

Caracterização do comportamento mecânico das barras de GFRP e BFRP

Isabela Oliveira Duarte
Sistemas de Infraestrutura Urbana
Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Campinas, Brasil
isabela.od1@puccampinas.edu.br

Jakeline Dutra dos Santos
Sistemas de Infraestrutura Urbana
Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Campinas, Brasil
jakeline.ds1@puccampinas.edu.br

Michele Miwa Fugiyama
Sistemas de Infraestrutura Urbana
Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Campinas, Brasil
michele.mf1@puccampinas.edu.br

Nádia Cazarim da Silva Forti
Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Campinas, Brasil
nadia.cazarim@puc-campinas.edu.br

Abstract—A utilização de barras de polímeros reforçados com fibras é uma técnica que vem sendo estudada a fim de promover maior durabilidade às estruturas de concreto armado. Além de possuírem maior resistência à ambientes agressivos, por não sofrerem corrosão, promovendo maior vida útil às estruturas que os empregam, como também a diminuição de gastos com manutenção e consequentemente menor geração de resíduos. Diversos países ao redor do mundo já possuem normas de dimensionamento de estruturas de concreto com armadura não metálica, que proporcionam maior aplicação dessa técnica em suas construções. No Brasil, a normatização desse material em estruturas de concreto ainda está em desenvolvimento, o que intensifica a necessidade de novos estudos sobre as barras de polímero reforçado com fibra. Deste modo, o objetivo deste trabalho é caracterizar o comportamento mecânico das barras de polímeros reforçados com fibra de basalto e fibra de vidro (BFRP e GFRP, respectivamente), por meio dos ensaios de resistência à tração, módulo de elasticidade e ensaio de arrancamento. Os ensaios de resistência à tração e módulo de elasticidade foram realizados com base na norma ASTM D7205/D7205M-06 (2016), enquanto o ensaio de arrancamento teve como base a norma ASTM D7913/D7913M-14 (2020). Os resultados mostraram que o aumento do diâmetro das barras de BFRP não influenciou na resistência à tração, nem mesmo no módulo de elasticidade das barras. As barras de GFRP apresentaram queda na resistência à tração e no módulo de elasticidade à medida que o diâmetro das barras aumentou. Quanto ao ensaio de arrancamento, foi realizada a comparação da aderência do concreto com as barras de FRP e de aço. As barras de GFRP apresentaram uma diferença máxima de tensão de aderência de 30,26% em comparação às barras de aço. A diferença máxima obtida entre os resultados de tensão de aderência foi de 25,53% da barra de aço em relação à barra de BFRP. Todas as barras de GFRP e BFRP analisadas apresentaram tensão de aderência superior a 12 MPa, recomendado pela norma GOST 31938 (2012).

Keywords— Barras GFRP. Barras BFRP. Caracterização. Comportamento mecânico.

I. INTRODUÇÃO

Em estruturas de concreto armado, a corrosão é uma das principais causas de degradação e representa um grande custo em manutenção e reparos. Polímeros reforçados com fibra (FRP) são materiais não metálicos compostos de fibras e resina, que podem ser utilizados como elemento de reforço como uma alternativa, não corrosiva, ao aço convencional [1, 2].

Os materiais de FRP comumente utilizados na construção civil são GFRP (polímero reforçado com fibra de vidro), CFRP (polímero reforçado com fibra de carbono), AFRP (polímero reforçado com fibra de aramida) e, mais recentemente, BFRP (polímero reforçado com fibra de basalto) e apresentam como propriedades alta resistência à tração, baixo peso e resistência à corrosão [3, 4].

Segundo Fahmy et al. (2021) [5], é necessário um bom entendimento a respeito do comportamento da aderência do FRP ao concreto, visto que o comportamento das estruturas de concreto armado depende da ligação entre a armadura e o concreto que o circunda. Ensaio de arrancamento são utilizados para mensurar o desempenho da aderência das barras ao concreto.

De acordo com a literatura, alguns fatores podem influenciar na aderência entre a armadura e o concreto, como o diâmetro, as propriedades mecânicas e a conformação superficial da barra, e também, a resistência à compressão do concreto.

