

# 1 Introdução

## 1.1. Generalidades

Após a segunda guerra mundial, quando houve a necessidade de reconstruir a Europa, é que o concreto protendido teve um grande impulso e, com ele, a construção de pontes a partir de aduelas pré-fabricadas. A primeira ponte com viga em caixão foi executada em 1952 com segmentos pré-fabricados sobre o Sena em Choisy-le-Roi, Paris. Um número significativo de pontes fabricadas a partir de aduelas pré-fabricadas com cabos protendidos externamente tem sido construídas nos Estados Unidos e Europa. Um dos grandes incentivadores na construção de pontes com este sistema é o engenheiro Francês Jean Muller. Nos anos 60, Jean Muller construiu a sua primeira ponte usando a tecnologia de aduelas pré-moldada no rio Sena em Paris. Nos anos 70, levou essa tecnologia para os Estados Unidos, onde construiu a ponte Long Key, na Flórida (Muller, 1980). Durante os anos oitenta, a tecnologia de aduelas pré-fabricadas foi adotada rapidamente pela maioria dos estados nos E.U.A. Nos últimos anos algumas construções foram realizadas como: Sistema de Via expressa de viadutos que cruzam a Cidade de Bangkok em 1990; sistema (metro) em Monterrey, Nuevo Leon, México em 1991; ponte no estreito de Northumberland no Canada em 1997.

No Brasil a primeira construção se deu em 1960, sobre o rio Tocantins junto à localidade de Estreito, daí o nome ponte de Estreito, que tem um vão em viga reta de 140 m, recorde na época. Porém, uma das mais importantes foi a ponte Rio-Nitéroi (Presidente Costa e Silva) construída em 1974. A obra mais recente foi a construção de parte da Linha Amarela no Rio de Janeiro, onde foi utilizado o sistema de aduelas pré-moldadas de concreto com o lançamento das mesmas através de treliças metálicas móveis. Ao todo foram empregadas 1174 aduelas com 12,5 a 16 m de largura por 2,35 m de comprimento. As aduelas foram apenas justapostas e os cabos de protensão longitudinais utilizados foram externos (Sika news, 1997). A figura 1.1 mostra o detalhe das aduelas típicas do vão e do apoio.



**Figura 1.1** - Detalhe das aduelas típicas do vão e do apoio ( trecho da Linha Amarela no Rio de Janeiro).

As aduelas são projetadas com 2 a 8 m de comprimento, conforme a disponibilidade ou condição econômica dos dispositivos de elevação e transporte. As aduelas, geralmente, são penduradas em treliças metálicas ou colocadas sobre estas treliças, até que possam ser protendidas em conjunto longitudinalmente. A protensão é feita enfiando os cabos através das aduelas até que o conjunto alcance sua própria capacidade resistente. Pode-se, também, proceder à execução em balanço, para ambas os lados, a partir dos pilares.

## 1.2.

### **Vigas construídas a partir de aduelas pré – moldadas**

O sistema de construção em aduelas pré-moldadas tem algumas vantagens como permitir a construção de estruturas urbanas sem interferência com o tráfego, redução do tempo de construção, melhor controle da qualidade da construção e flexibilidade na execução de pontes com grandes vãos.

Uma particularidade do comportamento na flexão das vigas em aduelas pré-moldadas é a concentração de deformações na vizinhança da junta na zona de compressão causada pela abertura desta junta. Esta concentração de deformações tem efeitos sobre a ductilidade e resistência dessas vigas quando comparadas a uma viga monolítica. O modo de ruptura deste tipo de viga é por esmagamento do concreto. Alguns estudos tanto teóricos (Virlogeux, 1983; Martins, 1989; Désir, 1993; Ramos, 1994) como experimentais (Hoang et al., 1990; Menezes et al., 1993; Regis, 1997; Tavares, 2000) sobre o comportamento de vigas construídas em aduelas pré-moldadas e protendidas com cabos de aço externos já foram

realizados. Entretanto, nenhum estudo sobre vigas em aduelas protendidas com cabos sintéticos foi encontrado na literatura. As pesquisas encontradas na literatura são restritas ao estudo de vigas monolíticas.

### 1.3.

#### **Protensão externa com cabos sintéticos**

O emprego de armadura não metálica é uma das alternativas para melhorar a durabilidade de estruturas de concreto, principalmente de estruturas de concreto localizadas em ambientes marítimos, ou em lugares onde as propriedades não magnéticas desses materiais representam uma vantagem (Sugita, 1993; Kakizawa et. al, 1995). Armaduras não metálicas foram utilizadas na construção de várias pontes na Alemanha, Japão e Canadá (Taerwe et.al, 1992; Tsuji et.al., 1993), e no reparo de outras estruturas (Guimarães, G. B. 1994).

