

AValiação dos Principais Parâmetros Referentes ao Estágio Pós-Fissuração em Concretos Reforçados com Fibras

Iva Emanuely Pereira Lima ¹; Aline da Silva Ramos Barboza ²

RESUMO

Diante do comportamento frágil do concreto simples à esforços de tração, surgiram diversas alternativas tecnológicas para compensar essas limitações, como é o caso da adição de fibras como reforço ao concreto (CRF). A partir disso, percebeu-se que o principal efeito da adição das fibras como reforço no concreto é no estágio pós-fissuração, onde as fibras dissipam a energia responsável pela ruptura frágil do concreto e aumentam a tenacidade e a resistência residual do compósito. A partir dessa problemática, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento em relação tanto a tenacidade quanto a resistência residual de uma amostra de concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) e de outra amostragem de concreto reforçado com fibras poliméricas (CRFP) em teores volumétricos de fibras correspondentes a 0,40% e 1,00%, respectivamente. De acordo com o estudo realizado, verificou-se que o CRFA apresentou uma maior tenacidade e também evidenciou valores superiores de resistências residuais, o que mostra que o CRFP analisado neste trabalho apresenta menor desempenho mecânico. Sendo assim, para que ocorra uma diminuição na diferença encontrada, as fibras poliméricas devem ser incrementadas no concreto em teores mais elevados em relação ao utilizado neste trabalho.

Palavras-Chave: Concreto reforçado com fibras; Estágio pós-fissuração; Tenacidade; Resistência residual.

¹ Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões
Email: ivaemanuelyl@gmail.com

² Afiliação: Universidade Federal de Alagoas – Campus A.C. Simões
Email: aline@lccv.ufal.br

1 INTRODUÇÃO

Ao fissurar, a capacidade do concreto em resistir aos esforços de tração é ultrapassada e isso ocorre devido à incapacidade do compósito em interromper a formação de fissuras e microfissuras em sua matriz (FIGUEIREDO, 2011; MEHTA & MONTEIRO, 2014). Diante desse comportamento frágil do concreto simples à esforços de tração, surgiram diversas alternativas tecnológicas para compensar essas limitações, como é o caso da adição de fibras como reforço ao concreto. Os concretos com adição de fibras (CRF) são definidos como compósitos, cujas fases principais são o concreto (matriz) e as fibras (reforço) (LOPES, 2005; BENTUR & MINDESS, 2007; FIGUEIREDO, 2011).

No entanto, para que a adição das fibras no concreto ocorra de forma satisfatória, diversas pesquisas começaram a ser realizadas. Os primeiros estudos foram iniciados no final da década de 50 nos Estados Unidos, entretanto, somente no início da década de 70 que as investigações foram devidamente impulsionadas (NAAMAN, 2003). A partir disso, demonstrações de aplicação de CRF passaram a ser desenvolvidas, onde a primeira aplicação comercial de concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) foi executada em uma estação de pesagem de caminhões no ano de 1971 (HANNANT, 1994).

Nesse estudo, percebeu-se que a adição de fibras propiciou um aumento significativo na capacidade de energia absorvida pelo compósito, sendo este parâmetro conhecido como tenacidade, onde esse aumento de energia aconteceu porque os elementos de CRF possuem uma maior capacidade de interromper a propagação de fissuras porque as fibras agem como pontes de transferência de tensões (HANNANT, 1994; NAAMAN, 2003). Ao atuar como ponte, vai ocorrer a redistribuição dos esforços na matriz, fazendo com que a velocidade de abertura das fissuras seja minorada (JANSSON, 2011; LIAO *et al.*, 2014; MEHTA & MONTEIRO, 2014).

Sendo assim, o principal efeito da adição das fibras como reforço no concreto é no estágio de pós-fissuração, onde estas inibem a progressão de fissuras e evitam a ruptura brusca do material (NAAMAN, 2003; BENTUR & MINDESS, 2007). Isso posto, o comportamento estrutural do CRF é normalmente caracterizado por meio de ensaios que definem parâmetros relacionados ao estado pós fissuração e as principais propriedades que caracterizam esse estado são a tenacidade e a resistência residual (NUNES, 2006; DI PRISCO *et al.*, 2013; SUBRAMANIAM & GALI, 2017).

