A importância da caracterização mecânica bidirecional de telas de GFRP

GLÁUCIA M. DALFRÉ - Profª - https://orcid.org/0000-0003-3623-5103 (glaucia.dalfre@ufscar.br) ;
AMANDA D. E. MAZZÚ - Dra. - https://orcid.org/0000-0001-9383-3260 (amandadescobal@hotmail.com) — **UFSCar**

RESUMO

Este artigo investiga a evolução do uso de barras de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP) na construção civil, com ênfase nos avanços recentes relacionados ao uso de telas. Embora a aplicação dos FRP venha crescendo, as normas existentes, tanto no Brasil quanto no exterior, concentram-se predominantemente na caracterização de barras individuais, deixando lacunas importantes quanto às diretrizes para telas. Assim, foram analisadas as propriedades mecânicas das telas de GFRP, com especial atenção à resistência à tração e ao módulo de elasticidade, visando seu emprego em elementos de concreto armado. Os resultados indicaram que algumas barras apresentaram área efetiva inferior à especificada no projeto de norma utilizado à época dos ensaios, requerendo ajustes. Observou-se também uma significativa diferença nas propriedades mecânicas entre as direções das telas devido a presença de nós-ingleses, o que levou a reduções expressivas na resistência à tração, no módulo de elasticidade e na deformação final. Assim, verifica-se a necessidade urgente de normatização específica para caracterização de telas de GFRP visando garantir a segurança no projeto de estruturas em concreto armado.

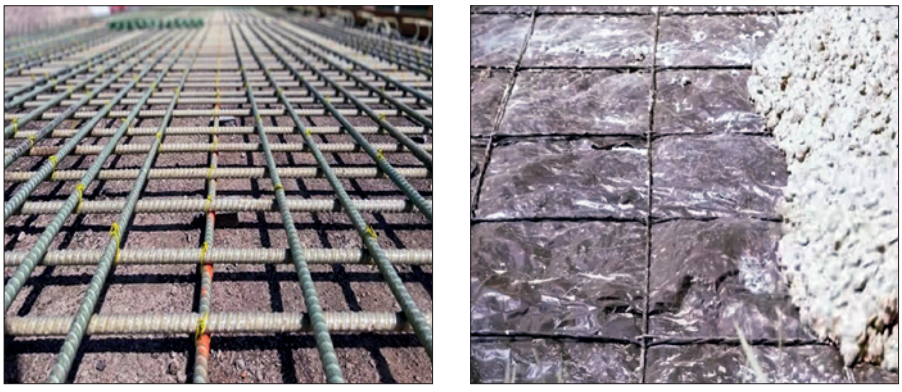
Palavras-chave: telas de GFRP, caracterização mecânica, resistência à tração, módulo de elasticidade.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de muito tempo, acreditou-se que a alcalinidade do concreto protegia as armaduras metálicas das estruturas convencionais de concreto e que, desta forma, as armaduras de aço não sofriam processos corrosivos e obtinham-se estruturas duráveis. Entretanto, quando expostas a ambientes agressivos, como ambientes industriais, marinhos, com grande variação de temperatura, umidade e nível de água, as armaduras de aço das estruturas de concreto armado, quando não obedecem à classe do concreto e o cobrimento indicados na norma NBR 6118 (ABNT, 2023), podem apresentar corrosão, mesmo com o pH da solução contida dos poros do concreto sendo alcalino, podendo levar ao desplacamento do concreto de cobrimento, colocando, assim, as armaduras de aço em exposição direta às condições de agressividade ambiental, acelerando o processo de degradação do aço (Mazzú, 2020).

Diante deste cenário e com vistas à melhoria do desempenho das estruturas, materiais alternativos começaram a ser estudados, destacando-se a utilização de polímeros reforçados com fibras (de sigla internacional FRP – *Fiber Reinforced Polymer*), materiais que apresentam elevada resistência mecânica e boa resistência a agentes de agressividade ambiental, capazes de substituir os materiais convencionais utilizados nas técnicas tradicionais de reforço estrutural e o aço utilizado como armadura em estruturas de concreto armado.

O FRP é um material compósito formado pela combinação de fibras, que são responsáveis pela resistência e rigidez, e uma matriz polimérica, responsável por unir as fibras, protegendo-as contra agentes agressivos e garantindo a transferência de tensões. A matriz polimérica normalmente é composta por resinas termoendurecíveis do tipo epóxi, podendo também serem utilizados o poliéster e a resina éster vinílica (Sawpan *et al.*, 2014). Os polímeros reforçados com fibras de carbono (CFRP),



A B

FIGURA 1
Telas (a) formadas por barras justapostas de GFRP e (b) processo automatizado
Fonte: (a) Ernest Maier (2024) e (b) Vergraf (2025)

TABELA 1
Valores mínimos das propriedades mecânicas das barras

Propriedades	Valores característicos das propriedades mecânicas para barras de GFRP
Resistência à tração (MPa)	≥ 800
Módulo de elasticidade (GPa)	≥ 45
Deformação última à tração (%)	≥ 1,1
Dimensão efetiva da seção transversal	Tabela 2

vidro (GFRP), aramida (AFRP) e basalto (BFRP) são os mais utilizados.

