

# FLEXÃO DE VIGAS DE CONCRETO AUTOADENSÁVEL REFORÇADO COM FIBRAS DE AÇO

Barros, A.R.<sup>1</sup>; Gomes, P.C.C.<sup>2</sup>; Barboza, A.S.R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Superintendência de Infraestrutura, Universidade Federal de Alagoas

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Estrutural, Universidade Federal de Alagoas



## RESUMO

*Este estudo visa avaliar o comportamento de vigas de concreto autoadensável (CAA) reforçado com fibras de aço submetidas à flexão. Para tal, foram utilizadas fibras de aço com fator  $l/d = 50$ , em uma fração volumétrica de 1%. Foram confeccionadas vigas armadas de dimensões (12,5 x 23,5 x 132) cm, as quais foram ensaiadas por flexão a quatro pontos, aos 28 dias de idade, sendo feitas medições das deformações apresentadas nos estribos e armadura longitudinal, além de medições das deformações do concreto na região comprimida e das flechas no meio do vão. Os resultados dos ensaios mostraram que a adição das fibras de aço ao CAA promoveu sensível ganho na capacidade resistente da viga, com menores flechas, menores deformações das armaduras, longitudinal e transversal, e melhorado controle da fissuração, em comparação às demais vigas produzidas com concretos convencionais, com e sem fibras de aço.*

## 1- INTRODUÇÃO

O concreto autoadensável (CAA) é caracterizado pela sua elevada fluidez e viscosidade moderada, sendo capaz de se mover no interior das fôrmas, preenchendo-as de modo uniforme, somente pela ação de seu peso próprio. É indicada a aplicação do CAA em concretagens de peças com formas complexas e/ou com elevada densidade de armadura. Além de garantir a expulsão de vazios da mistura fresca sem a necessidade de vibração, o CAA deve apresentar resistência à segregação e à exsudação. Tais características no estado fresco são obtidas pela utilização de aditivo superplastificante de última geração e pela adição à mistura de uma grande quantidade de finos e/ou o uso de aditivos modificadores de viscosidade (Gomes 2002).

Do ponto de vista mecânico, como se sabe, pela natureza de sua estrutura, o concreto, seja convencional, ou autoadensável, em comparação ao seu comportamento quando submetido à compressão, apresenta um desempenho consideravelmente inferior quando solicitado à tração. Tal fato tem motivado a busca constante por novos materiais que façam frente às exigências cada vez maiores dos projetos estruturais.

Uma alternativa para a melhoria das características físicas e mecânicas do concreto pode ser a adoção de um material compósito, seja pela utilização de barras de aço, de uso bastante comum na prática da engenharia civil, seja pela incorporação de fibras distribuídas aleatoriamente na massa de concreto, ou ainda, pela união das duas

possibilidades, cujo uso é mais restrito e menos difundido.

Sendo assim, conhecendo-se os benefícios técnicos e econômicos do CAA, a adição de fibras de aço pode melhorar significativamente suas propriedades no estado endurecido, principalmente frente aqueles esforços que induzem tensões de tração, como no caso da solicitação sofrida pelo concreto em vigas submetidas à flexão e cisalhamento.

## 2 - METODOLOGIA E PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste estudo foram produzidos 05 concretos, onde, para viabilizar comparações futuras entre esses, mantiveram-se constantes o consumo de cimento e a relação água/cimento dos mesmos. Os concretos estudados foram os seguintes: um concreto autoadensável (CAA); um concreto autoadensável reforçado com fibras de aço (CAARFA); um concreto de referência (CREF); um concreto de referência reforçado com fibras de aço (CREF-F); e um concreto convencional (CC).

A dosagem de CAA foi obtida em estudos anteriores desenvolvidos na Universidade Federal de Alagoas (Lisbôa 2004; Cavalcanti 2006), sendo utilizado o resíduo do beneficiamento do mármore e granito (RBMG) como filler.

O concreto de referência foi determinado com base no método de dosagem proposto pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). Não foi usado o RBMG na mistura e utilizou-se aditivo plastificante para promover a trabalhabilidade desejada, correspondente a uma consistência do concreto fresco classificada como média, conforme Tabela 1 apresentada por Andolfato (2002). Os agregados miúdos e graúdos foram mantidos os mesmos utilizados na mistura do CAA.

Por sua vez, para a mistura do concreto convencional, que também foi obtida através da metodologia da ABCP, a dimensão máxima do agregado graúdo foi aumentada de 12,5 mm do CREF para 19 mm. Não fo-

**Tabela 1** – Classificação das consistências dos concretos (Andolfato 2002).

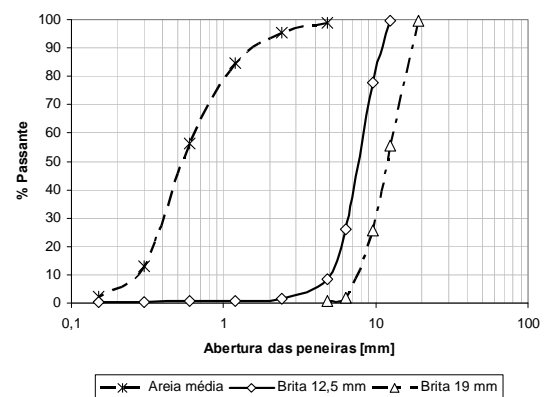
Consistência	Abatimento (cm)
Seca	0 a 2
Firme	2 a 5
Média	5 a 12
Mole	12 a 18
Fluida	18 a 25

ram utilizados aditivos, sendo o concreto convencional composto apenas pelos quatro componentes básicos (cimento, areia, brita e água).

