

AVALIAÇÃO DA TENACIDADE À FLEXÃO ENTRE PRISMAS E TUBOS DE CONCRETO COM FIBRAS DE AÇO

MARCO ANTONIO BARBOSA DE OLIVEIRA^{1*}, BERNARDO BORGES POMPEU NETO², MIKE DA SILVA PEREIRA³, LAÉRCIO GOUVÊA GOMES⁴.

¹MSc. em Engenharia Civil, Campus Belém, IFPA, Belém-PA, marco.barbosa@ifpa.edu.br

² Dr. em Engenharia Civil, Prof. Titular FEC, UFPA, Belém-PA, pompeu@ufpa.br

³MSc. em Engenharia Civil, Doutorando, PPGEC, UFPA, Belém-PA, mike@ufpa.br

⁴Dr. em Engenharia Mecânica, Prof. IFPA, Belém-PA, laercio.gomes@ifpa.edu.br

RESUMO: A tenacidade à flexão obtida a partir de ensaios de tração na flexão de prismas de concreto com fibras de aço tem sido utilizado nos estudos do comportamento mecânico de tubos de concreto com fibras de aço. Deste modo, este estudo tem objetivo de avaliar a tenacidade à flexão entre prismas e tubos de concreto com fibras de aço. Foi adotada a mesma dosagem e processo de mistura na produção dos prismas e tubos de concreto com fibras de aço. Houve adensamento mecânico em mesa vibratória dos prismas de concreto com fibras de aço do tipo DRAMIX 80/60 ou 65/35, soltas ou coladas em pente, nos volumes teóricos de fibras de 0,25%, 0,38% e 0,50%, em fração volumétrica. Os prismas e tubos de concreto com fibras de aço foram submetidos ao ensaio de tração à flexão e compressão diametral, respectivamente. Ao final, estatisticamente mostrou-se oportuna a proposta de obtenção da tenacidade à flexão do tubo a partir da tenacidade do prisma, indicada pela boa precisão do coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,87) nas correlações realizadas.

PALAVRAS-CHAVES: tenacidade, tubo de concreto, prismas, fibras de aço.

EVALUATION OF TENACITY TO FLEXION PRISM AND CONCRETE PIPES WITH STEEL FIBERS

ABSTRACT: The bending toughness obtained from tensile tests in the flexure of concrete prisms with steel fibers has been used in studies of the mechanical behavior of concrete pipes with steel fibers. Thus, this study has the objective of evaluating the flexural toughness between concrete prisms and concrete tubes with steel fibers. The same dosage and mixing process was adopted in the production of steel fiber concrete prisms and tubes. There were mechanical densification in the vibrating table of concrete prisms with steel fibers. DRAMIX 80/60 or 65/35 fibers were used, either loose or glued in comb, in theoretical fiber volumes of 0.25%, 0.38% and 0.50%, in volumetric fraction. The concrete prisms and tubes with steel fibers were subjected to the flexural tensile and diametral compression tests, respectively. At the end, statistically the proposal of obtaining the tube flexural toughness from the prism tenacity, indicated by the good precision of the regression coefficient R^2 (0.87) in the correlations, was statistically timely.

KEYWORDS: toughness, concrete pipe, prism, steel fiber.

INTRODUÇÃO

Segundo Callister, W.D (2012) a tenacidade é um termo mecânico que representa a habilidade de absorção de energia de um material até o momento da fratura. A geometria do corpo e o modo de aplicação da carga exercem papel importante para a determinação da tenacidade. A tenacidade é a área sob a curva carga por deslocamento vertical, que representa a energia ou trabalho dissipado pelo o material em virtude da aplicação da carga (Bentur & Mindess; Balaguru & Shah, 1992). A avaliação da tenacidade à flexão do concreto com fibras de aço tem ocorrido comumente pela praticidade do ensaio (Gopalaratanan & Gettu, 1995).

