

## 7

### Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho experimental estuda a influência do parâmetro ductilidade em sete vigas retangulares de concreto armado reforçadas à flexão com tecidos de fibra de carbono. As vigas, bi-apoiadas, possuem as mesmas características mecânicas e geométricas. O concreto utilizado, calculado inicialmente para atingir 20 MPa, alcançou resistência à compressão de até 29,9 MPa e o aço utilizado foi o CA-50. Foram ensaiadas sete vigas, sendo uma viga de referência que não foi reforçada, três vigas reforçadas com uma camada de tecido de fibras de carbono e as demais com duas camadas de tecido de fibras de carbono, mantendo-se a mesma área total de reforço. O comportamento estrutural das vigas reforçadas é afetado por muitas variáveis, porém, o principal interesse desse estudo foi a avaliação da ductilidade por meio da adoção de índices energéticos, os quais avaliam as parcelas de energia potencial elástica e inelástica das vigas.

No dimensionamento buscou-se obter uma viga armada de modo a garantir a ruptura por flexão. Após a realização dos ensaios pode-se observar que todas as vigas reforçadas realmente romperam por flexão.

Durante a execução dos reforços das vigas não ocorreram grandes problemas na aplicação do sistema com tecido de fibra de carbono colado com resina epóxi. Apenas numa das vigas, a BII-1, ocorreu um problema de falta de aderência entre o adesivo e o concreto visto que a superfície que recebeu o reforço (concreto) estava se fragmentando. Neste caso, talvez fosse melhor uma preparação da superfície que recebeu o reforço utilizando-se resina de imprimação. Contudo, esta viga rompeu por flexão seguida de descolamento da camada de tecido de fibra de carbono ao longo de quase todo o comprimento da viga.

Analisando-se a ductilidade e suas influências, conclui-se:

- A análise dos dados experimentais juntamente com os dados obtidos por meio da formulação teórica mostra que as vigas ensaiadas em duas etapas, aplicação de carregamento – reforço – carregamento, possuem maiores índices de dispersão.
- O comportamento dos índices de ductilidade de flecha  $\frac{\delta_u}{\delta_y}$  e de curvatura  $\frac{k_u}{k_y}$  diferem dos comportamentos dos índices de ductilidade energéticos de flecha  $\mu_\delta$  e de curvatura  $\mu_k$  para o grupo A, reforçadas inicialmente. Isto pode ser explicado pelo fato de que os índices energéticos consideram o comportamento total da viga (fase elástica e fase inelástica) por meio da consideração da área total do gráfico em estudo, enquanto os índices de ductilidade de flecha e curvatura  $\frac{\delta_u}{\delta_y}$  e  $\frac{k_u}{k_y}$  só tratam da parte inelástica.
- O grupo A foi reforçado inicialmente, dessa forma, as vigas AI e AII tiveram suas rigidezes iniciais modificadas, o que levou a valores diferentes para a energia acumulada no processo de deformação.
- Os índices de ductilidade energética de curvatura e flecha das vigas do grupo A são menores que os índices de ductilidade energéticos da VR. Conclui-se que o reforço inicial reduz a ductilidade dessas vigas
- As vigas do grupo B funcionaram na fase elástica como a viga de referência, isto é, comportamento de viga de concreto armado. A execução do reforço com CFC após o carregamento inicial acarreta um comportamento diferenciado das vigas. A ductilidade das mesmas aumenta consideravelmente. Ressalta-se que nos casos práticos as vigas devem ser recuperadas e depois reforçadas. Isto não foi feito nesta pesquisa.
- Antes da aplicação do reforço ser executado, alguns serviços de recuperação precisam ser realizados, tais como: as flechas devem ser minimizadas, as fissuras devem ser injetadas, e as camadas de cobrimento danificadas devem ser tratadas com argamassas especiais.

