

## **5**

### **Conclusões e Sugestões**

#### **5.1.**

##### **Conclusões**

Neste trabalho foi apresentado um modelo para dimensionamento de reforço externo com compósitos de fibras de carbono em vigas de concreto armado solicitadas à flexão simples. Um algoritmo desenvolvido para este modelo foi implementado e compilado no programa MAPLE. Os resultados numéricos obtidos pelo programa foram comparados com resultados experimentais e teóricos da literatura.

A utilização de diferentes sistemas de reforço, como laminados pré-fabricados e mantas flexíveis, embora permita resultados expressivos tanto no incremento da resistência quanto da rigidez, apresenta pequenas diferenças quanto à eficiência. De um modo geral, as vigas reforçadas apresentam aumentos significativos em suas cargas de ruptura.

Os resultados dos exemplos experimentais confirmam a eficiência do reforço com CFC em vigas de concreto armado, mostrando ser esta uma alternativa muito interessante para o reforço estrutural desses elementos. Sua facilidade e rapidez de aplicação são fatores que também merecem destaque.

Solicitadas à flexão, as vigas de concreto armado reforçadas com CFC podem apresentar modos de ruptura variados. Quando as taxas de armadura e a quantidade de reforço forem significativamente reduzidas, o escoamento da armadura pode ser seguido da ruptura do reforço à tração. Por outro lado, se estes valores forem elevados, a ruptura ocorrerá por esmagamento do concreto, enquanto o aço poderá ou não ter entrado em escoamento, dependendo da taxa de armadura.

Analisando-se os resultados numéricos obtidos, verificou-se uma grande variação da área de reforço calculada em relação à utilizada em alguns trabalhos experimentais.

Observa-se na maioria dos exemplos experimentais que as vigas apresentam falha na ligação entre o compósito e o concreto quando submetidas aos carregamentos. Algumas diferenças no cálculo da área de reforço podem ser atribuídas ao fato do programa desenvolvido considerar aderência perfeita entre o substrato de concreto e o compósito, o que não aconteceu em todos os ensaios investigados.

Em alguns exemplos esta diferença de resultados pode ser atribuída ao fato das vigas ensaiadas terem sido reforçadas com uma área de fibra bastante inferior à usualmente empregada na prática, o que provoca uma grande variação na área encontrada pelo programa quando ocorre uma pequena variação no momento que excede ao resistido pela viga sem reforço. Este fato deve ser investigado através da realização de novos ensaios, onde deve ser empregada uma área de fibra compatível com a que vem sendo praticada nas obras.

A literatura técnica recomenda que o reforço de CFC deve ser corretamente aplicado com uma camada fina de resina para ser eficiente. Em diversos trabalhos teóricos e experimentais utilizados na comparação, o valor do módulo de elasticidade do compósito, que influencia diretamente no cálculo da área necessária de reforço, apresenta valores bem diferentes. Em alguns estudos experimentais, o valor deste módulo foi determinado através de ensaios e em outros foi utilizado o valor indicado no catálogo dos fabricantes. No cálculo analítico desenvolvido nesta pesquisa foi utilizado o valor indicado no trabalho que serviu de base para a comparação. Em alguns destes trabalhos experimentais talvez este valor não corresponda à realidade.

Na comparação feita com os resultados numéricos encontrados na literatura, verificou-se em alguns exemplos que a diferença no valor da área de reforço encontrada no programa poderia ser decorrente de alguns fatores, como o uso de coeficientes diferentes na determinação do bloco equivalente de concreto.

Em outros exemplos, verificou-se que essa diferença poderia ser resultante também da aproximação feita pelo autor do estudo teórico quando fez iterações para obter a convergência de resultados, concluindo-se que o resultado obtido no programa desenvolvido neste trabalho seria o mais correto.

Além de sensíveis modificações no comportamento das vigas, a aplicação de um reforço na zona tracionada das vigas faz com que este passe a dividir com as barras de armadura a resultante das tensões de tração atuantes na seção

transversal. Portanto, a presença de um elemento de reforço conduz, naturalmente, a uma redução na deformação específica das armadura. Observa-se então, que a aplicação do reforço faz com que as vigas, na maioria das vezes, situem-se no domínio 3 de deformações, uma vez que a resultante de tensões de tração da armadura e do reforço são somadas, ou seja, como se a taxa de armadura fosse aumentada.

Baseando-se nos exemplos teóricos verificados, pode-se dizer que o programa desenvolvido foi capaz de descrever com bastante aproximação o comportamento estrutural de vigas em concreto armado reforçadas com compósitos de fibras de carbono, além de fazer o dimensionamento dos mesmos.

Para os exemplos experimentais, observou-se que a diferença de resultados numéricos e experimentais obtida na análise pode ser devida ao desconhecimento das verdadeiras características físicas e comportamentais dos materiais que envolvem o reforço como um todo, no momento do ensaio.

Conclui-se, então, que há a necessidade de uma melhor avaliação dos parâmetros do material e da configuração de armação da viga durante o ensaio, e mesmo pela realização de uma série maior de ensaios, para que se possa ter uma melhor aferição do modelo numérico.

Deve-se salientar que os resultados com o programa representam apenas um primeiro passo na obtenção de um modelo completo e confiável para um sistema estrutural reforçado com CFC, sendo necessários outros estudos e novas implementações no programa desenvolvido.

Devido à inexistência de normatização no Brasil destinada ao projeto e execução de reforço de estruturas, em particular com CFC, este trabalho poderá contribuir com alguns parâmetros que poderão ser introduzidos em futura norma brasileira a respeito do assunto.

## 5.2. Sugestões

A seguir são apresentadas algumas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros:

- Análise da distribuição das tensões e deformações normais e tangenciais ao longo de reforços à flexão com diferentes sistemas e sua relação com a resistência do concreto das vigas reforçadas;
- Investigar os valores das propriedades físicas e mecânicas que entram no cálculo numérico do reforço à flexão das vigas: características do reforço com a resina de aderência ou do reforço trabalhando sozinho na região tracionada da viga;
- Desenvolvimento de um modelo analítico para o cálculo do reforço ao cisalhamento de vigas em concreto armado;
- Estudo experimental da aderência de compósitos ao concreto através de testes em vigas reforçadas, obtendo-se relações entre armadura longitudinal e quantidade de fibra empregada no reforço;
- Aprimoramento do modelo analítico para cálculo do reforço à flexão, investigando-se melhor as características físicas dos materiais constituintes do reforço.