O objetivo do estudo visa avaliar a tenacidade à flexão entre prismas e tubos, ambos de concreto com fibras de aço orientadas aleatoriamente, considerando correlações dos resultados de

tenacidade à flexão de prismas e tubos, a saber: com equiparações das variáveis: estado [soltas; coladas em pente], volume teórico de fibras - V_{tf} [0,25%; 0,38%; 0,50%] e fator de forma - FF [65;80]; de modo isolado da variável FF [65; 80] com equiparações do estado [soltas; coladas em pente] e V_{tf} [0,25%; 0,38%; 0,50%]; entre a variável [$FF/65$ e $FF/80$] com equiparações do estado [soltas; coladas em pente] e V_{tf} [0,25%; 0,38%; 0,50%], considerando somente prismas ou tubos.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia experimental desenvolvida partiu da obtenção da tenacidade à flexão a partir do gráfico de carga *versus* deslocamento, que foi obtido através de ensaios de resistência à tração na flexão de prismas com fibras de aço e resistência à compressão diametral de tubos de concreto com fibras de aço. As propriedades das fibras de aço atuam como variáveis independentes: estado – *EST*. [soltas; coladas em pente], volume teórico de fibras - V_{tf} [0,25%; 0,38%; 0,50%], fator de forma - FF [65; 80]. Enquanto a tenacidade à flexão exerce a função de variável dependente.

A massa específica dos agregados miúdo e gráudo, respectivamente, foi 2,63 g/cm³ e 2,53 g/cm³, obtidas segundo a NBR NM 52 (ABNT, 2009) e a NBR NM 53 (ABNT, 2009), respectivamente. A massa unitária dos agregados miúdo e gráudo, respectivamente, foi de 1,46 g/cm³ e 1,56 g/cm³, em conformidade com NBR NM 45 (ABNT, 2006). Na determinação da composição granulométrica dos agregados miúdos e gráudos obtiveram-se os diâmetros máximos de 1,20 mm e 12,5 mm, respectivamente, em conformidade com a NBR NM 248 (ABNT, 2003). As fibras de aço utilizadas são *hooked-end* do tipo 65/35 e 80/60 com fatores de forma de 65 e 80, respectivamente. Os prismas de concreto com fibras de aço possuem dimensões de 150x150x500 mm e os tubos de concreto com fibras de aço possuem diâmetro interno de 600 mm, comprimento útil de 1000 mm e espessura da parede do tubo com 60 mm de classe de resistência definida como PA1.

O processo de mistura do concreto utilizado nos prismas e tubos de concreto com fibras de aço ocorreram a partir da colocação na betoneira da areia, do seixo e do cimento, e posteriormente a progressiva adição de água e das fibras de aço. A moldagem dos prismas de concreto com fibras de aço ocorreu em moldes de madeira com vibração mecânica em mesa vibratória. Enquanto a moldagem de tubos de concreto com fibras de aço foi realizada a partir de formas metálicas e um conjunto vibratório, que permite a compactação radial por meio do cilindro hidráulico vibratório de alta rotação.

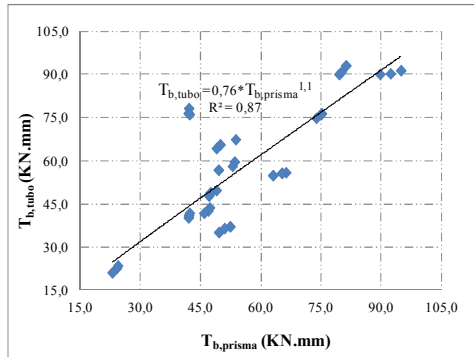
No estado fresco houve a realização do ensaio de determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone – *slump test*, conforme NBR NM 67 (ABNT, 1998). No estado endurecido foi realizado o ensaio de tração na flexão em quatro cutelos para prismas com fibras de aço, conforme a Norma Japonesa JSCE SF-4 (1984). O controle eletrônico de deslocamento ocorreu por meio de transdutor do tipo LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*), que foi apoiado num dispositivo “*yoke*”. Os tubos de concreto com fibras de aço, segundo a NBR 8890 (ABNT, 2007), foi submetido ao ensaio de compressão diametral pelo método dos três cutelos com apoio inferior em dois cutelos de madeira separados entre si e o terceiro cutelo metálico colocado na parte superior ao longo da geratriz superior, excluindo a bolsa do tubo. A leitura do deslocamento vertical diametral ocorreu através de relógio comparador digital de alta precisão posicionado na ponta do tubo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