- Pode-se concluir que o estudo desses índices, principalmente os energéticos, deve ser efetuado criteriosamente e só devem ser comparadas vigas que possuam índice de esbeltez semelhante.
- As análises dos dados teóricos e experimentais mostram que as vigas reforçadas apresentaram ductilidade adequada para aplicações práticas. O índice de ductilidade energética serve como fundamento para se estabelecer limites da energia de deformação armazenada na seção, levando à determinação das deformações específicas do aço, concreto e compósito de fibra de carbono, de modo a se estabelecer limites para esses parâmetros, assim como critérios e metodologias para o dimensionamento.
- As prescrições das normas e recomendações internacionais tratam desse tema de forma superficial e pouco conclusiva. Daí a importância desta dissertação: acrescentar subsídios para novas prescrições e estabelecer alguns parâmetros fundamentais para pesquisas posteriores.

Da análise dos valores de rigidez das vigas conclui-se:

- Os valores de rigidez de fissuração não apresentam um comportamento regular, pois a aleatoriedade da formação de fissuras, que depende da resistência à tração do concreto, é responsável por esses resultados;
- As vigas reforçadas com duas camadas possuem um aumento na sua rigidez inicial quando comparadas à viga de referência.
- As vigas com pré-carregamento, as do grupo B têm sua rigidez ao escoamento significativamente reduzida.
- As vigas do grupo A tiveram rigidez de ruptura superior aos valores de rigidez de ruptura das vigas do grupo B. Portanto, conclui-se que o pré-carregamento reduz a rigidez de ruptura, sendo que as vigas do grupo B tiveram os valores desse parâmetro inferiores aos da VR.

Analisando as cargas resistentes das vigas, conclui-se:

- As vigas do grupo A tiveram cerca de 30 % de acréscimo de carga de ruptura experimental em relação à carga de ruptura da VR, o que leva a concluir que a execução da armadura de reforço sem um pré-carregamento acarreta uma maior resistência à flexão.
- Observou-se que três vigas do grupo B não tiveram acréscimo significativo de carga na ruptura em relação à carga de ruptura experimental da VR, sendo plausível admitir que o pré-carregamento influencia a carga última.
- O reduzido acréscimo da carga de ruptura de três vigas do grupo B pode estar associado à baixa taxa de armadura de reforço.
- Com exceção da viga BI-1, as vigas que possuem concretos com maiores resistências à compressão tiveram menor acréscimo de carga de ruptura. Isto parece indicar que o parâmetro que controlou a ruptura das fibras foi a taxa de armadura de reforço.

## Sugestões para trabalhos futuros

- ✓ Os índices de ductilidade energéticos mostram-se como parâmetros adequados para avaliar o comportamento de vigas reforçadas à flexão com compósitos de fibra de carbono. Recomenda-se o ensaio de um número maior de vigas e a comparação com os resultados dos ensaios encontrados na literatura.
- ✓ O comportamento diferenciado da viga AII, reforçada com duas camadas de tecido com largura de 10 cm, indica que este tipo de arranjo sem pré-carregamento necessita de um estudo mais apurado. Recomenda-se a realização de ensaios de mais vigas com esse tipo de arranjo, de modo a permitir uma melhor avaliação da variação dos diversos parâmetros.
- ✓ Recomenda-se que em ensaios futuros seja utilizada uma taxa geométrica de armadura de reforço no mínimo 0,10 %, visto que baixas taxas geométricas acarretam sempre uma ruptura do compósito de fibra de carbono, com pouco acréscimo na carga de ruptura.
- ✓ A verificação do comportamento das flechas face à normalização internacional (FIB, ACI, Concrete Society) deve ser criteriosamente realizada. Recomenda-se a realização de estudos teóricos e experimentais de modo a permitir uma análise comparativa das prescrições dessas normas.
- ✓ Recomenda-se o aprimoramento e ampliação da linha de pesquisa sobre reforço com compósitos de fibra de carbono em estruturas de concreto armado, existente na PUC-Rio, pois esse tema ainda necessita de estudos mais consistentes.
- ✓ Recomenda-se a compilação dos diversos resultados de pesquisas desenvolvidas no Brasil, de maneira a permitir a elaboração de um manual de procedimentos e técnicas que traduzam o estado-da-arte dos conhecimentos adquiridos.