Ao que refere-se a tenacidade, este parâmetro é estabelecido como a capacidade de energia absorvida pelo compósito ao ser carregado, levando em consideração a energia antes e após a ruptura da matriz (FIGUEIREDO, 2011). Ao que está relacionado a resistência residual, este indicador é calculado a partir da carga sustentada pelo corpo de prova em deslocamentos específicos (NAAMAN, 2003; FIGUEIREDO, 2011). Em síntese, as fibras dissipam a energia responsável pela ruptura frágil do concreto, aumentam a tenacidade e melhoram a resistência residual do compósito.

Diante disso, e sabendo que o principal efeito da adição das fibras como reforço no concreto é no estágio pós-fissuração, onde as principais propriedades que caracterizam esse estado são a tenacidade e a resistência residual, o presente trabalho tem como objetivo comparar e avaliar o comportamento desses dois parâmetros em uma amostra de concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) e outra amostragem de concreto reforçado com fibras poliméricas (CRFP), que apresentam um teor volumétrico de fibras correspondente a 0,40% e 1,00%, respectivamente.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais e consumo dos materiais

A matriz utilizada na produção dos concretos é composta dos seguintes materiais: agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita), cimento (CP V ARI RS), adição mineral (RBMG), água e aditivo superplastificante. Ao que se refere ao reforço, para a confecção do CRFA, utilizou-se fibras de aço (módulo de elasticidade correspondente a 210 GPa) e, para o CRFP, utilizou-se fibras poliméricas (módulo de elasticidade correspondente a 9,5 GPa).

A dosagem da matriz foi desenvolvida a partir do método de Gomes *et al.* (2003) para a produção de um concreto autoadensável e, ao que está relacionado ao teor de adição de fibras, este parâmetro foi determinado utilizando-se do conceito de volume crítico proposto por Bentur e Mindess (2007). Para o presente trabalho, ao que se refere as vigas com CRFA, adotou-se o teor volumétrico de 0,40% e, para as vigas com CRFP, adotou-se o teor de 1,00%, valores usualmente adotados na literatura. O consumo de materiais em massa está representado na Tabela 1.

Tabela 1: Consumo de materiais por m³.

Materiais	Massa (kg)
Cimento	377,90
RBMG	188,95
Areia	774,53
Brita	813,75
Água inicial	151,16
Água complementar	37,75
Água de absorção	11,17
Aditivo	6,30
CRFA	
Fibras de aço	25,98
CRFP	
Fibras poliméricas	3,78

Fonte: Adaptado de Melo, 2018 e Silva *et al.*, 2019.

A partir do consumo ilustrado na Tabela 1, foram produzidas 16 vigas com dimensões correspondentes a 150×150×550 mm, como recomendado pela EN 14651 (2007) para o ensaio de flexão a três pontos, das quais foram produzidas 8 vigas de concreto fluido reforçado com fibras de aço (CRFA) e 8 vigas de concreto fluido reforçado com fibras poliméricas (CRFP).

2.2 Ensaio no estado fresco

Os concretos foram submetidos, no estado fresco, ao ensaio de espalhamento (*slump-flow test*) para avaliação da condição de fluidez, verificando a capacidade de preenchimento e o aspecto do concreto quanto à uniformidade da distribuição do agregado graúdo. O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 15823-2 (2017), em que esta norma estabelece como resultados o espalhamento (SF) e o tempo de escoamento (t500). Nesse estudo, objetivou-se produzir um concreto fluido, não necessariamente um concreto autoadensável, assim, outros ensaios que

permitem classificar o concreto como autoadensável não foram realizados. O procedimento do ensaio prático está ilustrado na Figura 1.

Figura 1: Procedimento de ensaio prático.

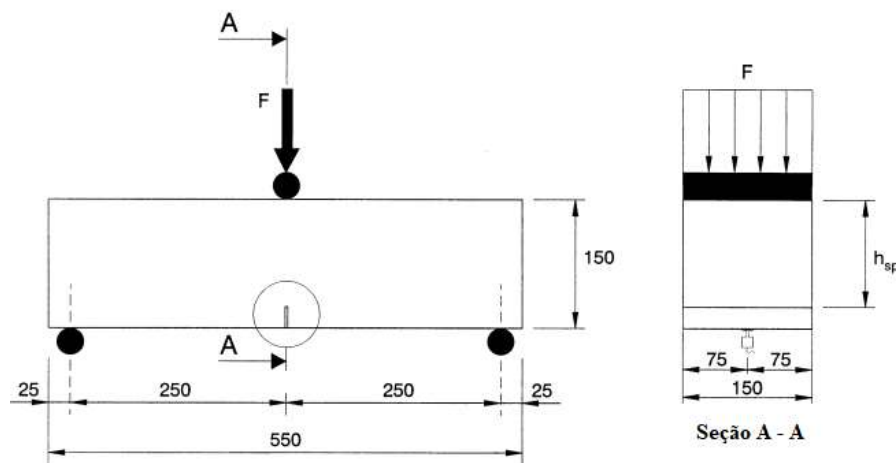


Fonte: Os Autores, 2020.