Muitos estudos foram realizados para investigar a aderência do FRP ao concreto. Henin et al. (2019) [6] analisaram o efeito de duas condições de superfície (revestimento primário e secundário de areia) e concluiu que a tensão de aderência das barras de BFRP é altamente dependente da condição da superfície. As barras de BFRP com revestimento secundário de areia apresentaram tensão de aderência 80% maior que as barras com revestimento primário de areia.

Lu et al. (2021) [7] analisaram a aderência de barras de GFRP revestidas com areia e nervuradas quando inseridas em concreto

de alta resistência. Os resultados experimentais mostraram que as barras revestidas com areia exibiram melhor aderência com o concreto do que as barras de superfície nervuradas. Além disso, verificou-se que o aumento do diâmetro da barra foi acompanhado por uma diminuição da tensão de aderência.

Wei et al. (2019) [8] estudaram a influência do diâmetro de barras de BFRP, o tipo de barra (BFRP, CFRP e GFRP) e o tratamento da superfície na aderência do BFRP com o concreto. Analisando a influência do diâmetro, observou-se que houve um aumento na carga máxima com o aumento do diâmetro, no entanto, não houve variação da tensão de aderência. O tipo de barra de FRP tem efeito significativo na aderência, com a barra de CFRP apresentando melhores resultados de tensão. Quanto à superfície de tratamento, o mecanismo de transferência de força das barras de BFRP com revestimento de areia era controlado principalmente por fricção, enquanto o das barras de BFRP com superfície helicoidal era controlado principalmente por intertravamento mecânico.

O estudo realizado por Hua, Yin e Wang (2020) [2] avaliou a influência do comprimento de ancoragem (2,5d, 5d e 7,5d) e da superfície da barra (nervurada, lisa, lisa e revestida com areia e nervurada e revestida com areia) na aderência com o concreto. Foram analisadas barras de aço, GFRP, BFRP e CFRP. Os resultados mostraram que ao reduzir o comprimento de ancoragem e utilizar barras nervuradas revestidas com areia, houve um aumento na tensão de aderência. A mudança do comprimento de aderência de 2,5d para 5d reduziu a tensão de aderência em 49,2%, enquanto que as barras nervuradas com revestimento de areia apresentaram tensão superior de 1202,3% quando comparadas às barras lisas. Ao comparar os diferentes materiais, as barras de aço, GFRP e BFRP apresentaram tensões de aderência bastante próximas, sendo superiores às barras de CFRP. Essa diferença ocorreu devido às barras de CFRP apresentarem nervuras menos salientes.

Assim, este trabalho tem como objetivo caracterizar o comportamento mecânico das barras de BFRP e GFRP, por meio dos ensaios de resistência à tração, módulo de elasticidade e ensaio de arrancamento. O estudo da aderência entre o concreto e as barras de GFRP, BFRP e aço terá como intuito avaliar a influência do diâmetro da barra, bem como seu material constituinte.

II. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental realizado neste estudo possui duas etapas: ensaio de resistência à tração de barras de FRP e módulo de elasticidade; e ensaio de arrancamento em barras de FRP e aço.

a) Ensaio de resistência à tração

O ensaio de resistência à tração das barras de BFRP e GFRP foi realizado utilizando como referência a norma ASTM D7205/D7205M – 06 (Revisada 2016) [9]. Foram ensaiados cinco corpos de prova para cada diâmetro de barra, sendo os diâmetros: $\emptyset$ 6mm, $\emptyset$ 8mm, $\emptyset$ 10mm e $\emptyset$ 12mm. As barras ensaiadas possuem superfície nervurada, conforme apresentado na Figura 1.



Fig. 1. Barras de GFRP e BFRP.

Para a realização do ensaio de resistência à tração, é necessário calcular o diâmetro efetivo das barras de GFRP e BFRP, de acordo com a norma ASTM D7205/D7205M-06 (Revisada em 2016) [9]. Além disso, as barras devem ser ancoradas nas regiões onde serão posicionadas as garras do equipamento, como mostra a Figura 2, para que não haja esmagamento da barra nessa região, por acúmulo de tensões.