### 2.1 - Materiais

O cimento utilizado foi do tipo Portland composto CP II-Z 32, de acordo com a NBR 11578 (1991), de densidade 3150 kg/m<sup>3</sup>.

Foram utilizados dois tipos de brita, uma com dimensão máxima de 12,5 mm, usada na produção dos concretos autoadensáveis e de referência, e outra com dimensão máxima de 19 mm, a qual foi usada na produção do concreto convencional vibrado. Foi utilizado somente um tipo de areia para a produção de todos os concretos desta pesquisa, classificada como areia média ( $D_{máx} = 2,4$  mm), de acordo com a NBR 7211 (2005). Na Fig. 1 são apresentadas as curvas granulométricas dos agregados utilizados.



**Fig. 1** – Curvas granulométricas dos agregados.

Tendo em vista a necessidade de uma elevada quantidade de finos na mistura de concretos autoadensáveis, neste trabalho, foi utilizado o resíduo do beneficiamento do mármore e granito (RBMG) como adição mineral.

O RBMG é considerado uma adição predominantemente inerte, contribuindo para uma maior compacidade da estrutura interna do material cimentício, principalmente por ação física, conhecida como efeito filer. Na Fig. 2 é mostrada a curva granulométrica do resíduo.

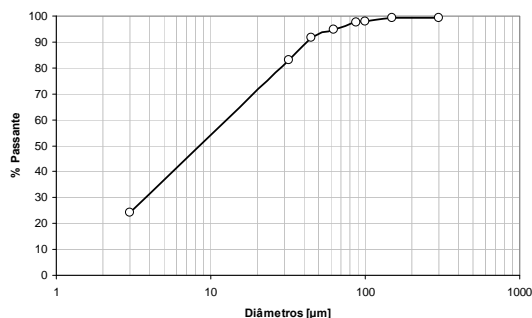


Fig. 2 – Curva granulométrica do RBMG.

Para produção dos concretos autoadensáveis foi utilizado aditivo superplastificante (SPC) de última geração com base numa cadeia de éter carboxílico modificado. Já na produção dos concretos de referência foi utilizado aditivo plastificante (PC) no sentido de proporcionar melhor trabalhabilidade à mistura, sem a necessidade de alteração da relação água/cimento.

Foi utilizada água potável proveniente do sistema de abastecimento de água da Universidade Federal de Alagoas.

O aço utilizado nas armaduras das vigas foram do tipo CA-50 – aço para concreto armado, cuja resistência ao escoamento vale 50 kN/cm<sup>2</sup>. Foram utilizadas barras com diâmetros nominais de 6,3 mm, 5,0 mm e 12,5 mm. O peso específico do aço vale 7850 kgf/m<sup>3</sup>.

Foram utilizadas fibras de aço com ancoragem em gancho nas extremidades, obtidas através do processo de trefilação à frio do aço, com resistência à tração em torno de 1100 MPa. Quanto à geometria, as fibras apresentam comprimento (l) de 30 mm e seção transversal circular com diâmetro (d) de 0,6 mm, resultando em um fator de forma de 50, conforme Fig. 3.

Conforme classificação da NBR 15530 (2007), a fibra de aço usada neste estudo corresponde ao tipo A I.

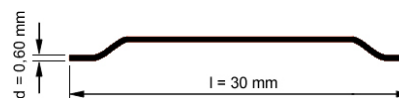


Fig. 3 – Ilustração da fibra de aço utilizada.

## 2.2 - Produção dos concretos

Na produção dos concretos, a colocação dos materiais no misturador foi iniciada com os agregados, areia e brita, e a incorporação da água de absorção dos mesmos, sendo misturados por 30 segundos. Na seqüência, o misturador teve seu movimento cessado para a colocação dos finos, cimento e RBMG, no caso dos concretos autoadensáveis, e apenas cimento, nos concretos de referência e convencional, onde, nessa etapa, os materiais foram misturados por mais 30 segundos. Com a betoneira ainda em movimento, após os 30 segundos da etapa anterior, parte da água de amassamento foi adicionada (80% da relação a/c), onde foram misturados por mais 90 segundos. Porém, no caso do concreto convencional, toda a água de amassamento foi colocada nesse estágio, sendo essa a fase final de sua mistura. Nos demais concretos, CAA, CAARFA, CREF e CREF-F, o processo de mistura continua com a colocação do aditivo (superplastificante para os concretos autoadensáveis e plastificante para os concretos de referência), juntamente com a parte restante da água de amassamento (20% da relação a/c), sendo misturados por 120 segundos. Por fim, nos concretos CAARFA e CREF-F, após os 120 segundos do passo anterior, foram incorporadas as fibras de aço ao concreto e misturadas por mais 60 segundos.