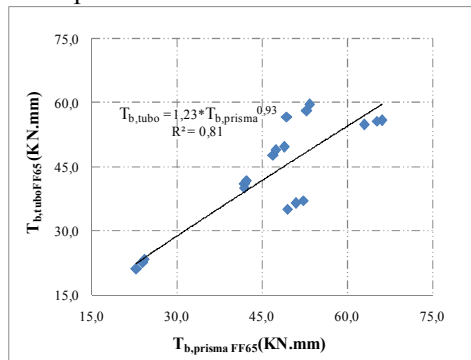
O concreto apresentou abatimento de tronco de cone de 0 mm para todas amostras no ensaio de consistência pelo abatimento de tronco de cone – *slump test*. Nas correlações entre as tenacidades à flexão de prismas e tubos de concreto com fibras de aço houve aderência dos dados das amostras para a linha de tendência com função de potência, obtendo-se:

A Fig. 1. (a) que mostra dados equiparados quanto ao mesmo estado – *EST*. (soltas ou coladas em pente - CP), fator de forma - FF (65 ou 80) e volume teórico de fibras - V_{tf} (0,25%, 0,38% e 0,50%), em que obteve-se uma correlação com coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,87).

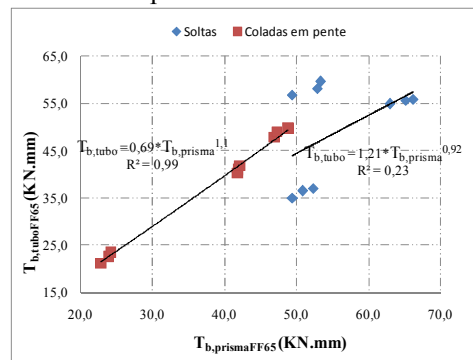
Figura 1. (a) Correlações equiparadas para mesmo *EST*, *FF* e *Vtf*.



Na Fig. 2. (a) são considerados dados equiparados ao mesmo *EST* e *Vtf*, no entanto apenas para o *FF/65*. Constata-se uma correlação com coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,81). Na Fig. 2. (b) ocorre um desmembramento quanto ao estado solta e *CP* para o *FF/65*, mantendo-se equiparação dos resultados quanto ao *Vtf*. Constata-se uma correlação com coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,99) e (0,23), respectivamente, para as fibras no estado *CP* e soltas. Figura 2. (a) Correlações equiparadas para mesmo estado e *Vtf* com *FF/65*, (b) Correlações equiparadas para volume teórico com desmembramento do estado para *FF/65*.



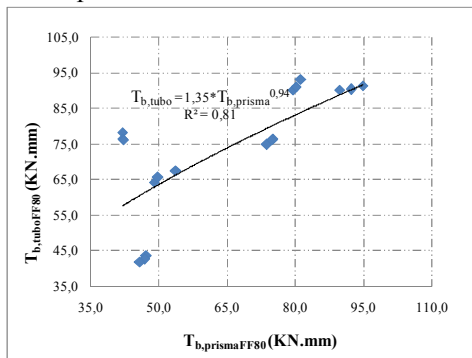
(a)



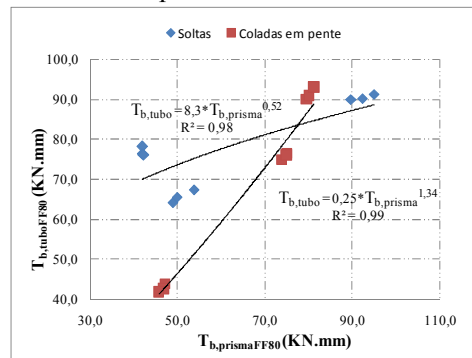
(b)

Na Fig. 3. (a) são considerados dados equiparados ao mesmo estado e *Vtf*, entretanto somente no *FF/80*. Verifica-se uma correlação com coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,81). Na Fig. 3. (b) ocorre um desmembramento no estado soltas e *CP* com *FF/80*, mantendo-se equiparação quanto aos resultados do *Vtf*. Nota-se uma correlação com coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,99) e (0,98), respectivamente, para as fibras no estado *CP* e soltas.