As barras de GFRP são geralmente produzidas pelo processo de pultrusão, o qual envolve a imersão de filamentos de fibra em resina polimérica, impregnação das fibras, remoção do excesso de resina e, em seguida, tração das fibras para obtenção do perfil desejado. Com relação às telas, estas foram inicialmente produzidas pelo posicionamento de barras de GFRP em duas direções (Figura 1a). Atualmente, as telas de GFRP são produzidas por meio de um processo contínuo e automatizado, no qual uma direção é formada por barras pré-fabricadas, enquanto a outra é composta por fibras entrelaçadas, garantindo que os elementos permaneçam conectados (Figura 1b).

TABELA 2
Diâmetros e áreas nominais das barras reforçadas com fibras

Diâmetro nominal (mm)	Área da seção nominal (mm²)	Limites de área efetiva da seção transversal (mm²)	
		Mínimo	Máximo
4	12,6	11,8	17,7
5	19,6	18,5	25,4
6	28,3	26,6	45,2
8	50,3	47,2	70,7
10	78,5	73,8	101,8
12	113,1	106,3	138,5
14	153,9	144,7	181,0
16	201,1	189,0	229,0
18	254,5	239,2	282,7
20	314,2	295,3	342,1
22	380,1	357,3	441,8
25	490,9	461,4	554,2
28	615,7	578,8	723,8
32	804,2	756,0	910,0

Obs: Tabela 1 do PN 193.001.003/1 (ABNT/CEE-193, 2024)

Assim, as telas de GFRP podem ser aplicadas em elementos de concreto armado tais como lajes, pavimentos, pavimentos rígidos, pontes, viadutos, piscinas, paredes de diafragma e túneis, principalmente quando expostas a ambientes altamente agressivos.

Muitos países, incluindo Japão, Rússia, Canadá, várias nações europeias e os Estados Unidos, já estabeleceram padrões para o projeto de estruturas reforçadas com FRP. No Brasil, o Comitê 303 do IBRACON/ABECE: Uso de Materiais Não Convencionais para Estruturas de Concreto, Fibra e Concreto Reforçado com Fibras publicou, em 2021, a Prática Recomendada do IBRACON/ABECE para Estruturas de Concreto Armado com Barras de Polímero Reforçado com Fibras (FRP). Recentemente, em fevereiro de 2025, foram publicadas as primeiras normas brasileiras sobre o uso de barras de polímero reforçado com fibras destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado, sendo doze partes vinculadas à caracterização do material e uma referente ao projeto de estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras. Entretanto, o uso de telas de FRP não foi contemplado nestes documentos.

Como existe alta demanda pelo uso de telas, é essencial obter uma compreensão abrangente de seu comportamento mecânico.

2. ESPECIFICAÇÕES MÍNIMAS DAS BARRAS DE GFRP

Segundo o Projeto de Norma (PN) 193.001.003/1 (ABNT/CEE-193, 2024), o qual foi escrito pela Comissão de Estudo (CE) 193 referente a materiais não convencionais para reforço de estruturas de concreto, foi utilizado à época dos ensaios e precedeu a publicação das Normas Brasileiras (NBR) sobre o tema, as barras de FRP devem estar em conformidade com as propriedades mecânicas mínimas apresentadas na Tabela 1, dentre outras. Além disso, para fins de definição do diâmetro nominal, as barras devem ter dimensões e áreas conforme o apresentado na Tabela 2.

Como não existem normas brasileiras ou estrangeiras sobre a caracterização de telas de FRP, os valores apresentados nas Tabelas 1 e 2 serão utilizados na avaliação das propriedades mínimas a serem atendidas pelo material utilizado nesta pesquisa.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental aqui apresentado é composto por telas bidirecionais de GFRP de dois fabricantes distintos, que foram analisadas em 2024. Assim, foram testadas telas com espaçamento entre barras de 10 cm e diâmetro de 4 mm, que eram compostas por fibra de vidro com resina de poliéster para o fabricante 1 (F1) e por fibra de vidro com resina epóxi para o fabricante 2 (F2). Segundo os fabricantes, a tensão de tração característica das telas é de 1000 MPa, com módulo de elasticidade superior a 45 GPa.

Todas as telas são formadas por barras em duas direções: na direção principal (DP), possui barras convencionais sem nós, enquanto na direção secundária (DS) é composta por barras que contêm nós. Em relação aos nós, os da F1 apresentam uma geometria em que as fibras são igualmente distribuídas ao redor da barra sem nós (50% na parte superior e inferior, Figura 2a), enquanto F2 utiliza um arranjo diferente (Figura 2b).