Na Tabela 2 são apresentadas as principais diferenças entre as dosagens propostas para o estudo.

A etapa de definição da fração volumétrica de fibras de aço a ser adicionada no CAA baseou-se nas recomendações de Tviksta (2000), onde, a dosagem de um concreto auto-adensável reforçado com fibras de aço (CAARFA) pode ser obtida a partir de uma mistura de CAA já existente, onde, de preferência, esta deve possuir um *slump-flow* entre 650 e 700 mm.

**Tabela 2** – Principais diferenças entre as dosagens propostas para o estudo.

Tipos de concreto	D <sub>máx</sub> agregado	RBMG	Aditivo		Fibras de aço	Adensamento
	gráudo (mm)		SPC	PC		
CAA	12,5	Sim	Sim	Não	Não	Autoadensável
CAARFA	12,5	Sim	Sim	Não	Sim	Autoadensável
CREF	12,5	Não	Não	Sim	Não	Vibrado
CREF-F	12,5	Não	Não	Sim	Sim	Vibrado
CC	19,0	Não	Não	Não	Não	Vibrado

A necessidade ou não de alterações na dosagem de um CAA já existente, quando da adição de fibras de aço, pode ser avaliada através do fator de fibra ( $F_{sf}$ ), segundo Eq. (1):

$$F_{sf} = \frac{m_f}{78,5} \cdot \frac{l_f}{d_f} \quad (1)$$

Sendo,  $m_f$  a quantidade de fibra adicionada em  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $l_f$  o comprimento da

fibra; e  $d_f$  o diâmetro equivalente da seção transversal da fibra.

Através das recomendações de Tviksta (2000) e testes de dosagem em CAA, foi constatado que seria possível a adição de fibras de aço em uma fração volumétrica de 1% ( $78,5 \text{ kg}/\text{m}^3$ ), de tal forma que não fossem prejudicadas as propriedades de fluxo do CAA no estado fresco.

Na Tabela 3, apresentam-se as dosagens obtidas para os concretos.

**Tabela 3** – Dosagens obtidas para os concretos.

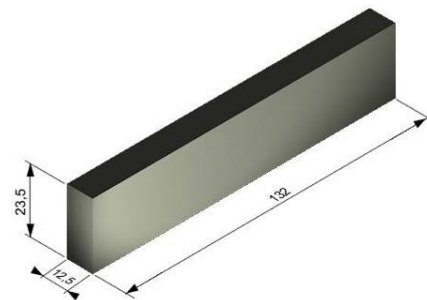
Tipos de concreto	Cimento [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	a/c	Água [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	Agregados [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]		RBMG [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	SPC [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]	PLC	Fibras [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
				Areia	Brita		(spc/c = 0,6%)	[ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] (pc/c = 0,162%)	
CAA	400	0,5	194,4	785	790	200	8,0	0	0
CAARFA	400	0,5	194,4	785	790	200	8,0	0	78,5
CREF	400	0,5	198,9	875	895	0	0	1,8	0
CREF-F	400	0,5	198,9	875	895	0	0	1,8	78,5
CC	400	0,5	200	718	1060	0	0	0	0

### 2.3 - Moldagem dos corpos-de-prova

Para cada concreto produzido, foi moldada 01 (uma) viga de concreto armado com dimensões de 12,5 cm de largura, 23,5 de altura e 132 cm de comprimento (12,5 x 23,5 x 132), conforme é mostrada na **Fig. 4**.

A moldagem das vigas variou conforme o processo de adensamento de cada tipo de concreto utilizado. Os concretos autoadensáveis, como o próprio nome já diz, não necessitam de nenhum tipo de vibração para seu adensamento nas fôrmas. Já os demais concretos produzidos, como os de referência (CREF e CREF-F) e o convencional (CC), na moldagem das vigas, foram adensados através de vibração mecânica.

O cobrimento das armaduras foi garantido pela utilização de espaçadores, de acordo como é mostrado na Fig. 5.

**Fig. 4** – Dimensões da viga de concreto armado confeccionada (medidas em cm).

A desfôrma das vigas foi realizada após 48 horas da moldagem.

Após a retirada das fôrmas, a cura das vigas foi realizada por molhagem, onde as mesmas foram colocadas sobre colchão de areia e cobertas com estopa, conforme Fig. 6. A molhagem das vigas era feita uma vez por dia, ou duas vezes, dependendo da

temperatura ambiente. Tal procedimento se estendeu até a idade de ensaio de 28 dias.



Fig. 5 – Detalhe dos espaçadores para garantia do cobrimento das armaduras.



Fig. 6 – Cura das vigas por molhagem.