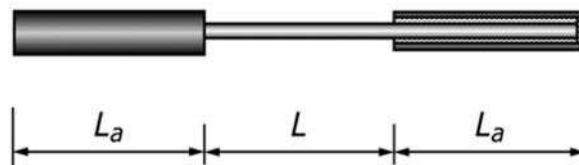


Fig. 2. Modelo de ancoragem das barras de FRP.

TABELA I. DIMENSÕES DOS CORPOS DE PROVA PARA O ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DAS BARRAS DE FRP.

Diâmetro comercial	Comprimento livre (L)	Comprimento de ancoragem (L_a)	Diâmetro do tubo schedule 40
$\emptyset$ 6mm	340 cm	250 cm	1¼pol
$\emptyset$ 8mm	420 cm	250 cm	1¼pol
$\emptyset$ 10mm	500 cm	250 cm	1¼pol
$\emptyset$ 12mm	500 cm	250 cm	1¼pol

Os tubos metálicos utilizados na ancoragem das barras são schedule 40 com 1 pol. de diâmetro externo e 25 cm de comprimento. Para o preenchimento dos tubos foi utilizada argamassa expansiva na proporção de 1500g de água para 5000 g do material pulverulento.

A Figura 3a ilustra a barra de FRP posicionada para o ensaio de tração na prensa hidráulica Emic DL30000F e, na Figura 3b, o extensômetro utilizado para medir a deformação da barra ao longo do ensaio, modelo EE-GL-10 N.203201, de base variável e deslocamento de 10 mm. O extensômetro foi retirado antes da ruptura da barra para que não fosse danificado no momento do colapso das barras. A velocidade do ensaio adotada foi de 3

mm/min, e o critério de parada foi o rompimento da barra.

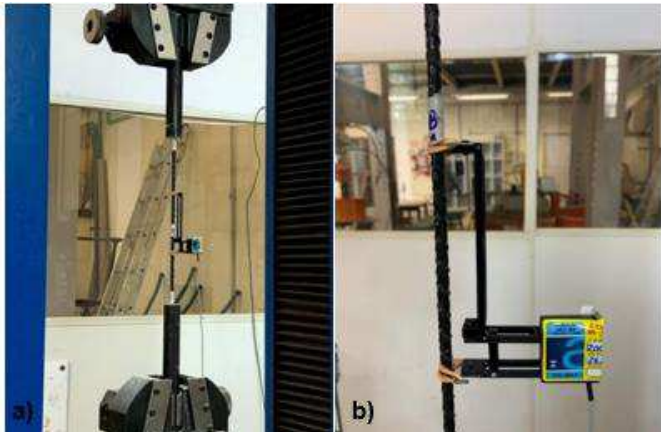


Fig. 3. (a) Ensaio de tração - Barra de GFRP e BFRP; (b) Extensômetro.

O módulo de elasticidade das barras também foi obtido por meio do ensaio de tração, como recomenda a norma ASTM D7205/D7205M – 06 (Revisada 2016) [9].

Para a validação do ensaio, a ruptura das barras deve ocorrer no comprimento livre, como mostra a Figura 4.

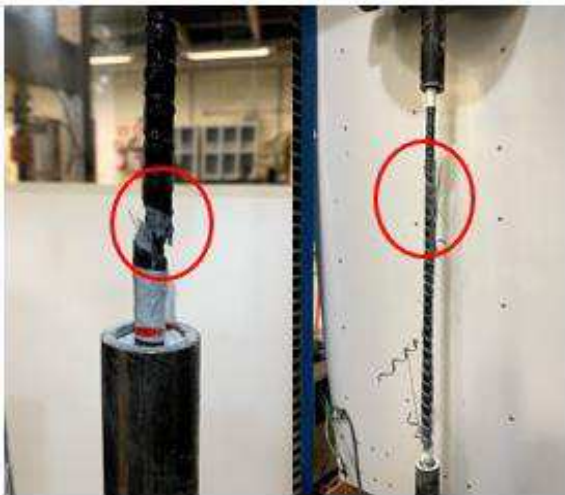


Fig. 4. Ruptura das barras de FRP.