Para se obter um melhor entendimento do comportamento das barras que compõem as telas, realizou-se a determinação do diâmetro efetivo e área efetiva, tensão de tração e módulo de elasticidade (Equação 1).

$$[1] \quad \phi_{ef} = \sqrt{\frac{4 \cdot (m_1 - m_2)}{\pi \cdot \rho \cdot l}}$$

A área efetiva (A_{ef}) foi determinada por meio da Equação 2, na qual seu resultado deve ser expresso em milímetros quadrados (mm²).

$$[2] \quad A_{ef} = \frac{\pi \cdot \phi_{ef}^2}{4}$$

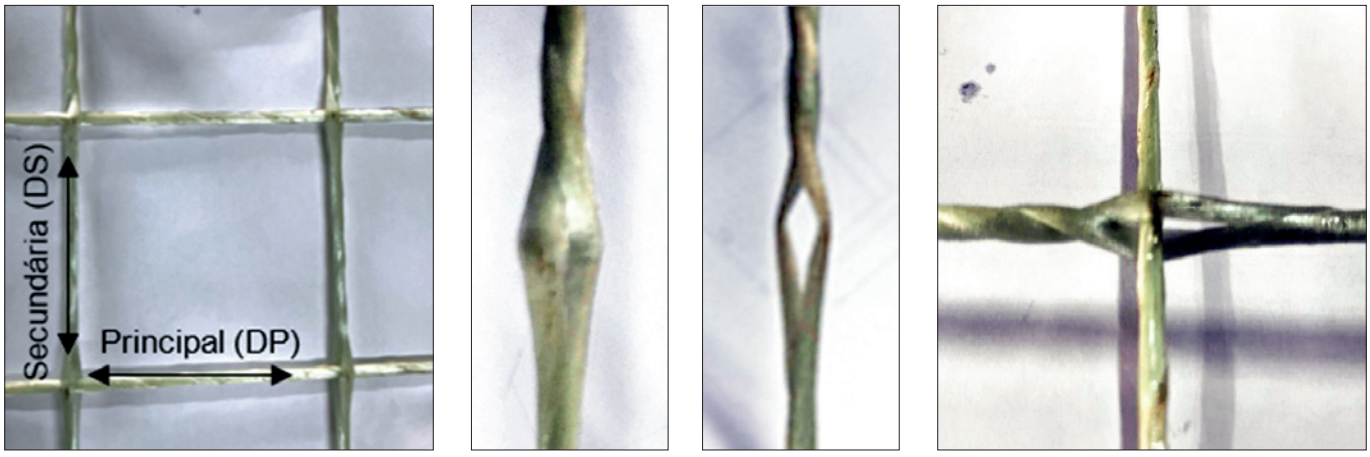


FIGURA 2
Telas dos fabricantes (a) F1 e (b) F2

3.1 Determinação do diâmetro efetivo e área efetiva

O diâmetro efetivo (ϕ_{ef}) foi determinado no Laboratório de Materiais e Componentes da Construção Civil (LMC) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) segundo o indicado no PN 193:001.000-003/2 (ABNT/CEE-193, 2024) por meio da Equação 1, onde m_1 é a massa aparente de um corpo de prova ao ar, expresso em miligramas (mg), m_2 é a massa aparente de um corpo de prova imerso em água, expresso em miligramas (mg), ρ é a densidade da água (considerada igual a 1 mg/mm^3), e l é o comprimento médio do corpo de prova, expresso em milímetros (mm). Um exemplo do ensaio para determinação do diâmetro efetivo é apresentado na Figura 3.

3.2 Determinação da tensão de tração e módulo de elasticidade

Como não existem normas brasileiras ou estrangeiras sobre a caracterização de telas de FRP, algumas recomendações apresentadas na NBR 7481 (ABNT, 1990) foram utilizadas. Segundo esta norma, os corpos de prova oriundos de telas de aço soldadas devem conter juntas soldadas, sendo estas localizadas aproximadamente no meio do comprimento e com fio ortogonal cortado, de modo que apresentem cerca de 25 mm de cada lado, conforme o apresentado na Figura 4. Assim, os corpos de prova das barras que compõem as telas de GFRP também apresentam juntas e fios ortogonais cortados.