## 2.4 - Flexão a quatro pontos das vigas de concreto armado

Na Fig. 7 são apresentadas a armação da viga utilizada no ensaio de flexão a quatro pontos e o posicionamento dos *strain-gages* para medição de deformações nas armaduras longitudinal (posição E3) e transversal (posições E1 e E2) e na região de concreto comprimido (posição E4). As vigas foram dimensionadas com armadura transversal insuficiente para induzir a ruptura por cisalhamento e acentuar a solicitação dos estribos.

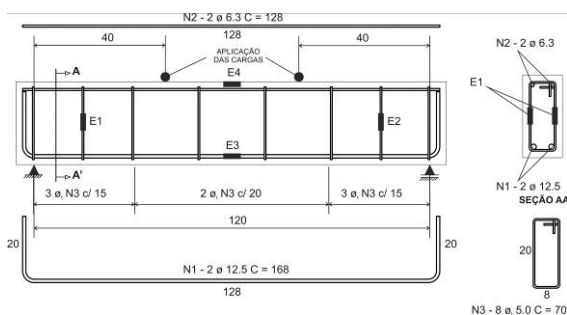


Fig. 7 – Detalhamento das armaduras da viga e posicionamento dos *strain-gages*.

A armadura longitudinal é composta por duas barras de aço com 12,5 mm de diâmetro cada uma (N1), enquanto que, a armadura transversal é formada por 08 estribos confeccionados com aço de bitola 5 mm (N3). Além disso, foi utilizada armadura construtiva de bitola 6,3 mm (N2). O vão livre da viga foi de 120 cm, estando ambas as cargas aplicadas equidistantes de 40 cm dos apoios.

Foram utilizados dois tipos de *strain-gages* uniaxiais, com resistência de 120  $\Omega$ , do fabricante KYOWA<sup>®</sup>, o KFG-5-120-C1-11 (comprimento da grade de 5 mm), para medição das deformações nos estribos, e o KFG-10-120-C1-11 (grade de 10 mm) usado na armadura longitudinal e na região de compressão do concreto. A colagem dos *strain-gages* nas armaduras foi feita 24 horas antes da concretagem da viga, e teve início com a preparação da superfície da barra de aço (Fig. 8a), onde, tendo em vista sua seção circular, a mesma foi acabada de modo a se obter uma superfície plana, melhorando assim as condições para colagem dos *strain-gages* (Fig. 8b).

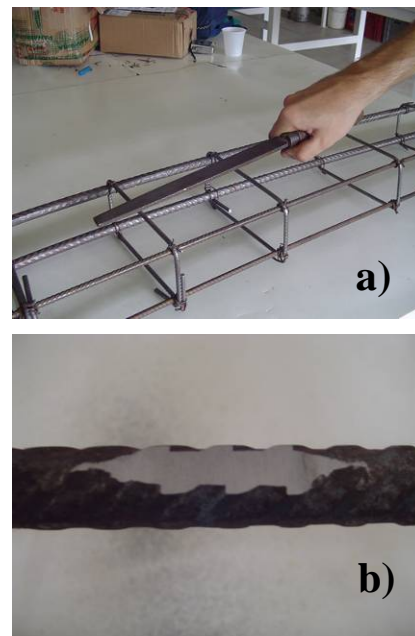


Fig. 8 – a) Preparação da superfície; b) superfície preparada.

Terminada a preparação da superfície, a mesma foi limpa com gaze e álcool (Fig. 9c), e então, o *strain-gage* foi posicionado

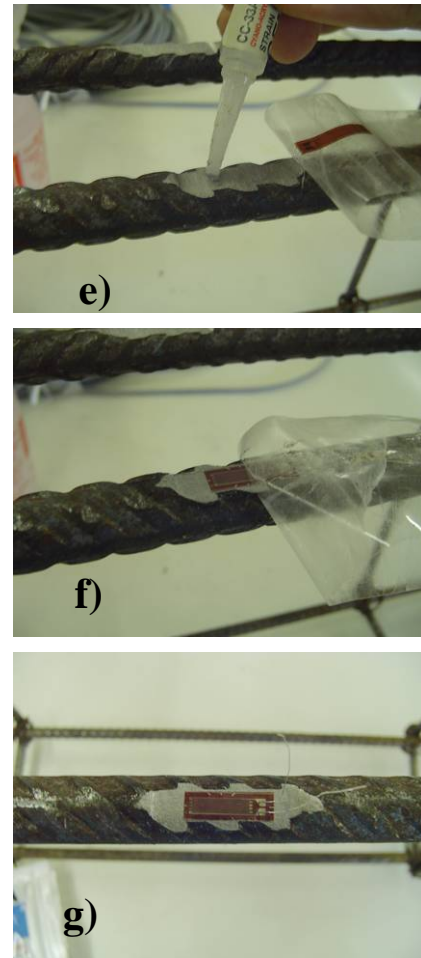
no local desejado através de uma fita adesiva transparente (Fig. 9d).