b) Ensaio de arrancamento

Os ensaios de arrancamento seguiram as recomendações da ASTM D7913/D7913M – 14 (Revisada 2020) [10]. Foram ensaiados os diâmetros comerciais de $\varnothing$ 6 mm, $\varnothing$ 8 mm, $\varnothing$ 10 mm e $\varnothing$ 12 mm dos materiais BFRP, GFRP e aço, a fim de avaliar a influência do diâmetro e do material na aderência com o concreto. Para cada diâmetro e material, foram confeccionados cinco corpos de prova. Na Figura 5 é apresentado o modelo do corpo de prova utilizado no ensaio. Foi utilizado o mesmo comprimento adotado para as barras de BFRP, GFRP e aço. O corpo de prova de concreto possui dimensões de $200 \times 200 \times 200$ mm e o comprimento de barra ancorada ao concreto igual a $5\varnothing$.

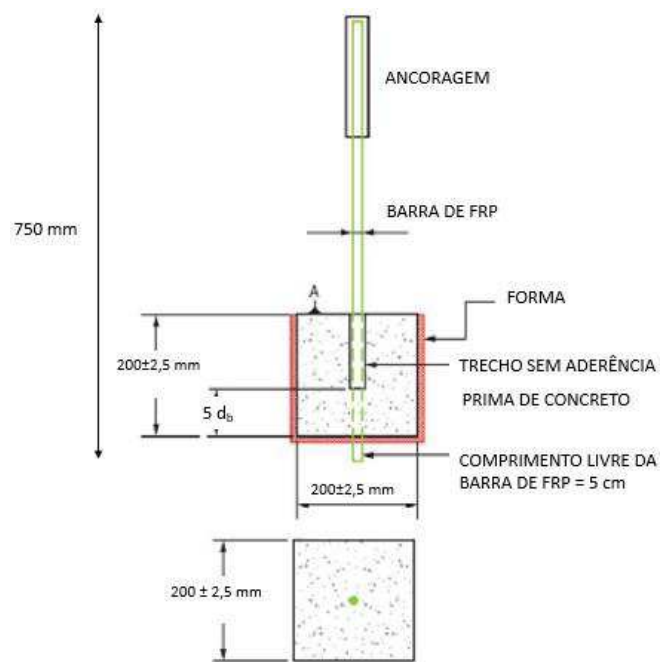


Fig. 5. Modelo do corpo de prova para o ensaio de arrancamento. Fonte: ASTM D7913/D7913M – 14 (Revisada 2020) [10].

O traço unitário em massa utilizado para o concreto foi de 1:2,02:2,5:0,5. Sua dosagem se encontra na Tabela 2 e apresenta a quantidade de material consumido para 1m^3 de concreto.

TABELA II. DOSAGEM DO CONCRETO.

Cimento (kg/m ³)	Água (kg/m ³)	Agregados (kg/m ³)		Aditivo (kg/m ³)
		Areia	Brita	
398,8	197,4	805,7	997,1	0,8

A brita utilizada neste trabalho possui dimensão máxima de 19 mm, e módulo de finura de 6,69.

A areia utilizada possui dimensão máxima característica de 4,75 mm e módulo de finura de 2,80. Deste modo, o módulo de finura do agregado miúdo está dentro da zona ótima utilizável (2,20 a 2,90), conforme a NBR 7211 (2019) [11].

A determinação da massa específica da brita foi realizada conforme a norma NBR NM 53 (2009) [12], obtendo-se o valor de $2,73 \text{ g/cm}^3$. E a determinação da massa específica da areia foi obtida segundo a norma NBR NM 52 (2009) [13], com o valor de $2,62 \text{ g/cm}^3$.

O cimento utilizado foi do tipo CPV-ARI, de massa específica $3,12 \text{ g/cm}^3$.