A determinação da tensão de tração e módulo de elasticidade das barras que compõem as telas de GFRP seguiram o indicado no PN 193:001.000-003/3 (ABNT/CEE-193, 2024), o qual indica que a taxa de carregamento deve ser definida de modo a produzir falhas dentro de 1 a 10 minutos desde o início da aplicação da força. Segundo o PN, a resistência à tração (f_t) da barra é calculada dividindo-se a força máxima (F) atingida ao longo do ensaio pela área efetiva da seção transversal (A), conforme o apresentado na Equação 3. Nesta Equação, F é expressa em N e A em mm^2.

$$[3] \quad f_t = \frac{F}{A}$$

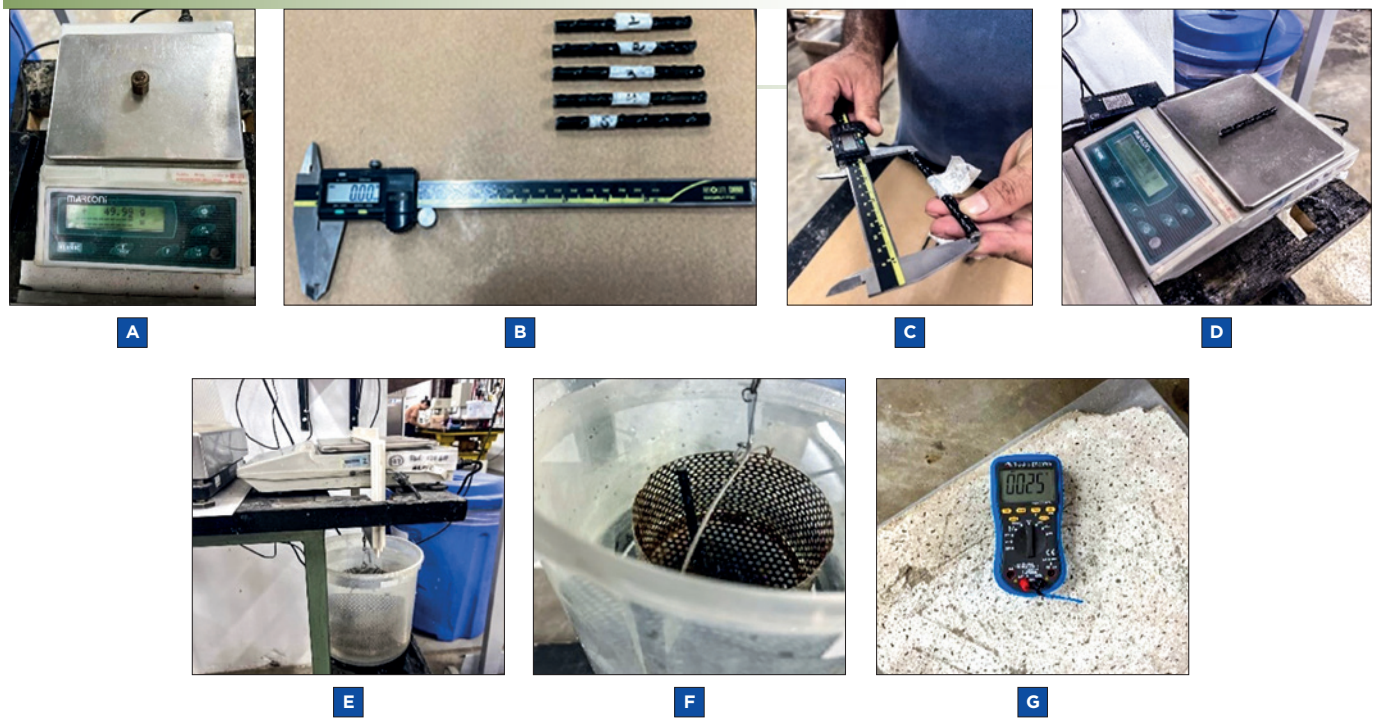


FIGURA 3

Exemplo de sistema de pesagem das amostras similar ao utilizado: (A) aferição da balança com peso-padrão, (B-C) medição dos corpos de prova, (D) pesagem das amostras das barras, (E-F) sistema de pesagem hidrostática e (G) aferição da temperatura da água

Fonte: Bueno, de Souza, Dalfré, (2024)

O módulo de elasticidade (E_f), em MPa, foi calculado com o uso da Equação 4, onde P_1 e P_2 são as forças referentes às deformações de 0,003 e 0,001, respectivamente.

$$[4] \quad E_f = \frac{(P_1 - P_2)}{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cdot A}$$

Os ensaios de tração uniaxial e determinação do módulo de elasticidade das telas de GFRP foram realizados no Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE) da UFSCar, utilizando-se uma máquina de ensaio universal da marca EMIC, modelo DL 60000, com célula de carga de capacidade máxima igual a 600 kN e resolução de leitura de 0,1 kN. A deformação das barras ao longo do ensaio foi aferida com o uso de extensômetro eletrônico removível (*clip-gauge*), da marca EMIC, com comprimento de leitura de 150 mm e faixa de medição entre 0,0001 e 2,5 mm. Exemplos de corpos de prova avaliados e dos ensaios realizados podem ser encontrados na Figura 5.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Determinação do diâmetro efetivo e da área efetiva

A Tabela 3 apresenta os diâmetros e áreas efetivas para os corpos de prova avaliados, onde *l* é o comprimento médio do corpo de prova, m_1 e m_2 são a massa nos estados seco e totalmente imerso, respectivamente, ρ_{FRP} é a densidade da barra de FRP, ϕ_{fe} e A_{ef} são o diâmetro efetivo e a área, respectivamente.

