

# FERROCIMENTO - VIGAS SUBMETIDAS A FORÇA CORTANTE

\*Ernani Mendes Nobre

## Resumo

*O presente trabalho se propõe a investigar o comportamento de vigas de ferrocimento submetidas a solicitações tangenciais oriundas da força cortante na flexão, visando sugestões para projetos, além de indicações para possíveis revisões na norma brasileira.*

## Abstract

*The work reported on here has, as its primary object, study of the transversal shear strength and behavior of ferrocement beams, with suggestions for their design, and also possible revisions in the Brazilian Code for Design and Construction of Ferrocement.*

## 1. SIMBOLOGIA UTILIZADA

- $z$  = Braço de alavanca entre a resultante de tração na armadura e a resultante de compressão na argamassa comprimida;
- $d$  = Altura útil da viga;
- $\tau_d$  = Tensão de cisalhamento de cálculo;
- $\tau_{wu}$  = Valor último da tensão de cisalhamento;
- $\tau_c$  = Tensão de cisalhamento absorvida pelo banzo comprimido inclinado e pelas diagonais comprimidas com inclinação menor que 45° da treliça generalizada;
- $f_{ck}$  = Resistência característica da argamassa;
- $\rho_s$  = Taxa geométrica de armadura longitudinal tracionada em relação seção útil;
- $a$  = distância do ponto de aplicação da força concentrada ao apoio;

- $f_{ywd}$  = Resistência de cálculo da armadura transversal;
- $F$  = Força concentrada vertical;
- $M$  = Momento fletor;
- $V$  = Força cortante;
- $L$  = Comprimento da viga.

## 2. METODOLOGIA

A análise foi feita através da comparação de cálculos teóricos com ensaios de laboratório. Foram estudados critérios de dimensionamento e de verificação para diversos estágios de carregamento, bem como, para os estados limites de utilização (fissuração e deslocamentos).

Os ensaios foram realizados em modelos com 3000 mm de comprimento de face a face e seções transversais em duplo "T". As armaduras transversais

\* Engenheiro Civil - M.Sc., Professor Assistente da UNIFOR, Chefe da Unidade de Estruturas da DITEG/NUTEC

na alma foram compostas de duas ou três telas soldadas EL-126, ou ainda, estribos complementares trabalhando em conjunto com as referidas telas. Na composição da argamassa, usou-se além de areia e cimento, pedra britada com dimensão máxima de 4,8 mm, bem como, fator água-cimento de 0,55.

Os resultados foram comparados com as prescrições de normas brasileiras: NBR-11.173 e NBR-6.118, bem como, das normas estrangeiras: ACI 549, SN 366/77 e CEB/90, obtendo-se daí sugestões para futuras implementações, tais como, mudanças em alguns parâmetros normalmente utilizados quais sejam: relação braço de alavanca ( $z$ ) / altura útil ( $d$ ), valor reduzido da tensão de cisalhamento ( $\tau_d$ ) e resistência de cálculo da armadura transversal ( $f_{ywd}$ ), entre outros.

A pesquisa se dividiu basicamente em três partes fundamentais: primeiramente, fez-se uma revisão teórica; na segunda parte entrou-se na fase experimental propriamente dita onde são descritos os modelos, instrumentação utilizada, bem como, o material usado na confecção dos mesmos e por último, foram feitas comparações dos resultados dos cálculos teóricos com aqueles obtidos experimentalmente. Na fotografia 1 visualiza-se um modelo durante o ensaio e na fotografia 2, o esquema de posicionamento de rosetas com as linhas de fissuras. No final do trabalho, são apresentadas conclusões sobre os resultados obtidos, com as devidas sugestões para projetos de vigas de argamassa armada e futuras revisões na norma NBR 11.173/89.

Nesta pesquisa, foram estudadas com mais ênfase, as vigas biapoiadas com seção transversal em duplo "T" como indicado na figura 1, por constituir-se em seção típica para elementos de argamassa armada resistentes a flexão, que confere ao elemento estrutural resistência pela forma.

Procurou-se analisar vigas biapoiadas submetidas a duas forças concentradas verticais equidistantes dos apoios, por serem esquemas estruturais tradicionais quando se quer observar o comportamento da força cortante na presença do momento fletor, como ilustrado na figura 2.