Para a produção do concreto foi utilizado o aditivo superplastificante baseado em policarboxilato.

Os corpos de prova foram ensaiados aos 28 dias. A Figura 6 apresenta o posicionamento do corpo de prova no equipamento de ensaio EMIC DL30000F. A velocidade do ensaio adotada

foi de 3 mm/min, e o critério de parada foi definido pela queda da carga aplicada.



Fig. 6. Posicionamento do corpo de prova para o ensaio de arrancamento.

III. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o estudo estatístico de todos os resultados obtidos foi aplicado o critério de Chauvenet para eliminar os dados espúrios e a análise de variância ANOVA para comparação de várias médias entre grupos diferentes.

a) Resistência à tração e módulo de elasticidade

O ensaio de resistência à tração das barras de GFRP e BFRP foi realizado de acordo com a norma ASTM D7205/D7205M-06 (Revisada em 2016) [9]. As barras de BFRP e GFRP foram ensaiadas até a ruptura e os resultados de resistência à tração média e módulo de elasticidade, para cada diâmetro de barras ensaiada, são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

A resistência à tração foi determinada seguindo a equação 1.

$$F_{tu} = P_{max}/A \quad (1)$$

Onde:

F_{tu} = Resistência à tração última (MPa)

A = área da seção transversal da barra (mm)

P_{max} = Carga máxima de ruptura (N)

O módulo de elasticidade foi determinado utilizando a faixa de deformação, como recomendado, entre 0,001 e 0,003. Seguindo a equação 2.

$$E = \sigma / \varepsilon \quad (2)$$

Onde:

E = Módulo de Elasticidade

σ = Relação entre a carga de tração aplicada e a área da barra.

ε = deformação da barra

TABELA III. RESULTADO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.

Material	Diâmetro efetivo (mm)	Resistência à tração (MPa)	Dev. Padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
GFRP	6,44	1033,03	46,73	4,52
	7,60	1085,67	82,14	7,57
	9,50	1218,07	18,30	1,50
	11,90	876,38	37,06	4,23
BFRP	6,50	1039,37	6,34	0,61
	7,80	1013,60	10,78	1,06
	10,10	1012,92	36,70	3,62
	11,90	1014,47	42,88	4,23

TABELA IV. RESULTADO DO ENSAIO DE MÓDULO DE ELASTICIDADE.

Material	Diâmetro efetivo (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Dev. Padrão (MPa)	Coefficiente de variação (%)
GFRP	6,44	52,08	0,80	1,54
	7,60	53,42	0,98	1,80
	9,50	60,70	1,51	2,49
	11,90	50,02	2,19	4,37
BFRP	6,50	52,18	1,46	2,80
	7,80	52,28	3,13	5,99
	10,10	52,59	1,93	3,48
	11,90	51,54	1,93	3,74

As Figuras 7 e 8 apresentam as curvas de resistência à tração versus deslocamento das barras de GFRP e BFRP, respectivamente.

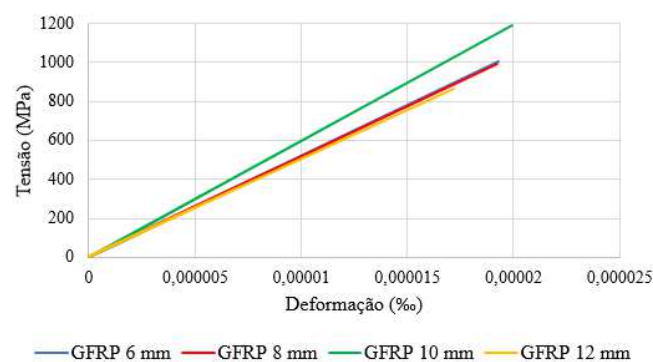


Fig. 7. Comparação entre as curvas de tensão versus deslocamento referentes ao ensaio de resistência à tração das barras de GFRP, para diferentes diâmetros.