Para o F1, a barra localizada na direção principal das telas apresentou ϕ_{ef} médio de 4,66 mm, perfazendo A_{ef} média de 17,06 mm², enquanto a barra que continha o nó-inglês (direção secundária) apresentou ϕ_{ef} médio igual a 4,00 mm, perfazendo A_{ef} média de 12,55 mm². Como tais valores encontram-se dentro do intervalo 11,8 mm² ≤ área efetiva da seção transversal ≤ 17,7 mm², as barras de ambas as direções podem ser

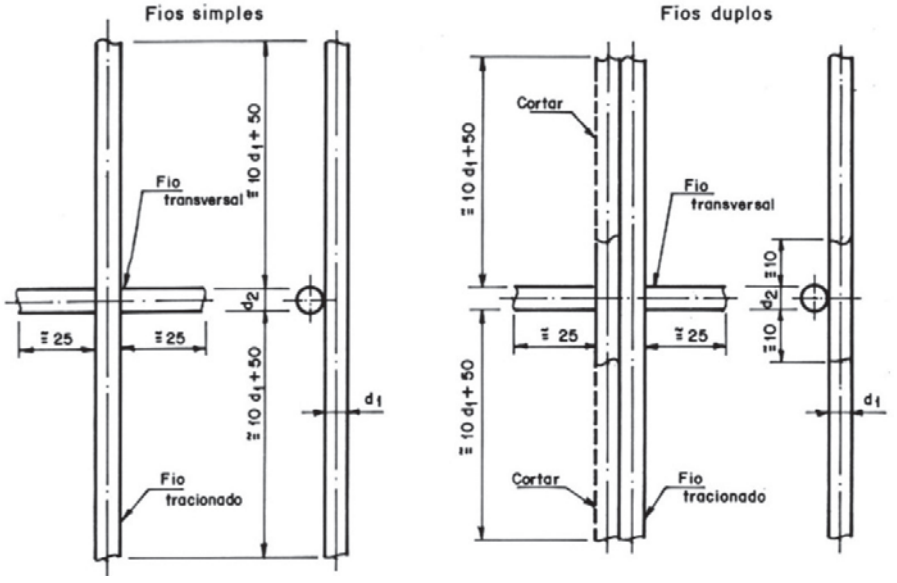


FIGURA 4

Exemplo de corpo de prova oriundo de telas de aço soldadas

Fonte: NBR 7481 (ABNT, 1990)

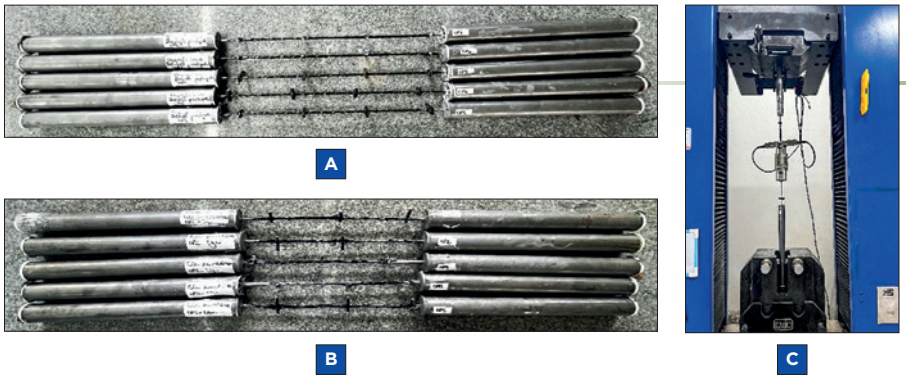


FIGURA 5
Corpos de prova retirados das telas: Barras da direção (A) principal (DP) e (B) secundária (DS), e exemplo de ensaio de tração uniaxial (C)

classificadas como apresentando diâmetro nominal de 4 mm.

Em relação à densidade, as barras com nó (DS) e sem nó (DP) apresentaram valores médios iguais a 2,24g/cm³ e 1,85g/cm³, respectivamente, indicando que a densidade da direção secundária é 21% superior à direção principal. Assim, a DP apresenta consistentemente menor densidade, mas diâmetros e áreas maiores em comparação com a DS.

Com relação às barras inicialmente identificadas como 4 mm pelo F2, as barras localizadas na direção principal das telas apresentaram ϕ_{ef} médio de 3,83 mm, perfazendo A_{ef} média de 11,50 mm², enquanto a barra que continha o nó-inglês (direção secundária) apresentou ϕ_{ef} médio igual a 3,81 mm, perfazendo A_{ef} média de 11,40 mm².

Como tais valores são ligeiramente abaixo ao limite inferior indicado pelo PN, as barras de ambas as direções não poderiam ser classificadas como apresentando diâmetro nominal de 4 mm.

