

# 1 Introdução

## 1.1. Considerações Iniciais

As pontes constituem uma porção significativa da rede viária. O número de pontes e a idade das pontes existentes aumentam continuamente e como consequência, os problemas relacionados com a deterioração de estruturas e perda de funcionalidade também aumentam. Portanto, nos últimos anos, têm sido desenvolvidas pesquisas com objetivo de obter base para uma avaliação racional da condição das pontes.

O transporte ferroviário é um instrumento para o desenvolvimento sustentável dos países que o promovem, além de ser um meio de fácil e rápida movimentação de pessoas e mercadorias entre países, o que conduz ao crescimento econômico e à união social dos países que o desenvolvem. No Brasil, a avaliação de pontes ferroviárias existentes é importante para seu desenvolvimento econômico, considerando que conta com grande número desse tipo de obras de arte, como por exemplo, o país conta com a Estrada de Ferro Carajás (EFC) catalogada como uma das ferrovias com melhores índices de produtividade do mundo.

A implantação dos avanços tecnológicos na construção e recuperação das pontes ferroviárias é muito importante para o desenvolvimento do país. O mau estado das pontes causa desconforto e insegurança aos usuários, além de elevar os custos de manutenção das mesmas.

Todo projeto estrutural deve considerar as incertezas associadas às propriedades dos materiais, às propriedades geométricas e aos carregamentos. Essas incertezas impossibilitam que a estrutura apresente uma segurança absoluta, pois uma determinada combinação de valores das variáveis pode resultar numa condição de falha. Para se considerar a natureza probabilística dessas incertezas, é preciso identificar e definir estas quantidades como variáveis aleatórias no modelo de análise. A maneira simples, adotada nas normas, de considerar essas incertezas é através da adoção de coeficientes parciais de segurança, para majorar as solicitações e minorar as resistências,

aplicados aos valores característicos das variáveis transformando-os em valores de cálculo. Os coeficientes de segurança visam criar margens de segurança para controlar o risco de falha estrutural (Junior, 2008). O objetivo dessas normas não é garantir a segurança absoluta, e sim atingir um nível de risco aceitável, consistente com as necessidades econômicas e de segurança pública.

A análise de confiabilidade é uma alternativa aos procedimentos convencionais de cálculo, como os adotados pelas normas de projeto de estruturas que recomendam a aplicação de uma filosofia semi-probabilística de segurança (Lopes, 2007). Nessa análise é considerado um modelo probabilístico para cada variável aleatória, definido por um determinado valor esperado (média), uma medida de dispersão (desvio padrão ou coeficiente de variação), uma distribuição de probabilidades e uma medida de correlação entre elas.

O principal objetivo da confiabilidade de estruturas é determinar a probabilidade de ocorrência de um cenário de falha na estrutura. Uma análise de confiabilidade permite, também, estimar a sensibilidade do projeto em relação às variáveis aleatórias consideradas no modelo. Essa informação é importante porque possibilita saber qual a influência de cada variável aleatória na probabilidade de falha.

É evidente o crescente uso de processos probabilísticos na quantificação da segurança em diversos tipos de estruturas. Buscando projetos mais otimizados, com medidas mais realistas do grau de segurança, a utilização de teoria da confiabilidade vem se tornando uma aliada poderosa para os engenheiros estruturais.

## **1.2. Objetivo**

A contribuição principal deste trabalho é estabelecer e implementar estratégias da avaliação de confiabilidade de pontes ferroviárias existentes. Essas estratégias são aplicadas às vigas principais de uma ponte existente de concreto armado, as quais são verificadas no estado limite último na flexão simples, e no estado último de serviço na formação de fissuras segundo as recomendações da NBR6118:2003.

A probabilidade de falha da ponte é avaliada seguindo dois métodos: o método de simulação de Monte Carlo e o método de primeira ordem (FORM - First Order Reliability Method), com o objetivo de comparar os resultados e

determinar qual é o mais adequado para as análises desenvolvidas. São desenvolvidas rotinas no programa Matlab considerando as duas metodologias.

O índice de confiabilidade  $\beta$  é encontrado com o FORM e é feita uma análise de sensibilidade para analisar a influência de cada variável na confiabilidade da ponte. A partir dessas análises é determinado o número de variáveis aleatórias que permitam encontrar resultados do índice de confiabilidade e da probabilidade de falha com precisão aceitável.

Uma vez que a variável mais importante é determinada, são considerados diferentes valores para seu coeficiente de variação, visando estudar a influência da mesma na probabilidade de falha da ponte. É analisada, também, a sensibilidade da carga móvel dentro dos resultados do índice de confiabilidade e da probabilidade de falha.

### **1.3. Organização do Trabalho**

Este trabalho é apresentado em diversos capítulos organizados conforme a descrição a seguir.

No Capítulo 2 é apresentada uma revisão bibliográfica dos diferentes estudos feitos no campo da confiabilidade estrutural aplicada a pontes existentes, dando um panorama do que tem sido feito nos últimos anos, o que é feito atualmente e as possíveis pesquisas que ainda tem que ser desenvolvidas.

No Capítulo 3 é apresentada, de forma sintetizada, uma sistemática para avaliação das pontes existentes, as normas vigentes que são aplicadas nessas sistemáticas e quais são as medições que fornecem informações importantes dentro deste tipo de estudo.

O Capítulo 4 apresenta uma descrição dos conceitos fundamentais da confiabilidade estrutural. São abordados o método de simulação de Monte Carlo e o método de análise de primeira ordem FORM para o cálculo da probabilidade de falha.

No Capítulo 5 é apresentada uma metodologia para análise de confiabilidade de vigas de pontes ferroviárias de concreto armado. São discutidos os dados de entrada, a determinação das funções de estado limite, o método de avaliação da probabilidade de falha, os resultados obtidos, e os valores de referência para o índice de confiabilidade.

No Capítulo 6 é apresentado um exemplo aplicado a uma ponte existente de concreto armado. As longarinas são verificadas no estado limite último na

flexão simples e no estado limite de serviço na formação de fissuras. São apresentados os modelos probabilísticos adotados para as variáveis aleatórias consideradas. São feitas análises considerando diferentes quantidades de variáveis aleatórias segundo a sensibilidade de cada uma delas dentro do cálculo da probabilidade de falha da estrutura. É determinada a variável mais importante através de uma análise de sensibilidade, uma vez que essa variável é determinada, são feitas análises considerando mudanças em seus parâmetros, para determinar a influência dessas mudanças no cálculo do índice de confiabilidade e na probabilidade de falha da ponte.

O Capítulo 7 é constituído pelas conclusões e sugestões para trabalhos futuros.