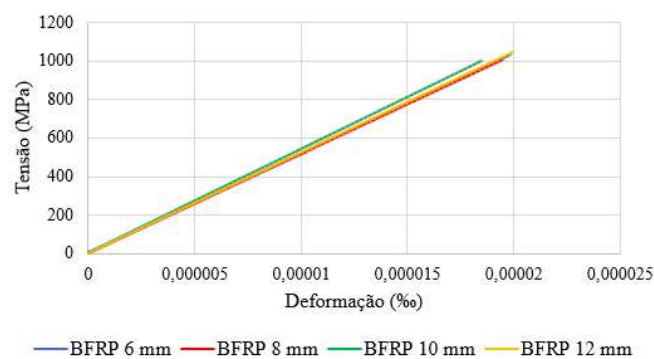


Fig. 8. Comparação entre as curvas de tensão versus deslocamento referentes ao ensaio de resistência à tração das barras de BFRP, para diferentes diâmetros.

Os resultados de resistência à tração e módulo de elasticidade obtidos para todas as barras ensaiadas são superiores aos recomendados pela norma Russa GOST 31938-2012 [14], na qual a resistência à tração mínima das barras de BFRP e GFRP deve ser de 800 MPa, e o módulo de elasticidade mínimo deve ser de 50 GPa.

As barras de 6 e 8 mm não apresentaram diferenças significativas nos valores de resistência à tração. Com exceção da barra de diâmetro de 10 mm, que apresentou maior resistência em relação às demais barras, observa-se que à medida que o diâmetro da barra aumentou, ocorreu uma queda no valor da resistência à tração das barras de GFRP. Esse resultado é atribuído ao efeito de Shear Lag, em que as fibras localizadas próximas à superfície da barra estão submetidas a maiores tensões que as fibras localizadas próximo ao centro da barra. Esse comportamento resulta na redução da eficiência e resistência das barras com diâmetros maiores [15, 4, 16, 17].

Como relação ao módulo de elasticidade, os resultados das barras de GFRP mostraram que exceto pela barra de diâmetro de 10 mm, que apresentou maior módulo em relação às demais barras, observa-se que à medida que o diâmetro da barra aumenta, ocorre uma queda no valor do módulo de elasticidade das barras de GFRP. Pôde-se concluir que o módulo de elasticidade das barras acompanhou o comportamento da resistência à tração, de modo que quanto menor a resistência à tração, menor o módulo de elasticidade.

Os resultados de resistência à tração e módulo de elasticidade das barras de BFRP, ao comparar os diferentes diâmetros, apresentaram valores próximos, sem diferenças significativas. Nos estudos de Li, Gao, Wang e Tang. (2017) [18], Abed et al. (2019) [19] e Junyan et al. (2021) [20], os resultados também não apresentam decréscimos da tensão de tração com o aumento dos diâmetros das barras. Os resultados obtidos de módulo de elasticidade estão de acordo com o que foi observado por Kocaoz et al. (2005) [21] e Benmokrane et al. (2017) [16], onde o módulo de elasticidade não é afetado significativamente pela área da seção transversal da barra, mas sim pela porcentagem de fibra contida na barra.

b) Ensaio de arrancamento em barras de FRP e aço

A tensão de aderência das barras de FRP foram obtidas por meio da equação 3.

$$\tau = F/C_b l \quad (3)$$

Onde:

τ = tensão média de aderência (MPa);

F = Força de tração (N);

C_b = Circunferência efetiva da barra (mm), onde $C_b = \pi d_b$;

l = Comprimento de aderência (mm);

Os resultados do ensaio de arrancamento são apresentados na Tabela 5.

TABELA V. RESULTADO DO ENSAIO DE ARRANCAMENTO.