**Fig. 9** – c) Limpeza da superfície; d) posicionamento do *strain-gage*.

Levantando-se uma das extremidades da fita, foi espalhado adesivo especial para colagem de *strain-gages*, à base de cianoacrilato de secagem rápida, fornecido pelo próprio fabricante, em toda a superfície onde o extensômetro seria fixado (Fig. 10e). Logo após a aplicação do adesivo na superfície de colagem, a fita, juntamente com o *strain-gage* aderido a ela, foi recolocada na sua posição inicialmente demarcada. Após a aplicação de uma leve pressão com a ponta do dedo sobre o *strain-gage*, por alguns segundos, a fita adesiva foi retirada, permanecendo assim o extensômetro no local desejado (Fig. 10g).

Após a colagem dos extensômetros na armadura, os terminais dos mesmos foram unidos aos condutores de espera para posterior conexão ao sistema de aquisição de dados. A união dos terminais dos *strain-gages* com os fios condutores foi feita com solda de estanho (Fig. 11h). Finalmente, os *strain-gages* e seus terminais foram protegidos com fita de borracha de autofusão (Fig. 11i), evitando que, durante a concretagem, a água de amassamento do concreto entrasse em contato com os extensômetros. Também foi realizado, com



**Fig. 10** – Colagem do *strain-gage*.



**Fig. 11** – h) Ligação dos terminais; i) isolamento e proteção do *strain-gage*.

fita isolante, o isolamento do contato direto dos terminais dos *strain-gages* com a superfície metálica da armadura.

Vinte e quatro horas antes da realização do ensaio, foi feita a colagem dos *strain-gages* na região de compressão do concreto, fixação de barra metálica no topo da viga para medição da flecha (Fig. 12) e a demarcação de uma malha quadriculada, de 4,7 cm x 5 cm, em uma das faces da viga, para o mapeamento de fissuras durante o ensaio, conforme apresentado na Fig. 13.

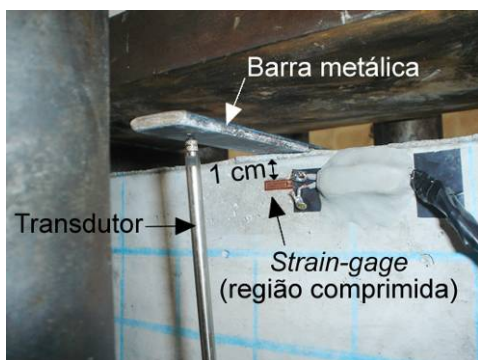


Fig. 12 – Posicionamento da barra metálica para auxílio na medição da flecha e *strain-gage* na região comprimida da viga.



Fig. 13 – Demarcação de malha para mapeamento das fissuras.

As deformações, deslocamentos e carregamentos, foram registrados em computador através do sistema de aquisição de dados SPIDER 8<sup>®</sup> (Fig. 14).

A verificação da evolução das fissuras



Fig. 14 – Sistema de aquisição de dados.

na viga, com o progresso do carregamento, foi feita utilizando-se incrementos de carga de 1 tf.

Em cada ponto de interesse para medição das deformações (E1, E2, E3 e E4), foram utilizados pares de *strain-gages*, de acordo como é esquematizado na Fig. 15.

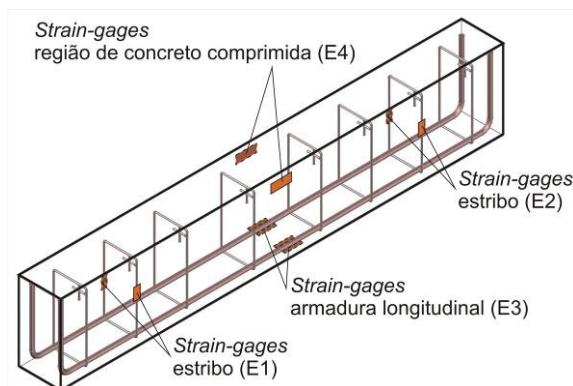


Fig. 15 – Pontos de colagem dos *strain-gages*.

### 3- ANÁLISE DOS RESULTADOS

A ilustração do ensaio é apresentada na Fig. 16, onde podem ser observadas as dimensões da viga, distância entre apoios e cargas aplicadas, bem como o posicionamento da instrumentação utilizada.

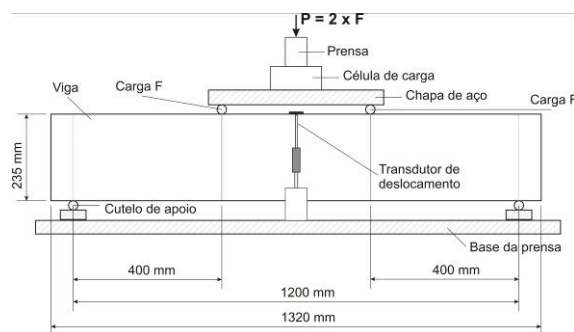
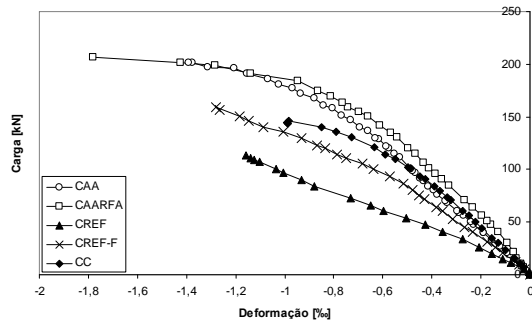


Fig. 16 – Ilustração do ensaio de flexão das vigas de concreto armado.