Fig. 3. (a) Correlações equiparadas para mesmo estado e *Vtf* (a) com *FF/80*, (b) Correlações equiparadas para volume teórico com desmembramento do estado para *FF/80*.

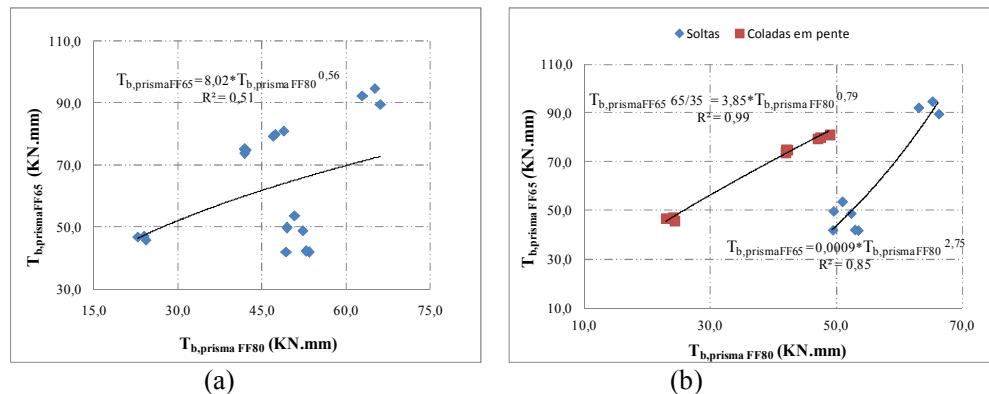


(a)

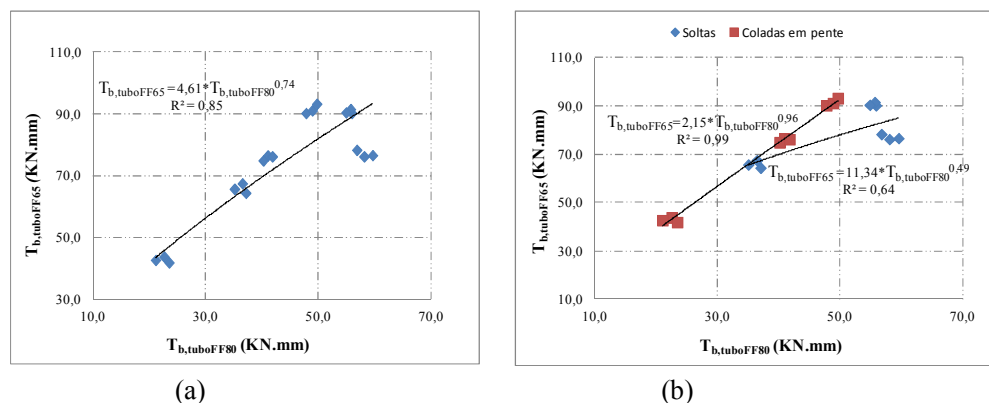


(b)

A Fig. 4. (a) mostra correlações somente entre os resultados de tenacidades à flexão dos prismas com fibras de aço - $T_b, PCFA$. As correlações ocorrem entre as tenacidades à flexão obtidas entre FF/65 e FF/80, mantendo-se a equiparação dos dados quanto ao V_{tf} e estado. Nota-se uma correlação com coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,51). A Fig. 4. (b) mostra resultados de $T_b, PCFA$, com correlações entre FF/65 e FF/80, em que ocorre um desmembramento no estado soltas e CP, mantendo-se a correlação equiparada para mesmo V_{tf} . Nota-se uma correlação com coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,99) e (0,85), respectivamente, para as fibras no estado soltas e CP. Fig.4. (a) Correlações entre os FF/65 e FF/80 para $T_b, PCFA$, (b) Correlações entre FF/65 e FF/80, com equiparação do V_{tf} e desmembramento do estado para a $T_b, PCFA$.