2.3 Aplicação do ensaio normatizado pela EN 14651 (2007)

O ensaio de flexão a três pontos, normatizado pela EN 14651 (2007), é baseado em um sistema fechado de controle de velocidade de deslocamento e apresenta um entalhe centralizado em uma das faces do corpo de prova. Nesse entalhe, podem ser posicionados transdutores de deslocamento variável linear (LVDT), que controlam o processo de fissuração e medem diretamente a abertura da fissura. Ademais, para a aplicação deste ensaio, a carga deve ser aplicada na parte superior da viga e centralizada em relação ao vão de ensaio. Para ilustração do ensaio, a Figura 2 apresenta a sua esquematização.

Figura 2: Ensaio de flexão a três pontos.

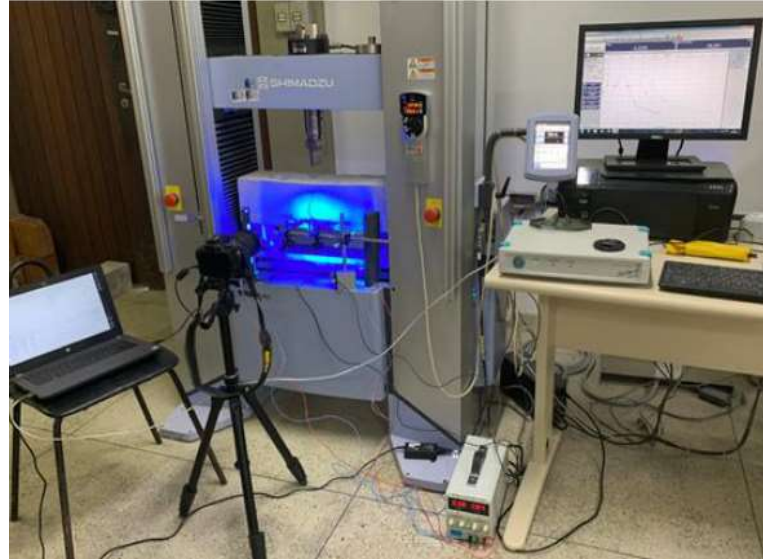


Fonte: Adaptado da EN 14651, 2007.

Para a aplicação do ensaio ilustrado na Figura 2, utilizou-se a máquina universal de ensaio Shimadzu, modelo AG-X Plus com capacidade de 100 kN, onde o roteiro do ensaio foi previamente configurado no *software* Trapezium X. Inicialmente, durante os cinco primeiros minutos de ensaio, a célula de carga se deslocava a uma velocidade de 0,05 mm/min, em que a adoção de uma menor velocidade no trecho inicial teve a função de minimizar a ocorrência da

instabilidade pós-pico, sendo posteriormente adotada uma velocidade de 0,20 mm/min. Os ensaios foram preparados conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Montagem do experimento.



Fonte: Os Autores, 2020.

Diante disso, a partir dos resultados provenientes do ensaio de flexão, pode-se calcular a resistência à tração na flexão residual e a resistência referente ao limite de proporcionalidade dos compósitos. Ao que refere-se a resistência à tração na flexão residual, correspondente ao estado limite de serviço (f_{R1}) e ao estado limite último (f_{R3}), este valor pode ser determinado por meio da Equação 1. Em relação a resistência referente ao limite de proporcionalidade, que corresponde a resistência calculada a partir da carga máxima dentro do intervalo de abertura de fissura entre 0 e 0,05 mm, utiliza-se a Equação 2. Para a obtenção das cargas necessárias nas equações citadas, estas são extraídas do gráfico de ensaio.

$$f_{R,j} = \frac{3F_j l}{2bh_{sp}^2} \quad (\text{Equação 01})$$

$$f_{ct,L}^f = \frac{3F_L l}{2bh_{sp}^2} \quad (\text{Equação 02})$$

Sendo: $f_{R,j}$: resistência residual correspondente à abertura de fissura j ; F_j : carga correspondente à abertura de fissura; l : vão de ensaio; b : largura do corpo de prova; h_{sp} : distância entre o topo do entalhe e a face superior do corpo de prova; $f_{ct,L}^f$: limite de proporcionalidade; F_L : carga máxima dentro do intervalo de abertura de fissura entre 0 e 0,05 mm.

