrica (ex: Flambagem).
2. Não-Linearidade do Material (regime plástico).





Exemplos

**Colapso da Ponte I-35W
(Minneapolis, 2007): A Falha na
Chapa de Ligação**



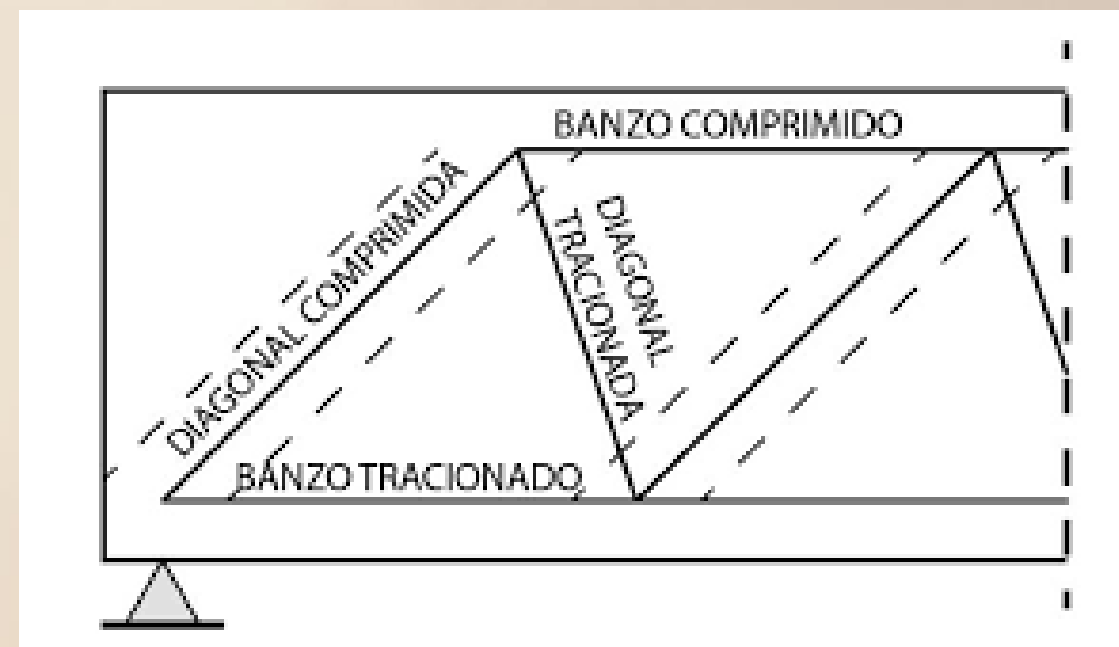
**O Desastre da Ponte de Quebec (1907):
A Flambagem do Membro de
Compressão**





