

# 1 Introdução

## 1.1. Considerações Gerais

O reforço estrutural é utilizado quando é necessário aumentar ou restabelecer a capacidade resistente de uma estrutura ou de um elemento estrutural.

A técnica de reforço com a aplicação de compósitos de fibras de carbono possui como vantagens: facilidade e rapidez de execução, leveza, manutenção das dimensões originais da peça e resistência à corrosão.

Os motivos que podem levar a esta necessidade são: aumento de carregamento, devido à modificação no tipo de utilização; redistribuição de cargas, devido à alteração da geometria de elementos estruturais; deterioração da estrutura, devido ao envelhecimento natural ou resultante da ação de agentes agressivos; acidentes como incêndios ou choques; correção de erros de projeto ou de execução; novas exigências normativas.

Neste trabalho supõe-se que o reforço é necessário para complementar a capacidade resistente da viga em concreto armado quando ocorre acréscimo de carga acidental.

Um projeto estrutural deve levar em consideração as incertezas dos modelos de cálculo e de análise estrutural e as incertezas referentes às variáveis envolvidas, que podem ser: a intensidade e a distribuição das cargas permanentes e acidentais, as propriedades mecânicas dos materiais e os parâmetros geométricos da estrutura.

Estas incertezas impossibilitam que uma estrutura apresente segurança absoluta, pois uma determinada combinação de valores das variáveis pode resultar numa condição de falha.

A confiabilidade de estruturas tem como principal objetivo determinar a probabilidade de ocorrência de um cenário de falha na estrutura, visto que sempre haverá uma probabilidade não-nula da estrutura desempenhar um comportamento não apropriado durante sua vida útil.

Entre outros resultados, a análise de confiabilidade permite, também,

estimar a sensibilidade do projeto em relação às variáveis aleatórias consideradas no modelo. Esta informação é importante em decisões relacionadas à segurança da estrutura porque possibilita saber qual a importância que cada variável aleatória tem na resposta da probabilidade de falha.

Na análise de confiabilidade as variáveis aleatórias são consideradas segundo um modelo probabilístico definido por: um determinado valor esperado (média), uma certa medida de dispersão (desvio padrão ou coeficiente de variação), uma distribuição de probabilidades e uma medida de correlação entre elas. Esta análise 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. Nestas normas são utilizados fatores parciais de segurança para majorar as solicitações e minorar as resistências. Estes fatores são aplicados aos valores característicos das variáveis transformando-os em valores de cálculo.

## **1.2. Objetivos**

A contribuição principal deste trabalho é estabelecer e implementar uma metodologia para o projeto ou avaliação da confiabilidade do reforço à força cortante com compósitos de fibras de carbono (CFRP) em vigas de concreto armado pela ótica da confiabilidade de estruturas.

Nesta metodologia o reforço é dimensionado por um processo iterativo, com a utilização da formulação de sistemas em série com o objetivo de considerar no dimensionamento os três modos de comportamento que podem levar à falha da estrutura por solicitações tangenciais.

Um programa de confiabilidade de estruturas é desenvolvido em *linguagem C* onde o método FORM “First Order Reliability Method” é implementado. Este programa é utilizado na resolução de exemplos numéricos desenvolvidos para seções de concreto armado sem reforço e com reforço.

Inicialmente estuda-se a seção mais solicitada de uma viga em concreto armado sem reforço, previamente dimensionada para o estado limite último seguindo o modelo de cálculo I da NBR 6118 (2003), com o objetivo de avaliar a confiabilidade à força cortante.

Posteriormente, estuda-se a seção mais solicitada de uma viga em concreto armado reforçada à força cortante com CFRP com o objetivo de: dimensionar a taxa geométrica de reforço pelo projeto corrente e pelo projeto baseado em confiabilidade e avaliar a confiabilidade da seção para valores fornecidos de taxa geométrica de reforço.

### 1.3. Organização do Trabalho

Como ponto de partida para o desenvolvimento deste trabalho, o Capítulo 2 é dedicado ao estudo do reforço de vigas à força cortante com compósitos de fibras de carbono. Nele são reunidos os modelos e as prescrições recentes que abordam o cálculo da parcela da força cortante resistida pelo reforço  $V_f$ . Os resultados de  $V_{f,teo}$  obtidos com a utilização destes modelos e das prescrições são comparados com os resultados experimentais ( $V_{f,exp}$ ) disponíveis na literatura. Gráficos de  $V_{f,exp} \times V_{f,teo}$  são apresentados no final do capítulo.

O Capítulo 3 tem como objetivo introduzir conceitos fundamentais de confiabilidade de estruturas. O método analítico FORM é abordado. Neste capítulo é apresentado, também, uma revisão bibliográfica de trabalhos que abordam avaliação da confiabilidade de vigas em concreto armado.

No Capítulo 4, é apresentada a metodologia utilizada para a resolução dos exemplos descritos no Capítulo 5. São discutidos os dados de entrada, as opções de análise implementadas no programa de confiabilidade de estruturas, os resultados obtidos na saída da análise, o valor do índice de confiabilidade de referência e as funções de estado consideradas.

No Capítulo 5, são analisadas situações que podem ocorrer na prática profissional. Os exemplos são elaborados para seções de concreto armado e para seções de concreto armado reforçadas com compósitos de fibras de carbono. Os modelos probabilísticos adotados para as variáveis consideradas como aleatórias são apresentados.

O Capítulo 6, parte final deste trabalho, é constituído por conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

No Anexo A, são disponibilizados os modelos e prescrições apresentados no Capítulo 2, no formato de rotinas de cálculo, para implementação em MathCad.

No Anexo B, alguns programas experimentais, disponíveis na literatura, sobre reforço de vigas em concreto armado à força cortante com CFRP são relatados sucintamente.

No Anexo C, os dados geométricos e as propriedades dos materiais dos programas experimentais do Anexo B são tabelados.

No Anexo D, são apresentados, em linhas gerais, alguns conceitos estatísticos e probabilísticos.