O uso de armaduras não metálicas se deve ao desenvolvimento deste tipo de material na indústria aeroespacial por volta dos anos setenta. Nos últimos anos a evolução das pesquisas e o conseqüente acúmulo de conhecimento das propriedades deste tipo de material vem contribuindo para o crescente uso no campo da engenharia. Estes materiais são conhecidos como materiais plásticos reforçados com fibras (materiais FRP), que consistem de fibras contínuas alinhadas, envolvidas em uma matriz de resina. Dentre as fibras mais conhecidas destacam-se: As fibras de vidro (GFRP), carbono (CFRP) e aramida (AFRP). As principais características desses materiais são a alta resistência à corrosão, alta resistência à tração e alto módulo de elasticidade, muito adequado para aplicação em estruturas de concreto protendido (Taniguchi, H. et.al, (1997); Saeki, N. et.al, 1995 )

Os cabos sintéticos utilizados neste trabalho são comercialmente conhecidos como *Parafil*. É um cabo flexível de seção circular, cujo núcleo é constituído de fibras Kevlar e é produzido por Linear Composites Ltd, Inglaterra. Esses cabos já foram empregados no reparo estrutural de uma série de construções (Burgoyne, 1988 e 1993) e a viabilidade de sua utilização como cabo de protensão externa tem sido demonstrada em estudos anteriores ( Burgoyne et. Al, 1991; Guimarães, 1988; Branco, 1993; Araújo et al., 1997 ).

Os cabos *Parafil* podem ser particularmente vantajosos na recuperação de estruturas onde, devido à ausência de dutos extras para a colocação dos cabos de protensão no interior do concreto, podem ser usados externamente sem qualquer perigo de corrosão.

#### **1.4. Justificativas**

No caso particular de vigas contínuas protendidas com cabos não aderentes, não se sabe se o grau de redistribuição será o mesmo de uma viga com cabos aderentes. Além disso, a verificação da seção, feita pela comparação entre o momento de projeto (onde se considera a redistribuição de momentos) e o momento resistente último da seção apresenta uma dificuldade maior. A determinação da variação de tensão em cabos não aderentes no estado limite último necessária para determinar os esforços internos na seção, é mais complexa já que a compatibilidade de deformações na seção não é válida.

No caso específico de vigas hiperestáticas protendidas com cabos não aderentes externos, a quantificação da redistribuição dos esforços internos não foi ainda definida. Além disto, a redistribuição de momentos irá depender também do tipo de cabo utilizado na protensão devido às diferentes propriedades mecânicas desses materiais, que possuem uma lei constitutiva linear até a ruptura.

#### **1.5. Objetivo do trabalho**

Este trabalho dá continuidade à linha de pesquisa que vem sendo desenvolvida na PUC-Rio sobre a utilização de cabos sintéticos para protensão externa em estruturas de concreto. Várias contribuições já foram realizadas (Branco, 1993; Campos, 1993; Araújo, 1997; Formagini, 1999; Campos, 1999) com o propósito estudar o comportamento e resistência de vigas isostáticas protendidas com esses cabos.

Esta parte da pesquisa dá início ao estudo de vigas contínuas protendidas com cabos sintéticos externos. Em particular, o objetivo desta tese é estudar a redistribuição de momentos em vigas contínuas construídas em aduelas e protendidas cabos sintéticos externos.

## 1.6. Organização deste trabalho

No capítulo 2 é apresentada uma revisão sobre as principais características das vigas construídas a partir de aduelas pré-moldadas, o conceito sobre redistribuição de momentos segundo a análise plástica e a consideração da redistribuição de momentos de acordo com as normas e com trabalhos encontrados na literatura técnica.

O capítulo 3 apresenta um estudo experimental preliminar sobre os efeitos da armadura passiva de tração passando através da junta sobre a concentração de deformação nas juntas e as implicações sobre a resistência à flexão de vigas em aduelas de concreto protendidas com cabos sintéticos externos.

No capítulo 4 são feitas a descrição e a apresentação dos resultados dos ensaios principais. Na descrição são mostradas as características das vigas, detalhe das armaduras, propriedades dos materiais, operação de protensão, montagem dos ensaios e instrumentação. Na apresentação dos resultados são mostrados os gráficos referentes aos deslocamentos, às deformações no aço e no concreto, abertura das juntas, reações de apoios e as forças nos cabos

No capítulo 5 é feita a análise dos resultados apresentados no capítulo anterior, com o propósito de investigar a redistribuição de momentos nas vigas e a influência da relação  $l/d_p$  sobre a redistribuição.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões obtidas, bem como algumas sugestões para trabalhos futuros.

No apêndice **A** é apresentado um resumo sobre as principais características e propriedades dos cabos *Parafil*. No apêndice **B** são apresentados todos os gráficos complementares das vigas referentes aos ensaios preliminares sobre concentração de deformações nas juntas. No apêndice **C** são apresentados todos os gráficos complementares das vigas hiperestáticas referentes aos ensaios principais sobre redistribuição de momentos.