Mecanismos de Transferência de Esforços

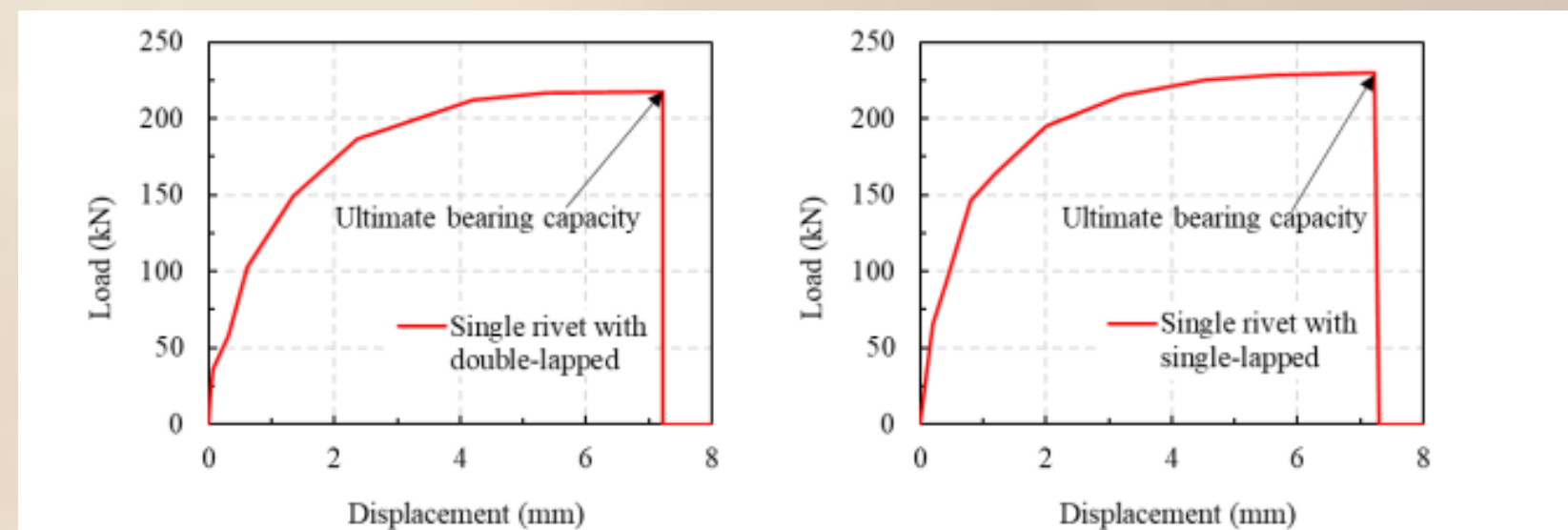
- ✈️ Conexões em pontes treliçadas são pontos críticos para segurança e durabilidade. Estudo foca no cisalhamento em ligações rebitadas e reforçadas e seu impacto na robustez global.
- ✈️ Esforços passam primeiro por atrito entre chapas e depois pelo contato fuste-furo, com resposta não linear. Ensaios e MEF reproduzem rigidez e capacidade das conexões ao cisalhamento.
- ✈️ Cisalhamento não se distribui de forma uniforme entre os rebites, concentrando-se nas extremidades. Deformações das chapas e baixa rigidez aumentam momentos e reduzem a capacidade da ligação.







Análise Comparativa de Metodologias

- ✈ Ensaaios em escala real e modelos numéricos se complementam na compreensão do comportamento das juntas. Ambos apontam deslizamento, ovalização de furos e falhas progressivas em treliças.
- ✈ Reforços com chapas suplementares aumentam significativamente a capacidade e a ductilidade das ligações. Modos de falha migram dos rebites para os membros principais, com boa concordância numérico-experimental.
- ✈ Conexões curtas tendem a falhar por cisalhamento de rebites e esmagamento de furos; longas, por block shear. A simples adição de rebites pode transferir a falha para o rasgamento da chapa, exigindo verificação conjunta de modos.







Efeitos Dinâmicos e Colapso Progressivo

-  Perda súbita de membros gera amplificação dinâmica dos esforços nas conexões. Estruturas redundantes com detalhes dúcteis conseguem suportar redistribuições e evitar colapso em cadeia.
-  Projeto e reabilitação devem considerar cisalhamento, fadiga e modos frágeis com margens de segurança adequadas. Reforços e inspeções devem aumentar resistência local e redundância global, apoiados em análise numérica e monitoramento.



Conclusões

-  A análise realizada ao longo deste estudo evidencia que a segurança e a durabilidade de pontes treliçadas dependem de uma abordagem integrada que combine fundamentos de engenharia estrutural, ciência dos materiais e análise numérica avançada. Os modos de ruptura observados — fadiga, flambagem, falha em ligações e colapso progressivo — mostram que a falha raramente é resultado de um único fator, mas sim da interação entre degradação material, deficiências construtivas e ausência de redundância estrutural.
-  Conclui-se, portanto, que o estudo de ruptura em pontes de treliça não se limita à compreensão dos mecanismos de falha, mas envolve a criação de sistemas estruturais resilientes, capazes de suportar danos localizados sem perda global de estabilidade. A combinação de conhecimento teórico, validação experimental e inovação tecnológica é o caminho para garantir pontes mais seguras, duráveis e eficientes.

Obrigado Pela Atenção