Nas correlações entre os resultados de tenacidades à flexão dos tubos de concreto com fibras de aço - $T_b, TCFA$ obteve-se a Fig. 5. (a), que mostra correlações entre FF/65 e FF/80, com equiparação do V_{tf} e estado. Nota-se uma correlação com coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,85). Na Fig.5. (b) mostra resultados de $T_b, TCFA$, em que houve correlações entre FF/65 e FF/80 com desmembramento no estado soltas e CP, conservando-se a equiparação do V_{tf} . Nota-se uma correlação com coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,99) e (0,64), respectivamente, para as fibras no estado coladas em pente e soltas. Fig.5. (a) Correlações entre os FF/65 e FF/80 para $T_b, TCFA$, (b) Correlações entre FF/65 e FF/80, com equiparação do V_{tf} e desmembramento do estado para a $T_b, TCFA$.



CONCLUSÕES

Observa-se que há uma correlação forte com coeficiente de determinação da regressão R^2 (0,87) entre os resultados de tenacidade à flexão de prismas e tubos de concreto, embora tenham fatores de forma, adensamento e método de ensaios diferentes. Quando analisados os fatores de forma de modo independente, notou-se uma boa aderência dos dados das amostras com correlação forte de coeficiente de determinação R^2 (0,81) para ambos os fatores de forma. Ainda em análise de forma independente cada fator e desmembrando o estado (soltas e coladas em pente), constatou-se correlação muito forte com coeficiente de determinação R^2 (0,99) no estado colada em pente, em ambos os fatores de forma analisados. No entanto verifica-se uma correlação forte para as fibras no estado soltas

com fator de forma de 80, enquanto que apresenta fraca correlação para as fibras no estado soltas com fator de forma de 65, em que se obtiveram coeficientes de determinações de R^2 (0,98) e (0,23), respectivamente.

Houve uma correlação entre os resultados de tenacidade à flexão de prismas com fibras de aço. Essa correlação ocorreu entre os fatores de forma de 65 e 80, equiparando-se os volumes teóricos de fibras e estados das fibras de aço de cada fator de forma, onde se notou uma correlação moderada com coeficiente de determinação R^2 (0,51). Ao analisar o estado (soltas, coladas em pente) de modo separado observa-se que houve melhor correlação para as fibras de aço no estado coladas em pente com correlação muito forte de coeficiente de determinação R^2 (0,99).

De modo semelhante houve uma correlação entre os resultados de tenacidade à flexão dos tubos de concreto. Essa correlação ocorreu entre os fatores de forma de 65 e 80, equiparando-se os volumes teóricos e estados das fibras de aço de cada fator de forma. Em que se constatou uma correlação forte com coeficiente de determinação R^2 (0,85). Em análise isolada do estado (soltas, coladas em pente) verificou-se que houve melhor correlação para as fibras de aço no estado coladas em pente com correlação muito forte de coeficiente de determinação R^2 (0,99).

A correlação dos resultados de tenacidade à flexão entre prisma e tubos, ambos de concreto com fibras de aço, quando analisados estaticamente indicou boa precisão do coeficiente de determinação (R^2) nas condições de interações entre as variáveis analisadas para a proposta de obtenção da tenacidade à flexão do tubo em relação à tenacidade do prisma.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira Normas Técnicas, NBR 8890: Tubo de concreto de secção circular para águas pluviais e esgotos sanitários – requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2007.
- Balaguru, P.N.; Shah, S.P. Fiber reinforced cement composites. USA. McGraw-Hill. 1992.
- Bentur, A.; Mindess, S. Fibre reinforced cementitious composites. United Kingdon. Barking, Elsevier. 1990.
- Callister, W. D. Ciência e Engenharia dos Materiais: Uma Introdução. 8ª. ed. Rio de Janeiro. 2012. LTC – Livros Técnicos e Científicos. cap. 6, p. 91.
- Gopalanratnan, V. S; Gettu, R. On the characterization of flexural toughness in fiber reinforced concretes. Revista Cement & Concrete Composites, v. 17, n. 3, p. 239-54, 1995.
- JSCE. Japan Society of Civil Engineers. SF-4: Method of tests for flexural strength and flexural toughness of steel fiber reinforced concrete, Concrete library of JSCE, Part III-2 Method of tests for steel fiber reinforced concrete. 1984. n. 3, p. 58-61.