Na Fig. 17 são apresentados os resultados das medições das deformações na região de compressão das vigas.

Pela observação das curvas mostradas na Fig. 17, verifica-se que a adição das fibras de aço proporcionou ao CAARFA menores deformações na região de compressão da viga, para o mesmo nível de carga, quando comparada com a viga confeccionada com CAA. Porém, o efeito das fibras foi reduzido na fase final da capacidade portan-



**Fig. 17** – Resultados das medições feitas na região comprimida das vigas.

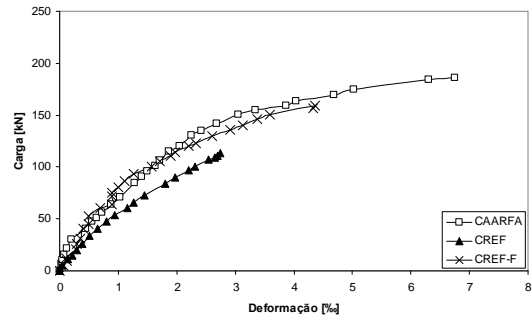
te da viga, onde se observa, praticamente, a superposição das curvas do CAA e CAARFA.

No caso do concreto de referência (CREF), as fibras de aço melhoraram consideravelmente o comportamento do concreto na região de compressão da viga, como pode ser verificado pela comparação das curvas do CREF e CREF-F. Ainda assim, o concreto convencional (CC), quando comparado ao CREF-F, apresentou menores deformações na região de compressão, para o mesmo nível de carregamento. Porém, na fase final da capacidade resistente, a viga confeccionada com o CREF-F apresentou um melhor comportamento.

Nos concretos com fibras (CREF-F e CAARFA), o retardamento no progresso das fissuras, decorrente da interceptação dessas pelas fibras de aço, pode ter afastado a linha neutra da borda superior da seção transversal, em comparação aos concretos sem fibras, aumentando a região de compressão, e conseqüentemente, favorecendo o alcance de menores deformações do concreto comprimido, como pode ser observado na **Fig. 17**, comparando-se o CREF com o CREF-F, e o CAA com o CAARFA.

As medições feitas na armadura longitudinal das vigas são apresentadas na **Fig. 18**. Durante a execução do ensaio, ocorreram alguns imprevistos que impossibilitaram as medições das deformações das barras de tração das vigas confeccionadas com os concretos CAA e CC.

Conforme as curvas apresentadas na Fig



**Fig. 18** – Deformações na armadura longitudinal das vigas.

18, a adição das fibras de aço ao CREF promoveu ao concreto uma maior capacidade de resistir aos esforços de tração desenvolvidos durante a flexão da viga. Os reflexos disso estão nas menores deformações da armadura longitudinal da viga produzida com o CREF-F, em comparação aquelas da viga confeccionada com CREF, indicando que, parte dos esforços de tração foram absorvidos pelo concreto com fibras de aço, aliviando assim a atuação da armadura principal.

O comportamento do CREF-F foi semelhante àquele do CAARFA, pelo menos até, aproximadamente, a carga de 100 kN, pois, com o avanço do carregamento, a viga de concreto auto-adensável fibroso apresentou, em relação ao CREF-F, uma melhor atuação, ainda que sensível, possibilitando o alcance de maiores níveis de carregamento com menores deformações da armadura longitudinal. Vale ressaltar que, o *strain-gage* fixado na armadura longitudinal da viga de CAARFA descolou quando o carregamento atuante era de 186,2 kN, correspondente à uma deformação de 6,75%. Desse modo, a curva apresentada na **Fig. 18**, não descreve o comportamento completo das deformações na armadura longitudinal da viga de CAARFA.

Na **Fig. 19** são mostradas as deformações medidas nos estribos, nas posições E1 e E2.

Conforme as curvas apresentadas na **Fig. 19**, verifica-se que nas vigas confeccionadas com concretos auto-adensáveis (CAA e CAARFA) há indicação de menores deformações nos estribos, observada através



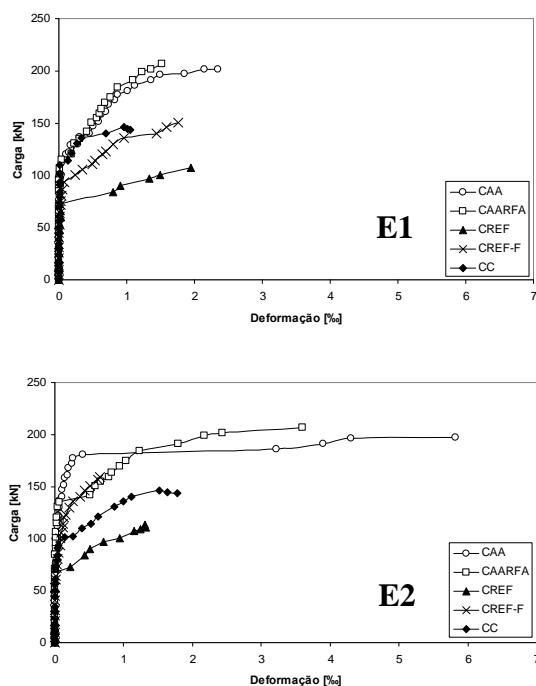


Fig. 19 – Deformações medidas nos estribos.