Ainda de acordo com Di Prisco *et al.* (2009), em conformidade com o *fib* Model Code 2010 (2013), para garantir o bom desempenho do compósito em elementos estruturais, as fibras podem substituir as barras ou as telas metálicas, total ou parcialmente, se as Equações 3 e 4 forem satisfeitas, caso contrário, o teor ou o tipo de fibras não está adequado para o tipo de aplicação analisada.

$$\frac{f_{R1k}}{f_{Lk}} \geq 0,4 \quad (\text{Equação 03})$$

$$\frac{f_{R3k}}{f_{R1k}} \geq 0,5 \quad (\text{Equação 04})$$

Em que: f_{R1k} : resistência residual do estado limite de serviço; f_{R3k} : resistência residual do estado limite último; f_{Lk} : limite de proporcionalidade.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaio no estado fresco

Como já mencionado, o CRFA foi caracterizado no estado fresco por meio do ensaio de espalhamento para analisar a trabalhabilidade da mistura, a partir da NBR 15823-2 (2017), onde verificou-se o tempo que o concreto escoou até chegar na segunda marcação da placa base (t500) e o diâmetro de espalhamento final (D_{final}) da mistura. Foram realizados dois dias de produção e esses resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados do ensaio no estado fresco – CRFA.

Parâmetro	Produção 1	Produção 2
Espalhamento (mm)	700	745
Tempo de escoamento (s)	4,0	3,2

Fonte: Os Autores, 2020.

A partir dos resultados expostos na Tabela 2, percebe-se que ambos os concretos se encontram dentro do intervalo recomendado pela literatura para concreto fluido, apresentando diâmetro final entre 650 e 850 mm e tempo para atingir o diâmetro de espalhamento de 50 cm (t500) entre 3 e 7 segundos. Diante disso, nota-se que a adição das fibras em um teor volumétrico de 0,40% não afetou de maneira significativa a fluidez da mistura, visto que os resultados se enquadram nos intervalos recomendados, como também evidenciado no trabalho de Melo (2018).

Assim como ocorreu para o CRFA, o CRFP também foi caracterizado no estado fresco por meio do ensaio de espalhamento para analisar a trabalhabilidade da mistura, onde verificou-se o tempo que o concreto escoou até chegar na segunda marcação da placa base (t500) e o diâmetro de espalhamento final (D_{final}). Também foram realizados dois dias de produção e esses resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Resultados do ensaio no estado fresco – CRFP.

Parâmetro	Produção 1	Produção 2
Espalhamento (mm)	715	710
Tempo de escoamento (s)	4,5	4,4

Fonte: Os Autores, 2020.

A partir dos resultados expostos na Tabela 3, percebe-se que ambos os concretos se encontram dentro do intervalo recomendado pela literatura para concreto fluido, apresentando diâmetro final entre 650 e 850 mm e tempo para atingir o diâmetro de espalhamento de 50 cm (T_{500}) entre 3 e 7 segundos. Diante disso, nota-se que a adição das fibras em um teor volumétrico de 1,00% não afetou a fluidez da mistura, visto que os resultados se enquadram nos intervalos recomendados, como também evidenciado no trabalho de Dias *et al.* (2019).

3.2 Ensaio da norma EN 14651 (2007)

Após os ensaios, para as oito vigas de CRFA ensaiadas, foram calculados os limites de proporcionalidade e as resistências residuais em 0,50 mm e 2,5 mm de abertura de fissura (estado limite de serviço e estado limite último), utilizando as Equações 1 e 2, respectivamente. Depois disso, verificou-se as relações f_{R1}/f_L e f_{R3}/f_{R1} a fim de analisar se o teor ou o tipo de fibras está adequado para o tipo de aplicação analisada. Os resultados referentes a essas análises estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados do CRFA obtidos com as curvas carga *versus* abertura de fissura.