Em relação à densidade, as barras com nó (DS) e sem nó (DP) apresentaram valores médios iguais a 1,91g/cm³ e 2,01g/cm³, respectivamente, indicando que a densidade da direção secundária é 5% superior a direção principal. Nesse sentido, a análise dos resultados indica que o processo produtivo precisa ser ajustado, a fim de atingir os limites mínimos da área efetiva da seção transversal.

As barras da DS que compunham as telas do F1 apresentam diâmetros ligeiramente menores que os diâmetros DP para todos os casos avaliados No entanto, as telas do F2 apresentaram variação mínima entre as direções, indicando consistência do processo produtivo.

De acordo com a ACI 440.1R (2015), as densidades típicas das barras de GFRP variam de 1,25 a 2,10 g/cm³. Portanto, os resultados obtidos neste estudo são consistentes com os apresentados pela normativa americana.

TABELA 3
Avaliação do diâmetro efetivo das barras que compõem as telas

		DS			DP		
		CP1	**CP2**	**CP3**	**CP1**	**CP2**	**CP3**
F1 – Ø 4 mm	l_1 (mm)	100,50	99,83	100,10	100,04	100,01	100,12
	l_2 (mm)	100,57	99,80	100,05	99,99	100,02	100,14
	l_3 (mm)	100,45	99,80	100,07	100,02	100,01	100,11
	l (mm)	100,51 (0,06)	99,81 (0,02)	100,07 (0,03)	100,02 (0,03)	100,01 (0,01)	100,12 (0,02)
	m_1 (g)	2,83	2,80	2,81	3,18	3,16	3,15
	m_2 (g)	1,58	1,56	1,53	1,47	1,45	1,45
	ρ_{FRP} (g/cm³)	2,26	2,26	2,20	1,86	1,85	1,85
	ϕ_{ef} (mm)	3,98	3,98	4,04	4,67	4,67	4,65
	A_{ef} (mm²)	12,44	12,42	12,79	17,10	17,10	16,98

		DS			DP		
		CP1	**CP2**	**CP3**	**CP1**	**CP2**	**CP3**
F2 – Ø 4 mm	l_1 (mm)	98,02	99,26	99,70	99,57	98,80	98,83
	l_2 (mm)	97,96	99,49	99,76	99,56	98,84	98,90
	l_3 (mm)	97,91	99,86	99,47	99,57	98,87	98,79
	l (mm)	97,96 (0,06)	99,54 (0,30)	99,64 (0,15)	99,57 (0,01)	98,84 (0,04)	98,84 (0,06)
	m_1 (g)	2,16	2,14	2,20	2,29	2,30	2,29
	m_2 (g)	1,03	1,04	1,04	1,16	1,15	1,15
	ρ_{FRP} (g/cm³)	1,91	1,95	1,89	2,03	2,00	2,00
	ϕ_{ef} (mm)	3,83	3,75	3,85	3,80	3,85	3,83
	A_{ef} (mm²)	11,53	11,05	11,64	11,35	11,64	11,53

(valor) Desvio-padrão, $\rho_{FRP} = m_1 / (l \cdot A_{ef})$

TABELA 4
Valores obtidos de acordo com o PN 193.001.003/1 (ABNT/CEE-193, 2024)

		DS				DP			
ID	**CP**	**f_t * (MPa)**	**E_f (MPa)**	**E_f (GPa)**	**ε_f** (‰)**	**f_t * (MPa)**	**E_f (MPa)**	**E_f (GPa)**	**ε_f** (‰)**
F1 4 mm	1	516,91	39224,90	39,22	13,18	1030,29	46610,93	46,61	22,10
	2	517,47	40272,48	40,27	12,85	1050,96	44476,01	44,47	23,63
	3	536,43	41159,88	41,16	13,03	1061,78	42908,31	42,91	24,75
	Média (COV)	523,60 (2,12)	40219,08 (2,41)	40,22 (2,41)	13,02 (1,27)	1047,68 (1,53)	44665,08 (4,16)	44,66 (4,16)	23,49 (5,66)
		DS				**DP**			
ID	**CP**	**f_t * (MPa)**	**E_f (MPa)**	**E_f (GPa)**	**ε_f** (‰)**	**f_t * (MPa)**	**E_f (MPa)**	**E_f (GPa)**	**ε_f** (‰)**
F2 4 mm	1	990,21	42747,62	42,75	23,16	1138,14	47927,68	47,93	23,75
	2	990,93	42746,58	42,75	23,17	1084,80	46616,69	46,62	23,27
	3	943,53	41852,48	41,85	22,54	1123,58	48353,46	48,35	23,24
	Média (COV)	978,9 (2,79)	42448,89 (1,22)	42,45 (1,22)	22,95 (1,76)	1115,51 (2,47)	47632,61 (1,90)	47,63 (1,90)	23,42 (1,13)

COV = Coeficiente de variação

4.2 Determinação da tensão de tração e módulo de elasticidade

A Tabela 4 apresenta as propriedades mecânicas das barras de GFRP, incluindo a tensão de tração uniaxial (f_t) e o módulo de elasticidade (E_f) obtidos de acordo com as recomendações da PN 193:001.000-003/3 (ABNT/CEE-193, 2024). A Figura 6 apresenta diagramas de tensão *versus* deformação médios, incluindo a estimativa de deformação final (ε_f) obtida a partir da tensão máxima registrada no teste e usando a Lei de Hooke.