dos níveis de carregamento alcançados pelos concretos. Contudo, a adição das fibras de aço ao CAA não trouxe benefício evidente para o concreto, no combate aos esforços de cisalhamento atuantes na viga. Possivelmente, esse resultado é devido ao comportamento já favorável da matriz, o que gera uma melhor aderência entre concreto e armadura, fazendo com que após a incorporação das fibras o ganho de resistência ao cortante não seja significativo.

Por sua vez, quando foram adicionadas as fibras de aço, o CREF teve um ganho considerável no combate ao esforço cortante. Isso indica uma atuação das fibras de aço na absorção de parte do cisalhamento, costurando as fissuras inclinadas que surgem nas regiões da viga entre a carga e o apoio, de forma semelhante aos estribos.

O concreto convencional apresentou uma maior capacidade de absorção do esforço cortante, quando comparado ao CREF, onde, a maior dimensão do agregado graúdo pode ter contribuído na parcela resistente do concreto devida ao engrenamento dos agregados ao longo da fissura inclinada.

As medições das deflexões no meio do vão das vigas são apresentadas na Fig. 20.

Além das curvas carga x flecha, está indicada (ver legenda das curvas) a carga onde ocorreu a primeira fissura em cada uma das vigas.

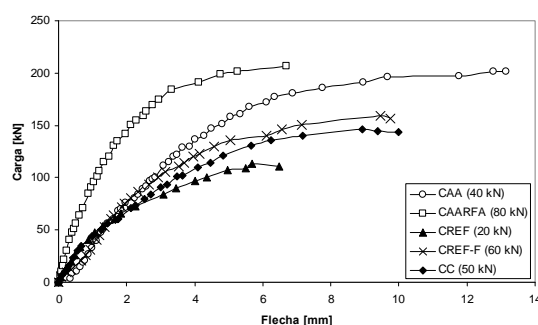


Fig. 20 – Curvas carga x flecha das vigas e indicação da carga de ocorrência da primeira fissura.

Conforme as curvas indicadas na Fig. 20, o CAARFA indicou as menores flechas para o mesmo nível de carregamento, quando comparado aos demais concretos. Provavelmente, a melhor aderência do aço ao concreto auto-adensável, em decorrência de sua estrutura interna mais densa, pela utilização de uma elevada quantidade de finos à mistura, promoveu uma maior capacidade de deformação das vigas. Desse modo, a aderência entre as fibras e a matriz também é melhorada, aumentando ainda mais a ductilidade da viga de CAARFA, em comparação àquela apresentada pela viga confeccionada com CAA.

De forma semelhante ao CAA, após a incorporação das fibras de aço, o CREF também apresentou aumento de sua capacidade portante com a inclusão das fibras de aço à sua mistura. Como foi observado anteriormente, nos resultados de deformação da armadura longitudinal, a adição das fibras de aço ao CREF reduziu a solicitação na armadura principal de tração, indicando que o concreto de referência com fibras combateu parte dos esforços de tração desenvolvidos na flexão. Sendo assim, os resultados apresentados na Fig. 20 refletem esse comportamento, indicando uma maior ductilidade da viga de CREF-F, em relação à viga moldada com CREF.

A viga produzida com concreto convencional apresentou um melhor comportamento, em comparação àquela confeccionada com o concreto de referência,

mostrando uma maior capacidade de deformação. Na **Fig. 20** podem ser comparadas as curvas da viga de concreto convencional e da viga de CREF, onde observa-se que a primeira apresentou menores flechas, para o mesmo nível de carregamento da segunda.

Em relação ao aparecimento da primeira fissura, o CAARFA apresentou um aumento de 100% na carga de surgimento da primeira fissura, em comparação com a carga do início de fissuração indicada na viga confeccionada com CAA. Já a incorporação das fibras de aço ao CREF proporcionou um aumento de 200% na carga de início da fissuração.