Identificação da amostra	f_L (MPa)	f_{R1} (MPa)	f_{R3} (MPa)	$\frac{f_{R1}}{f_L}$	$\frac{f_{R3}}{f_{R1}}$
V1	2,08	2,19	1,65	1,05	0,76
V2	2,62	2,72	2,29	1,04	0,84
V3	2,72	2,77	2,24	1,02	0,81
V4	2,72	2,77	2,24	1,02	0,81
V5	3,52	3,79	3,36	1,08	0,89
V6	2,03	2,08	1,60	1,03	0,77
V7	2,02	2,13	1,56	1,06	0,73
V8	2,05	2,19	1,65	1,07	0,76
Média	2,47	2,58	2,08	1,04	0,80
Desvio padrão	0,53	0,58	0,61	0,02	0,06
Variância	0,2900	0,3300	0,3800	0,0005	0,0027
Coeficiente de variação (%)	21,50	22,28	29,41	2,17	6,51

Fonte: Os Autores, 2020.

Como pode-se observar a partir da Tabela 4, nota-se que para todas as amostras ensaiadas, as relações f_{R1}/f_L e f_{R3}/f_{R1} são superiores a 0,4 e 0,5, respectivamente, como exigido por meio das Equações 3 e 4. Isso mostra que, de acordo com o *fib* Model Code 2010 (2013), a utilização de fibras de aço incorporadas ao concreto em uma fração volumétrica de 0,40% atende aos critérios exigidos de projeto, onde isso permite a substituição parcial ou total da armadura de flexão para esses níveis de solicitação.

Assim como realizado para as vigas com fibras de aço, para as vigas com fibras poliméricas também foram ensaiadas oito vigas. Após os ensaios, também foram calculados os limites de proporcionalidade e as resistências residuais em 0,50 mm e 2,5 mm de abertura de fissura (estado limite de serviço e estado limite último), utilizando as Equações 1 e 2, respectivamente. Depois disso, também verificou-se as relações f_{R1}/f_L e f_{R3}/f_{R1} e os resultados referentes a essas análises estão dispostos na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados do CRFP obtidos com as curvas carga *versus* abertura de fissura.

Identificação da amostra	f_L (MPa)	f_{R1} (MPa)	f_{R3} (MPa)	$\frac{f_{R1}}{f_L}$	$\frac{f_{R3}}{f_{R1}}$
V1	2,14	2,20	1,97	1,03	0,90
V2	2,20	2,13	1,39	0,97	0,65

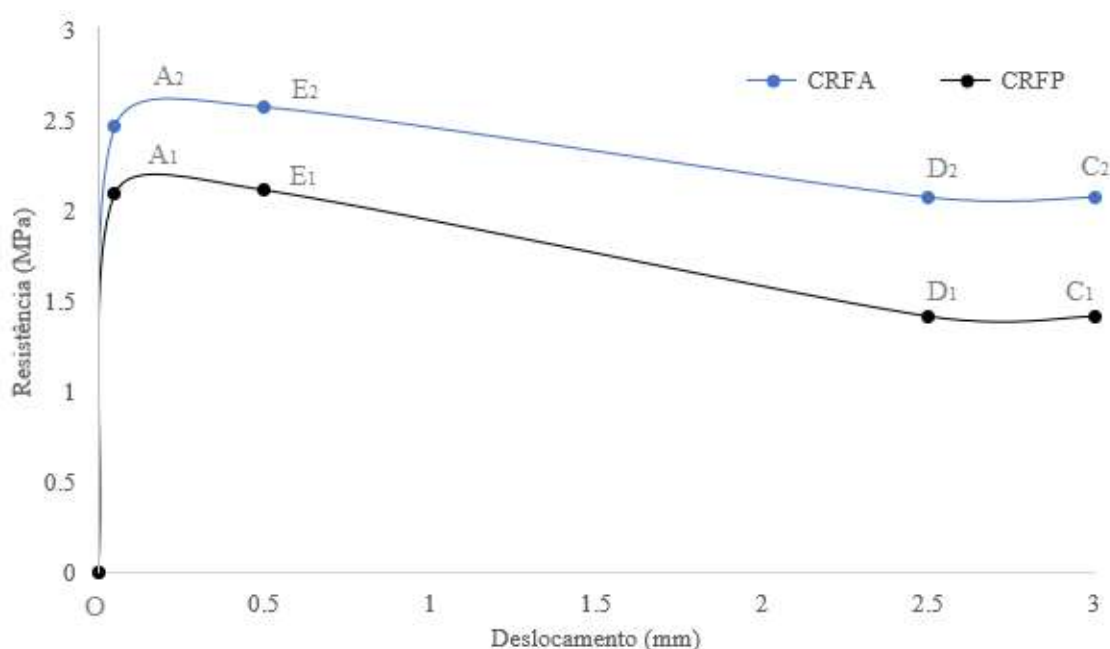
V3	2,16	2,13	1,39	0,99	0,65
V4	2,02	1,92	1,23	0,95	0,64
V5	2,09	2,20	1,18	1,06	0,54
V6	2,06	2,08	1,17	1,01	0,56
V7	2,09	2,13	1,56	1,02	0,73
V8	2,05	2,20	1,49	1,08	0,68
Média	2,10	2,12	1,42	1,01	0,67
Desvio padrão	0,06	0,09	0,27	0,04	0,11
Variância	0,0037	0,0088	0,0693	0,0020	0,0124
Coeficiente de variação (%)	2,90	4,40	18,50	4,31	16,70