### 3. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

Foram estudados alguns fundamentos teóricos sobre a influência da força cortante no dimensionamento e verificação de vigas fletidas de concreto armado. Estes conceitos foram então adaptados às vigas de ferrocimento, fazendo-se comparações com prescrições das normas nacionais e estrangeiras, já citadas no item anterior.

Inicialmente foram abordados os esforços e tensões em almas de vigas, abrangendo o regime elástico (Estádio I). Em seguida, foram deduzidas expressões para os esforços internos e dimensionamento ao cisa-

lhamento no Estádio II utilizando os conceitos da treliça clássica de Morsch e da treliça de banzos paralelos. A seguir, foram feitas considerações sobre o estado limite último, com análises dos tipos de ruptura por força cortante e suas influências sobre as vigas de ferrocimento e sobre as expressões deduzidas.

Concluindo, foram estudados os esforços de ligação das almas com as mesas comprimidas e traçadas em vigas de seção transversal duplo T fletidas, bem como, foram deduzidas expressões para o dimensionamento e verificação destas referidas seções transversais.

Quanto aos Estados Limites de Utilização, foram estudados conceitos do Estado de Fissuração e os Deslocamentos devidos à Força Cortante também direcionados para vigas de ferrocimento.

### 4. MODELOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS

Com o objetivo de comparar os resultados teóricos com resultados experimentais de ensaios de laboratório em vigas de ferrocimento, foram escolhidos modelos que, permitissem a abrangência mais adequada possível dos parâmetros que se desejavam analisar. Estes diziam respeito ao comportamento dos modelos, frente aos efeitos dos esforços cortantes a que foram solicitados durante os ensaios.

Assim os modelos foram projetados de modo a se poder calcular, observar, medir e analisar os seguintes parâmetros:

- Força cortante de fissuração (fissuras inclinadas no trecho cisalhado);
- Força cortante última;
- trechos de variação do momento fletor e força cortante;
- Deformações e tensões nas armaduras transversais e longitudinais;
- Deslocamentos no centro do vão e nos pontos de aplicação das ações;
- Aberturas e espaçamentos das fissuras verticais e inclinadas;
- Inclinações das fissuras nos trechos submetidos a solicitações tangenciais.

A instrumentação dos modelos está ilustrada na figura 3.

### 5. RESULTADOS OBTIDOS DOS ENSAIOS

Todas as etapas de carregamento dos ensaios de cada modelo foram registradas e tabeladas de acordo com os parâmetros especificados no item anterior.

A análise dos resultados obtidos das tabelas foi feita através de comparações com os resultados de

cálculos, de acordo com o estudo teórico e ilustrados através de fotos, como já apresentado nas fotografias 1 e 2.

Os resultados experimentais obtidos, também foram comparados com as prescrições das normas brasileiras (NBR 11.173-89 E NBR 6.118-80), da norma americana (ACI 549.1R-88), da norma russa (SN 366-77) e do código modelo do Comitê Euro-Internacional do Beton (CEB-90).

Os cálculos dos esforços solicitantes últimos teóricos foram feitos com os valores das resistências da argamassa, dos fios da tela e das armaduras complementares, obtidas em ensaios, sem nenhuma redução por coeficientes de ponderação e resistência.

## 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 6.1 - Conclusões

As conclusões, embora tenham se restringido apenas às vigas ora ensaiadas, servem de referência para outras pesquisas na área, bem como, para projetos semelhantes de vigas de ferrocimento.

Foram obtidas conclusões importantes para os seguintes parâmetros de cisalhamento:

- Esforço Cortante Resistente ( $V_u$ );
- Tensões de Cisalhamento no Estádio I ( $\tau_o$ );
- Tensões na Armadura Transversal ( $\sigma_{tt}$ );
- Tensões na Biela Comprimida ( $\sigma_{c\theta}$ );
- Efeito de Arco;
- Força Cortante de Fissuração ( $V_r$ );
- Fissuras de Cisalhamento;
- Deslocamentos Verticais no Meio do Vão;

### 6.2 - Sugestões

Foram feitas sugestões de ordem geral, bem como, estudos estatísticos para determinação de parâmetros de cisalhamento que se aproximassem mais dos valores experimentais obtidos nos ensaios e que servissem de base para novas pesquisas, projetos e normas de vigas de ferrocimento, cujos principais valores são apresentados a seguir:

- Braço de Alavanca de Referência
  - Valor especificado pela NBR 6.118:  
 $z = d/1,15$
  - Valor sugerido de acordo com os ensaios:  
 $z = d/1,09$
- Valor reduzido da Tensão de Cisalhamento
  - De acordo com a NBR 6.118:  
 $\tau_d = 1,15 \cdot \tau_{wd} - \tau_c > 0$  com:

$$\tau_c = 0,15 \cdot (f_{ck})^{1/2} \text{ em MPa}$$

- Valor sugerido conforme ensaios:

$$\tau_d = 1,09 \cdot \tau_{wd} - \tau_c \quad \text{com:}$$

$$\tau_c = 0,24 \cdot (f_{ck})^{1/2} \text{ em MPa}$$

- Força Cortante de Fissuração

$$V_{rd} = 0,30 \cdot b_w \cdot d \cdot (f_{ck} \cdot \rho_s \cdot \phi_a)^{0,76}$$

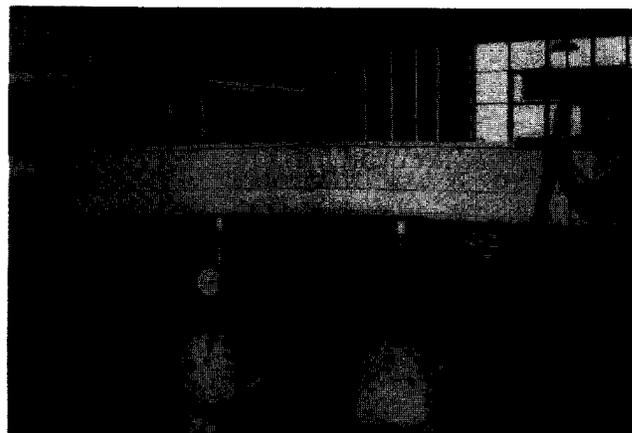
- Resistência de Cálculo da Armadura Transversal

- Conforme NBR 6.118:

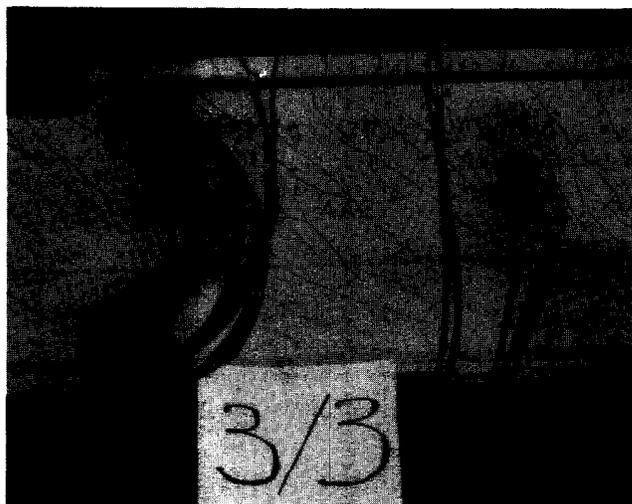
$$f_{ywd} \leq 435 \text{ MPa}$$

- Sugestão de acordo com os ensaios:

$$f_{ywd} \leq 223 \text{ MPa}$$



FOTOGRAFIA 1 - Modelo durante o Ensaio



Fotografia 2 - Posicionamento de Rosetas e Fissuração

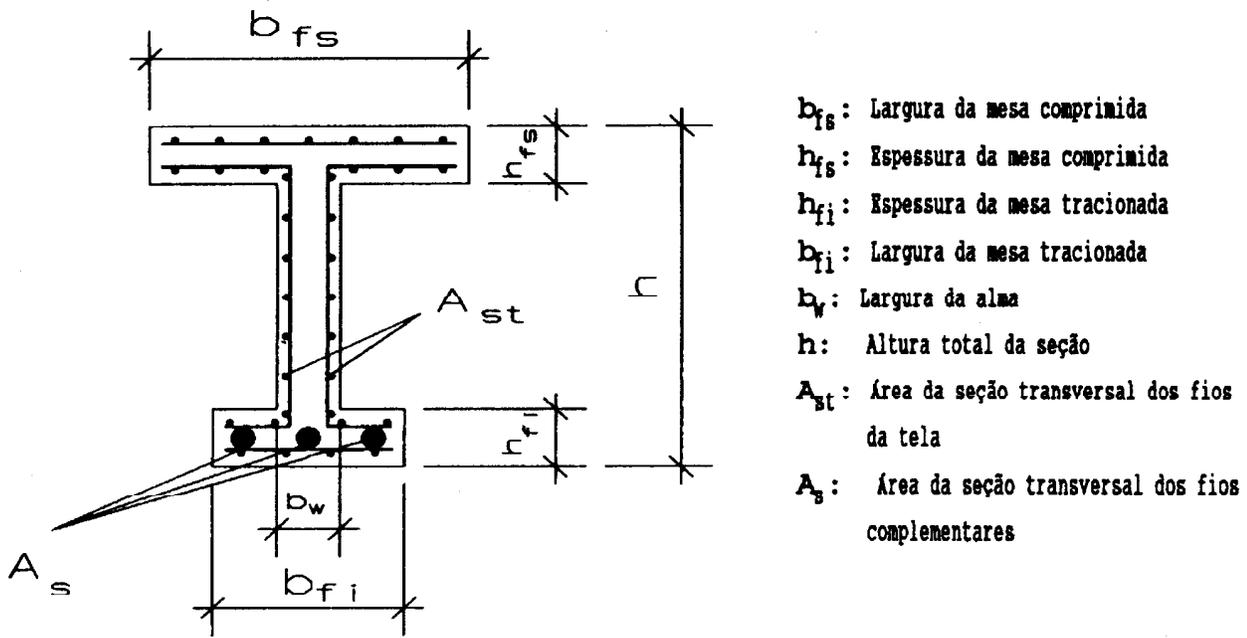


Figura 1 - Seção Transversal Típica dos Modelos

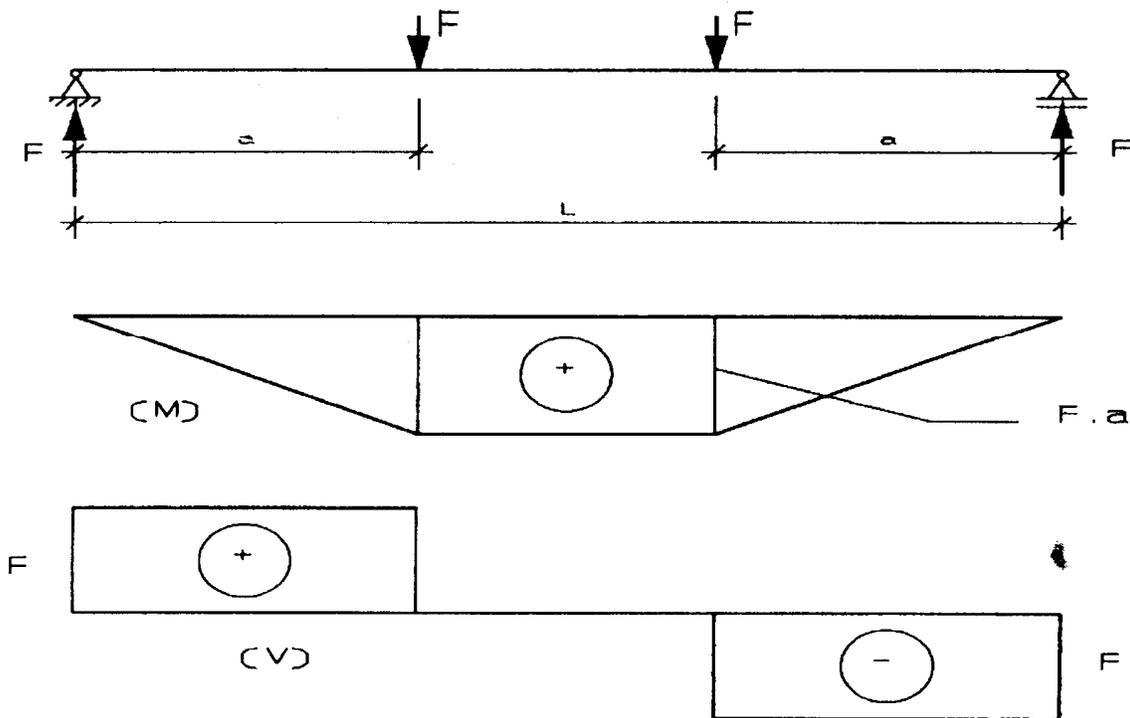
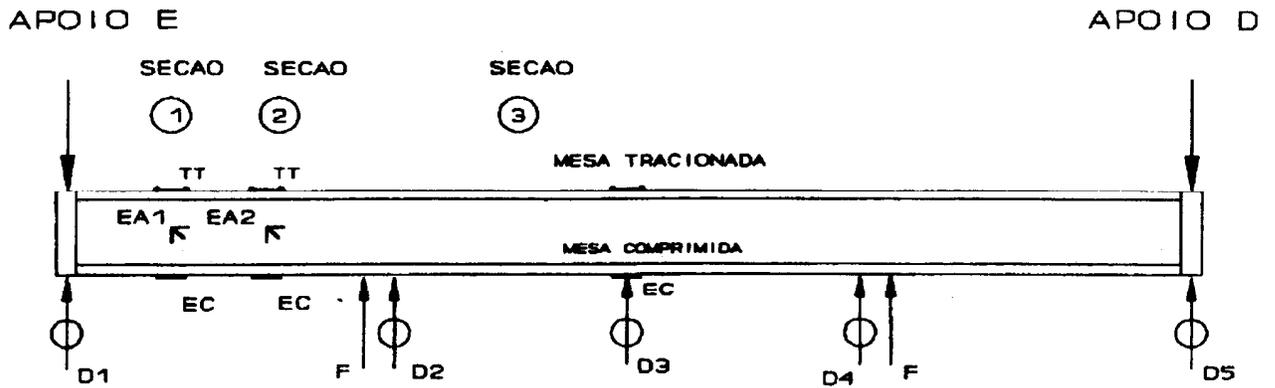
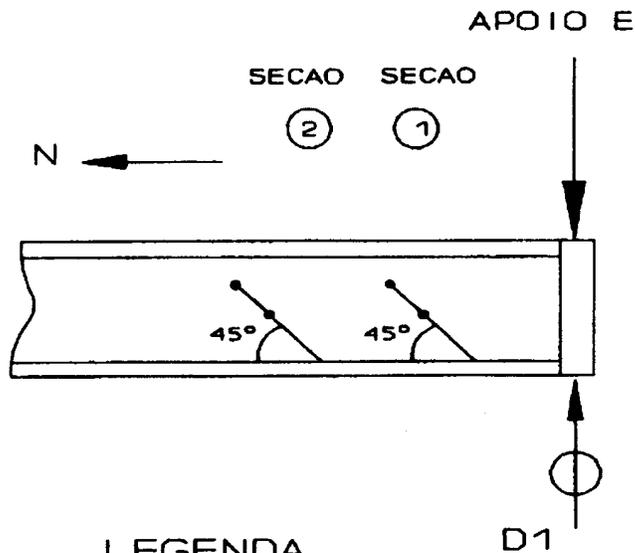