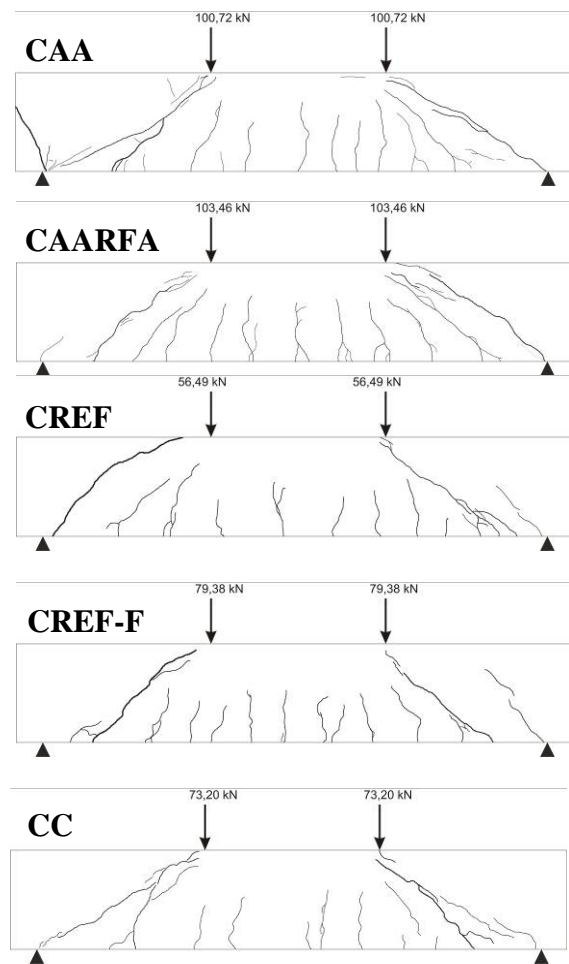
A observação da primeira fissura na viga produzida com concreto convencional ocorreu com a carga de 50 kN, 150% superior à carga de início da fissuração da viga confeccionada com o CREF (20 kN). Em relação ao CAA, o CC apresentou carga de início de fissuração 25% maior.

A seguir, na **Fig. 21** apresenta-se a configuração das fissuras nas vigas, para cada um dos concretos, no momento da ruptura.

Através dos resultados verificados na **Fig. 21**, a adição das fibras de aço não alterou o modo de ruptura das vigas. Assim, nesse caso, com armadura transversal insuficiente, as fibras de aço não foram capazes de evitar a ruína das vigas por cisalhamento. Observa-se, portanto, que de qualquer modo, em vigas armadas submetidas à flexão e cisalhamento, deve-se prever armadura transversal mínima, mesmo quando são incorporadas as fibras de aço ao concreto, como forma de prevenir a ruptura frágil do elemento, em decorrência da atuação do esforço cortante.

#### 4- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em decorrência do melhorado controle de fissuração, a viga confeccionada com CAARFA, com incorporação das fibras em uma fração volumétrica de 1%, apresentou um melhor comportamento estrutural, sendo alcançada uma maior capacidade de carga com menores deformações dos estribos, da armadura longitudinal e da região de concreto comprimido no bordo superior



**Fig. 21** – Configuração da fissuração nas vigas no momento da ruptura.

da seção transversal. Apesar do melhor comportamento da viga produzida com CAARFA, as fibras de aço atuaram de forma mais significativa na viga moldada com CREF-F, onde as reduções de deformações nas armaduras e região comprimida foram bem mais acentuadas, em comparação com os resultados obtidos para a viga com CREF.

As fibras de aço não apresentaram benefícios evidentes ao reforço da viga moldada com CAA, sendo apenas verificado, com maior destaque, o retardamento no surgimento da primeira fissura e as menores flechas, em comparação ao que foi observado na viga produzida com CAA sem fibras. Além disso, na viga com CAARFA, as fibras de aço evitaram o escorregamento da armadura longitudinal no apoio, no momento da ruptura, conforme ocorreu na viga confeccionada com CAA, evidenciando algum reforço nesse sentido.

## **5- REFERÊNCIAS**

- Andolfato, R.P. 2002. Controle tecnológico básico do concreto. Universidade Estadual Paulista. Núcleo de Ensino e Pesquisa da Alvenaria Estrutural. 33 f. Ilha Solteira, São Paulo.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 11578. 1991. Cimento Portland Composto. Rio de Janeiro.
- NBR 15530. 2007. Fibras de aço para concreto - Especificação. Rio de Janeiro.
- NBR 7211. 2005. Agregados para concreto. Rio de Janeiro.
- Bentur, A.; Mindess, S. 1990. Fiber reinforced cementitious composites. Elsevier Science publishers, 1st Ed. London, England.
- Cavalcanti, D.J.H. 2006. Contribuições ao estudo de propriedades do concreto auto-adensável visando sua aplicação em elementos estruturais. 2006. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Maceió/AL.
- Fantilli, A.P.; Mihashi, H.; Vallini, P. 2008. Effect of bond-slip on the cracking bridging capacity of steel fibers in cement-based composites. *Journal of Materials in Engineering Civil*. Vol. 20, nº 9. p. 588-598.
- Furlan JR., S.; Hanai, J. B. 1997. Shear behavior of fiber reinforced concrete beams. *Cement and Concrete Composites* 19. Elsevier Science Ltd. p. 359-366.
- Gomes, P.C.C. 2002. Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete. 2002. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.
- Lisbôa, E.M. 2004. Obtenção do concreto auto-adensável utilizando o resíduo de serragem de mármore e granito e estudo de propriedades mecânicas. 2004. 115p. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas.
- Tviksta, L. 2000. End product. In: Brite EuRam Program: Rational production and improved working environment through using self-compacting concrete. Task 9, pp. 1-48.