Fonte: Os Autores, 2020.

Como pode-se observar a partir da Tabela 5, nota-se também que para todas as amostras ensaiadas, as relações f_{R1}/f_L e f_{R3}/f_{R1} são superiores a 0,4 e 0,5, respectivamente, como exigido por meio das Equações 3 e 4. Isso mostra que, de acordo com o *fib* Model Code 2010 (2013), a utilização de fibras poliméricas incorporadas ao concreto em uma fração volumétrica de 1,00% atende aos critérios exigidos de projeto, onde isso permite a substituição parcial ou total da armadura de flexão para esses níveis de solicitação.

Ainda, fazendo uma analogia entre os dados de resistência do ensaio de CRFP com os dados de resistência do CRFA, verifica-se que, apesar das diferenças encontradas pelos dois tipos de compósitos, há uma semelhança no comportamento de alguns parâmetros, como por exemplo no limite de proporcionalidade (f_L). Sendo assim, e sabendo que as principais propriedades que caracterizam o estágio de pós-fissuração são a resistência residual e a tenacidade do compósito, fez-se uma análise referente a esses parâmetros, em que esse estudo está retratado nas Figuras 4 e 5, respectivamente.

Figura 4: Resistência residual – analogia com o estudo de Oehlers *et al.* (2010).

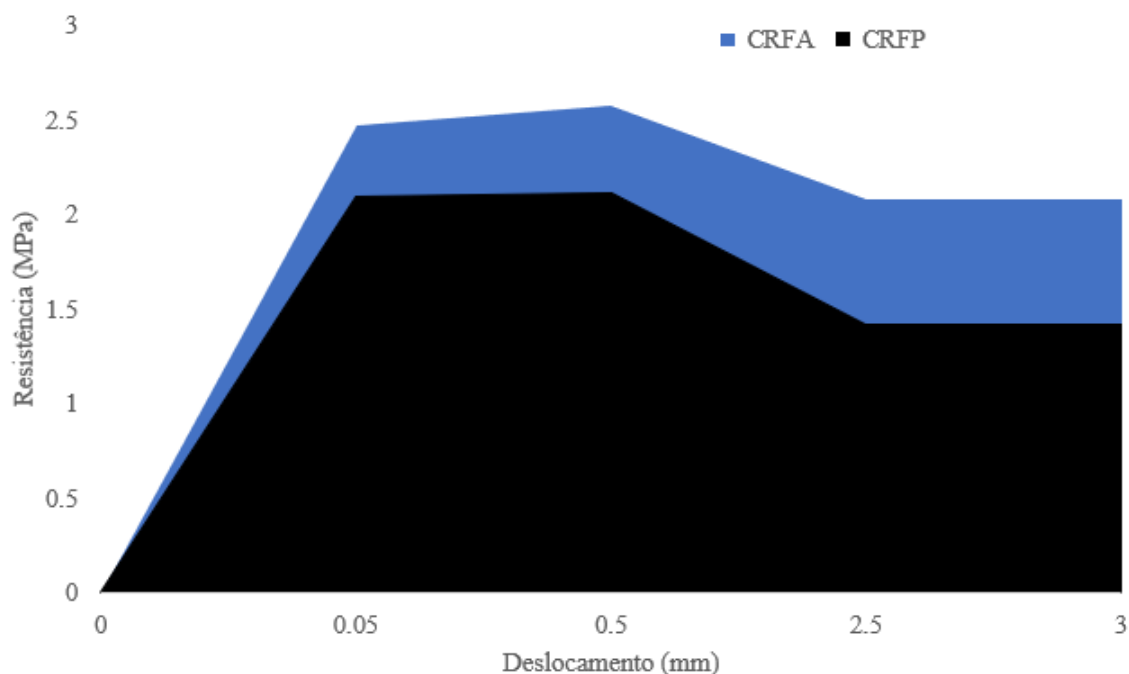


Fonte: Os Autores, 2020.