Tendo em conta os resultados apresentados na Tabela 4 e comparando-os com os indicados na Tabela 1, verifica-se que os valores mínimos referentes à tensão de tração para as barras de GFRP da DP do F1 foram atendidos, entretanto, o módulo de elasticidade se apresentou 0,7% abaixo do indicado, enquanto para a DS (contendo os nós) os valores mínimos (tração e módulo) não foram atendidos. Nota-se que a presença dos nós levou a uma redução na tensão de tração, no módulo de elasticidade e na deformação de ruptura estimada de 50%, 9,9% e 44,6%, respectivamente, quando comparadas às barras da direção principal.

As barras que compõem as telas do F2 apresentaram propriedades mecânicas similares em ambas as direções (SD e MD). Tais resultados são significativos para o projeto de elementos de concreto armado, como lajes e pisos, onde o posicionamento inadequado de telas com propriedades variadas em ambas as direções pode levar a um desempenho estrutural inseguro. Para F2, verificam-se tensões de tração superiores a 800MPa, tanto a DP quanto a DS. Com relação ao módulo de elasticidade, o valor mínimo foi atingido na DP, sendo ligeiramente inferior na DS.

Com relação à deformação última à tração, todas as barras que compõem as telas analisadas apresentaram resultados superiores ao mínimo indicado no PN.

Diante do exposto, verifica-se a necessidade de caracterizar completamente as barras que compõem as telas de GFRP em ambas as direções, uma vez que sua geometria e a presença de nós-ingleses podem influenciar sua resistência à tração e módulo de elasticidade.

5. CONCLUSÕES

Este estudo exploratório avalia a evolução do uso de barras de GFRP, com foco nos avanços recentes no uso de telas, na construção civil. Embora seu uso esteja aumentando, as normas existentes, tanto no Brasil quanto no exterior, abordam principalmente a caracterização de barras de FRP, deixando uma lacuna notável nas diretrizes para telas. Assim, esta pesquisa examina as propriedades mecânicas das telas de GFRP, com foco na resistência à tração e módulo de elasticidade, para uso na confecção de elementos de concreto armado.

As principais conclusões deste trabalho são:

- A área efetiva de algumas das barras que compõem as telas apresentou valores abaixo dos especificados pelo projeto de norma utilizado à época dos ensaios, necessitando de ajustes em sua área;
- Diferenças significativas nas propriedades mecânicas foram observadas nas telas entre as duas direções. A presença de nós na direção secundária levou a reduções na tensão de tração, módulo de elasticidade e deformação final de 50%, 9,9% e 44,6%, respectivamente, em comparação com as barras na direção primária; e
- Em contraste, as telas do Fabricante 2

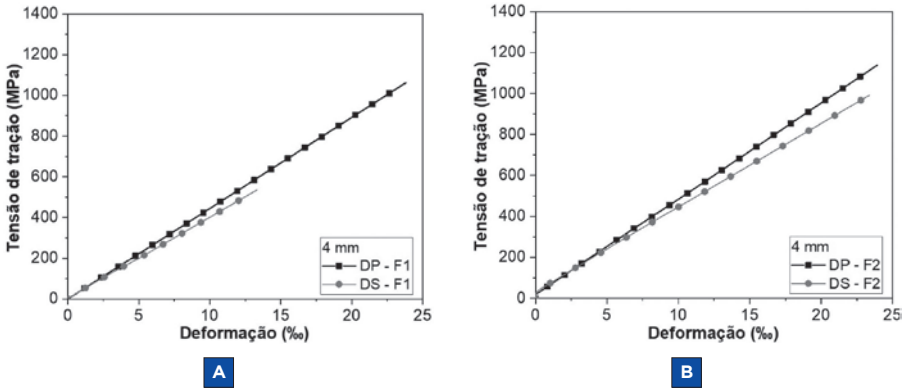


FIGURA 6
Comparação dos diagramas de tensão de tração média versus deformação para corpos de prova da DS e DP: (a) 4 mm – F1 e (b) 4 mm – F2

exibiram um comportamento mecânico mais consistente em ambas as direções.

Em conclusão, este estudo ressalta a necessidade crítica de caracterização padronizada de telas de GFRP para garantir o projeto seguro de elementos de concreto armado.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao Laboratório de Sistemas Estruturais (LSE), ao Laboratório de Materiais e Componentes da Construção Civil (LMC) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) pela realização do programa experimental apresentado neste trabalho.