Material	Diâmetro Efetivo (mm)	Resistência à compressão do concreto (MPa)	Tensão aderência média (MPa)
GFRP	6,44	40,02	21,75
	7,60	34,25	22,06
	9,50	40,02	27,86
	11,90	43,47	16,71
BFRP	6,50	34,25	23,54
	7,80	40,02	34,29
	10,10	34,25	20,77
	11,90	43,47	20,41
AÇO	6,35	37,52	30,09
	8,0	37,52	31,63
	10,0	37,52	27,89
	12,0	37,52	22,31

As barras de GFRP apresentaram uma redução máxima 30,26% na tensão de aderência quando comparada às barras de aço. Contudo, mesmo apresentando redução na tensão de aderência os resultados obtidos são superiores ao recomendado pela norma Russa GOST 31938-2012 de 12 MPa, para barras de GFRP.

No ensaio de arrancamento das barras de aço e de BFRP, comparando a tensão de aderência de mesmo diâmetro dessas barras, observa-se que a barra de aço apresenta valores superiores, com a maior diferença entre os resultados de 25,53% do aço em relação ao BFRP.

Ao comparar os diferentes diâmetros de barras de GFRP, na análise ANOVA observa-se que este parâmetro não indica diferenças significativas de tensão de aderência para os diâmetros de 6 mm, 8 mm e 12 mm. Porém, ao compará-las com o diâmetro de 10 mm, observou-se diferença significativa.

A análise dos diferentes diâmetros de barras de BFRP indicou que não houve diferença significativa de tensão de aderência para os diâmetros de 6 mm, 10 mm e 12 mm. Porém, ao compará-las com o diâmetro de 8 mm, observou-se diferença significativa.

A partir dos resultados pôde-se observar que a diminuição da tensão de aderência não ocorreu de forma proporcional ao aumento do diâmetro. Na literatura, autores como Cunha (2019) [22], Li, Gao, Wang e Tang. (2017) [18] e Shen, Shi, Zhang, Duan e Jiang (2016) [23] apontam uma diminuição na tensão de aderência à medida que o diâmetro da barra aumenta, devido ao maior acúmulo de água na superfície da barra durante a produção dos corpos de prova, diminuindo a área de contato

entre a barra e o concreto, e consequentemente, a tensão de aderência entre eles. No entanto, esse comportamento não foi observado neste estudo.

IV. CONCLUSÕES

A partir dos resultados dos ensaios de resistência à tração, módulo de elasticidade das barras de GFRP e BFRP e dos ensaios de arrancamento com as barras não metálicas e de aço, pôde-se concluir que:

- O aumento do diâmetro das barras de BFRP não influenciou na resistência à tração, nem mesmo no módulo de elasticidade. Já as barras de GFRP apresentaram queda na resistência à tração e no módulo de elasticidade à medida que o diâmetro das barras aumentou. Esse resultado apresentado pelas barras de GFRP pode ser atribuído ao efeito de shear lag, em que a distribuição não uniforme de tensões normais na seção transversal da barra resulta na redução da eficiência e resistência das barras com diâmetros maiores.
- Ao analisar os resultados do ensaio de arrancamento para as barras de GFRP e BFRP, pôde-se observar que, ao contrário do que é apresentado pela literatura, o aumento do diâmetro das barras não proporcionou queda na tensão de aderência de forma proporcional.
- As barras de GFRP apresentaram uma diferença de tensão de aderência máxima de 30,26% em comparação às barras de aço. A diferença máxima obtida entre os resultados de tensão de aderência foi de 25,53% da barra de aço em relação à barra de BFRP.
- Todas as barras de GFRP e BFRP analisadas apresentaram tensão de aderência superior a 12 MPa, recomendado pela norma GOST 31938 (2012).

V. AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Marco Antonio Carnio, pela orientação e pelo empréstimo de equipamentos para a realização dos ensaios.

À empresa Haizer Group, pelo fornecimento dos materiais para a execução da pesquisa e pela bolsa de estudos.

À Pontifícia Universidade Católica de Campinas, pela disponibilidade do laboratório e dos técnicos.