Ao que refere-se a resistência residual, a partir da Figura 4, e tomando como exemplo a curva O – A1 – E1 – D1 – C1, ao chegar no ponto A1, há um pico de tensão, onde ocorre o amolecimento do concreto, sendo este esmagado. Após o pico A1, a tensão vai diminuindo e depois acontece a fratura do CRFP no ponto E1 e, neste ponto, a resistência residual corresponde a abertura de fissura de 0,5 mm. Depois disso, a tensão continua reduzindo e do ponto E1 a D1 é indicado o plano de falha, até ser determinada a resistência residual correspondente a abertura de fissura de 2,5 mm, que é onde a força se estabiliza. A partir do ponto D1, a força é estabilizada e isto pode ser observado na curva de D1 a C1. Essa análise foi realizada para o CRFP e o mesmo comportamento pode ser verificado para o CRFA.

Como pode-se observar, a resistência residual corresponde ao valor de carga resistida pelo compósito para deslocamentos específicos, onde as curvas mostradas na Figura 4 foram provenientes dos dados dispostos nas Tabelas 4 e 5, que ilustram o comportamento dos dois concretos estudados. Ainda, fazendo uma analogia entre as curvas correspondentes ao CRFP (curva preta) e CRFA (curva azul), pode-se verificar também que os concretos produzidos com fibras poliméricas apresentam um desempenho mecânico inferior em relação aos concretos confeccionados com fibras de aço, uma vez que percebe-se visivelmente valores menores de resistência em relação aos mesmos deslocamentos analisados.

Figura 5: Determinação da tenacidade – analogia com o estudo de Figueiredo e Helene (1997).



Fonte: Os Autores, 2020.

Ao que está relacionado a tenacidade, em observação da Figura 5, e em conformidade com Figueiredo e Helene (1997), a tenacidade pode ser obtida a partir da área sob a curva carga-deslocamento por meio de ensaios de flexão. Ainda em análise da Figura 5, percebe-se que o CRFA apresenta uma área sob a curva maior que a do CRFP, o que indica que esse compósito apresenta uma maior tenacidade e, conseqüentemente, denota uma maior capacidade de energia absorvida pelo concreto ao ser carregado, o que promove uma maior resistência ao compósito (VASSANELI *et al.*, 2012).

Ainda, a partir da Figura 5, percebe-se visivelmente que o CRFA apresenta uma maior capacidade resistiva, se comparado com o CRFP, o que mostra também que os concretos confeccionados com fibras de aço apresentam valores maiores de resistência. Sendo assim, percebe-se visualmente que o CRFA apresenta uma maior capacidade resistiva, se comparado com o CRFP, o que mostra também que os concretos confeccionados com fibras de aço apresentam valores maiores de resistência.

4 CONCLUSÕES

De acordo com a investigação feita, percebeu-se que, para todas as amostras ensaiadas, as relações f_{R1}/f_L e f_{R3}/f_{R1} foram superiores a 0,4 e 0,5, como exigido pelo *fib* Model Code 2010 (2013). Isso significa que, tanto a utilização de fibras de aço incorporadas ao concreto em uma fração volumétrica de 0,40% quanto o emprego de fibras poliméricas em uma fração volumétrica de 1,00%, atendem aos critérios exigidos pela normatização referenciada, onde isso permite a substituição parcial ou total da armadura de flexão para os níveis de solicitação analisados. De modo geral, ao comparar o CRFA com o CRFP, observou-se que o primeiro apresentou valores superiores correspondentes as relações mencionadas nesse parágrafo.