▶ REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)/CEE-193. PROJETO DE NORMA: 193.001.003/1. Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado - Parte 1: Especificação e classificação. Maio, 2024.

[2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)/CEE-193. PROJETO DE NORMA: 193:001.000-003/2. Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado - Parte 2: Determinação do diâmetro efetivo. Maio, 2024.

[3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT)/CEE-193. PROJETO DE NORMA: 193:001.000-003/3. Barras de polímero reforçado com fibras (FRP) destinadas a armaduras para estruturas de concreto armado - Parte 3: Determinação da resistência à tração e do módulo de elasticidade. Maio, 2024.

[5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7481: NBR 7481. Rio de Janeiro, 1990.

[6] AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE 440.1R. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. 2015.

[7] ERNEST MAIER (2024). Disponível em: https://ernestmaier.com/. Acesso em: 01, outubro de 2024.

[8] MAZZÚ, A. D. E. Estudo sobre a substituição de armadura metálica por barras de GFRP em vigas de concreto armadas à flexão quando submetidas ao ataque acelerado de íons cloreto. 2020. 190p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2020.

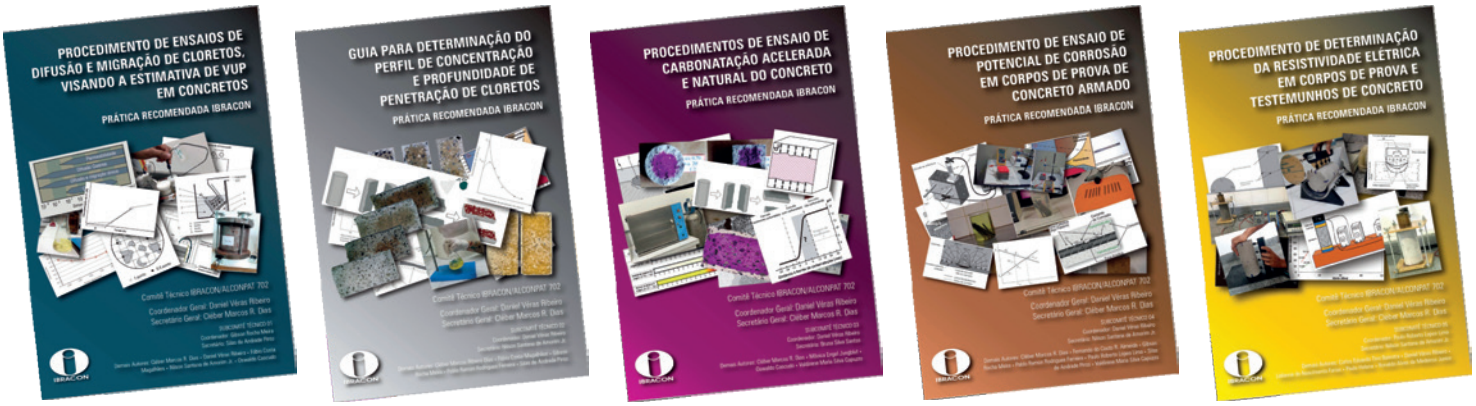
[9] SAWPAN, M.A.; MAMUN, A. A.; HOLDSWORTH, P. G. Long-term durability of pultruded polymer composite rebar in concrete environment. Materials and design, v. 57, pp. 616-624, 2014.

[10] VERGRAF (2025). Disponível em: https://vergraf.com.br/aplicacoes/. Acesso em: 26, abril de 2025.

[11] BUENO, G. M, DE SOUZA, P. H., DALFRÉ, G. M. (2024). Avaliação experimental e teórica da capacidade resistente de lajes maciças de concreto armadas com telas de GFRP com adição de grafeno. Anais do 65º Congresso Brasileiro Do Concreto (65CBC). Maceió: IBRACON.

KIT de PRÁTICAS RECOMENDADAS sobre ENSAIOS de DURABILIDADE das ESTRUTURAS de CONCRETO

O conjunto de **Práticas Recomendadas Sobre os Ensaios de Durabilidade das Estruturas de Concreto** é fruto do trabalho do **Comitê Técnico IBRACON/ALCONPAT 702 Procedimentos para Ensaios de Avaliação da Durabilidade das Estruturas de Concreto.**



PROMOÇÃO: Kit com 5 Práticas + Guia de Prevenção da Reação Álcali-Agregado **SÓCIOS:** R$ 300,00 | **NÃO SÓCIOS:** R$ 550,00

Patrocínio

GERDAU O futuro se molda · LACROSE ENGENHARIA E ENSAIOS ESPECIAIS · PENETRON · proceq · Viapol

IBRACON

Adquira o seu na Loja Virtual do IBRACON: http//lojaibracon.org.br