REFERÊNCIAS

- [1] ROLLAND, A. *et al.* Analytical and numerical modeling of the bond behavior between FRP reinforcing bars and concrete. *Construction and Building Materials*, v. 231, 2020.
- [2] HUA, Y.; YIN, S.; WANG, Z. Analysis of influence factors on interfacial bond between BFRP bars and seawater sea-sand concrete. *Journal of Reinforced Plastics Composites*, v. 0, p. 1 – 13, 2020.
- [3] EL REFAI, A.; ABED, F.; ALTALMAS, A. Bond durability of basalt fiber-reinforced polymer bars embedded in concrete under direct pullout conditions. *J. Compos. Constr.*, v. 19, n. 5, 2015.
- [4] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 440. 1R - 15: Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with fiber-reinforced polymer (FRP) bars. American Concrete Institute, 2015.
- [5] FAHMY, M.; AHMED, S.; WU, Z. Bar surface treatment effect on the bond-slip behavior and mechanism of basalt FRP bars embedded in concrete. *Construction and Building Materials*, v. 289, 2021.
- [6] HENIN, E.; TAWADROUS, R.; MORCOUS, G. Effect of surface condition on the bond of basalt fiber-reinforced polymer bars in concrete. *Construction and Building Materials*, v. 226, p. 449 – 458, 2019.
- [7] Lu, J., Afefy, H. M., Azimi, H., Sennah, K., & Sayed-Ahmed, M. (2021). Bond performance of sand-coated and ribbed-surface glass fiber reinforced polymer bars in high-performance concrete. *Structures*, 34(November 2019), 10–19. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.060>
- [8] WEI, W.; LIU, F.; XIONG, Z.; LI, L. Bond performance between fibre-reinforced Polymer bars and concrete under pull-out tests. *Construction and Building Materials*, v. 227, 2019.
- [9] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for tensile properties of fiber reinforced polymer matrix composite bars. ASTM D7205/D7205M-06. 2016.
- [10] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. Standard test method for bond strength of fiber reinforced polymer matrix composite bars to concrete by pullout testing. ASTM D7913/D7913M-14. 2020.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7211: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019a.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro: ABNT, 2009c.
- [13] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR NM 52: Agregado miúdo – Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2009b.
- [14] INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METHODOLOGY AND CERTIFICATION – ISC. Fibre reinforced polymer bar for concrete reinforcement. GOST 31938-2012.
- [15] GU, X., YU, B., & WU, M. Experimental study of the bond performance and mechanical response of GFRP reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, v. 114, p. 407–415, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.211>
- [16] BENMOKRANE, Brahim. Recent Developments of FRP Bars as Internal Reinforcement in Concrete Structures & Field Applications. *International Conference On Sustainable Construction Materials And Technologies*. Las Vegas, p. 1-10, 2017.
- [17] YOU et al. Tensile strength of GFRP reinforcing bars with hollow sections. *Advances in materials science and engineering*. v.2015. p.1-8. <https://doi.org/10.1155/2015/621546>
- [18] LI, C.; GAO, D.; WANG, Y.; TANG, J. Effect of high temperature on the bond performance between basalt fibre reinforced Polymer (BFRP) bars and concrete. *Construction and Building Materials* v. 141, p. 44 – 51, 2017.
- [19] ABED, F.; ALHAFIZ, R. Effect of basalt on the flexural behavior of concrete beams reinforced with BFRP bars. *Composite Structures*, v. 215, p. 23-34, 2019.
- [20] JUNYAN, D.; SHIPING, Y.; CHANGSHUN, H. Analysis of key influencing factors of the bond performance between BFRP bars and coral reef and sand concrete. *Construction and Building Materials*, v. 269, p. 121248 – 121262, 2021.
- [21] KOCAOZ, S., SAMARANAYAKE, V. A., and NANNI, A. Tensile characterization of glass FRP bars. *Compos. Part B*, v. 36, n. 2, p. 127–134, 2005.
- [22] CUNHA, R. D. Estudo da aderência de barras poliméricas reforçadas com fibras de vidro (GFRP) ao concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.
- [23] SHEN, D., SHI, X., ZHANG, H., DUAN, X., & JIANG, G. Experimental study of early-age bond behavior between high strength concrete and steel bars using a pull-out test. *Construction and Building Materials*, v. 113, p. 653–663, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.03.094>