Figura 2 - Esquema Estrutural, Diagrama de Momentos Fletores (M) e Esforços Cortantes (V)

# VISTA DE FRENTE



# TRECHO DA VISTA POSTERIOR



## LEGENDA

- TT EXTENSOMETRO MECANICO NA MESA TRACIONADA
- TA EXTENSOMETRO MECANICO NA ALMA (45°)
- EC EXTENSOMETRO ELETRICO NA ARGAMASSA
- EA ROSETA NA ALMA
- D DEFLECTOMETRO

Figura 3 - Instrumentação dos Modelos

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de argamassa armada: NBR 11.173. Rio de Janeiro, 1989. 19p.
02. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto e execução de concreto armado: NBR 6.118. Rio de Janeiro, 1980. 17p.
03. GIONGO, J.S. Argamassa armada: dimensionamento de perfis submetidos à flexão-fundamentos e experimentação. São Carlos, 1990. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.
04. FUSCO, P.B. Construções de concreto: solicitações tangenciais, problemas básicos de cisalhamento no concreto, problemas gerais de dimensionamento. São Paulo: EPUSP, 1982. 243p.
05. LEONHARDT, F., MONNIG, E. Construções de concreto: princípios básicos de dimensionamento de estruturas de concreto armado. Rio de Janeiro: Interciência, 1977. v.1, 336p.
06. MANSUR, M.A., ONG, K.C.G. Shear strength of ferrocement beams. ACI Structural Journal. v. 84, n.1, p. 10-17, Jan./Feb., 1987.
07. NOBRE, E. M. Dimensionamento econômico ao cisalhamento. Estrutura. p. 112-122, set. 1982.
08. NOBRE, E.M. Argamassa armada: estudo experimental de vigas submetidas à força cortante. São Carlos, 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos - USP.