A fim de investigar esse indicativo, fez-se uma análise dos principais aspectos que caracterizam o estado pós-fissuração do CRF. Ao que se refere a tenacidade, verificou-se que o CRFA apresentou uma área sob a curva maior que a do CRFP, o que indicou que esse compósito apresenta uma maior tenacidade e, conseqüentemente, denota uma maior capacidade de energia absorvida pelo concreto ao ser carregado. Ao que está relacionado com a resistência residual, o CRFA apresentou resistências maiores para os deslocamentos específicos que devem ser analisados, o que também justifica o indicativo investigado.

Sendo assim, pode-se dizer que o presente trabalho alcançou as metas sugeridas inicialmente, onde foi avaliado o comportamento referente à tenacidade e resistência residual em uma amostra de concreto reforçado com fibras de aço (CRFA) e outra amostragem de concreto reforçado com fibras poliméricas (CRFP), onde os resultados mostraram que o CRFA apresenta valores superiores de tenacidade e resistência residual e, conseqüentemente, denota um melhor desempenho mecânico.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15823-2: Concreto autoadensável. Parte 2 – Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual – Método do cone de Abrams.** Rio de Janeiro, 2017.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fiber reinforced cementitious composites.** London and New York: Modern Concrete Technology Series, 2 ed. 2007.

DIAS, G. S.; OLIVEIRA, K. C. S.; SILVA, W. B. A. M.; SOUZA, D. A. S.; MELO, A. H. V.; BARBOZA, A. S. R. B. **Estudo experimental do comportamento de resistência a flexão em elementos de concreto com dupla camada.** In: 61º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. Fortaleza, 2019.

DI PRISCO, M.; COLOMBO, M.; DOZIO, D. **Fibre-reinforced concrete in *fib* Model Code 2010: Principles, models and test validation.** Structural Concrete. 2013.

DI PRISCO, M.; PLIZZARI, G.; VANDEWALLE, L. **Fibre reinforced concrete: new design perspectives.** Materials and Structures. 2009.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 14651**: Test method for metallic fiber-reinforced concrete – Measuring the flexural tensile strength (limit of proportionality (LOP), residual), CEN, London. 2007.

FÉDÉRATION INTERNATIONALE DU BÉTON – FIB. **fib model code for concrete structures 2010**. Switzerland, 2013.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. Tese (Livre docência). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2011.

FIGUEIREDO, A. D.; HELENE, P. R. L. **Controle da tenacidade do concreto com fibras de aço**. In: 39ª Reunião do IBRACON – Instituto Brasileiro do Concreto, São Paulo. 1997.

GOMES, P. C. C.; GETTU, R.; AGULLÓ, L. **Uma nova metodologia para obtenção de concreto autoadensável de alta resistência com aditivos minerais**. In: V simpósio EPUSP sobre estruturas de concreto. São Paulo, 2003.

HANNANT, L. **Fiber-reinforced cements and concretes**. 2. Ed. London, 1994.

JANSSON, A. **Effects of steel fibres on cracking in reinforced concrete**. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of technology. Gothenburg, Sweden, 2011.

LIAO, LIN; DE LA FUENTE, A.; CAVALARO, S.; AGUADO, A. **Complementary use of inductive test and bedding test for the characterization of SFRC**. 2014.

LOPES, M. M. **Substituição parcial de armaduras de flexão em vigas de concreto**. Programa de Pós-Graduação de Engenharia - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. IBRACON, São Paulo, 2014.

MELO, A. H. V. **Análise experimental da influência do fluxo de lançamento na orientação das fibras em elementos planos de concreto autoadensável reforçado com fibras de aço**. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2018.

NAAMAN, A. E. Fiber reinforcements for concrete: looking back, looking ahead. In: **RILEM Proceedings. PRO 15**, RILEM Publications SARL, 2003.

NUNES, N. L. **Contribuição para a aplicação do concreto reforçado com fibras de aço em elementos de superfície restringidos**. Universidade de São Paulo - Escola Politécnica: São Paulo, 2006.

OEHLERS, D. J.; ALI, M. S. M.; GRIFFITH, M. C.; HASKETT, M.; LUCAS, W. **A generic unified reinforced concrete model**. Structures and Buildings. 2010.

SUBRAMANIAM, V. L.; GALI, S. **Evaluation of crack propagation and post-cracking hinge-type behavior in the flexural response of steel fiber reinforced concrete**. International Journal of Concrete Structures and Materials, 2017.

VASSANELI, E.; MICELLI, F.; AIELLO, M. PLIZZARI, G. **Crack width prediction of FRC beams in short and long term bending condition**. Materials and Structures. 2012.