Revista ALCONPAT
www.revistaalconpat.org
eISSN 2007-6835
Revista de la Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción

Análise experimental do comportamento à tração do concreto reforçado com têxtil de vidro brasileiro

J. Rizzo[1]*, E. S. Bastos[2], L. A. Reginato[1], P. M. Lazzari[1], L. C. P. da Silva Filho[1]
* Autor de Contato: joirizzo@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v14i3.760

Recebido: 01/06/2024 | Correções recebidas: 02/08/2024 | Aceito: 07/08/2024 | Publicado: 01/09/2024

RESUMO

Neste estudo verificou-se o comportamento mecânico de estruturas de concreto reforçadas com uma e duas camadas do têxtil de vidro brasileiro "AR-360", através de ensaios de tração direta. A análise do comportamento mecânico das estruturas foi realizada por meio dos gráficos de tensão versus deformação, avaliando-se os pontos de transição dos estágios formados, modo de ruptura, tensão e deformação de ruptura, além também, de uma análise comparando-se resultados experimentais com analíticos. Sobre os resultados, verificou-se incapacidade estrutural das peças reforçadas com uma camada do têxtil de vidro. Já nas amostras em que se avaliou o reforço com duas camadas do referido material, identificou-se corretamente os três estágios presentes nas curvas de tensão-deformação, conforme previsto na literatura para as estruturas avaliadas.

Palavras-chave: concreto têxtil; tração direta; têxtil de vidro; comportamento mecânico.

Citar como: Rizzo, J., Bastos, E. S., Reginato, L. A., Lazzari, P. M., Silva Filho, L. C. P. da (2024), "*Análise experimental do comportamento à tração do concreto reforçado com têxtil de vidro brasileiro*", Revista ALCONPAT, 14 (3), pp. 275 – 287, DOI: https://doi.org/10.21041/ra.v14i3.760

[1] Postgraduate Program in Civil Engineering (PPGEC), Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.
[2] Postgraduate Program in Mining, Metallurgical and Materials Engineering (PPGE3M), Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

Contribuição de cada autor
Neste trabalho, a autora J. Rizzo foi responsável pela definição do tema, análise bibliográfica, metodologia, ensaios laboratoriais (80%), tratamento de dados (80%) e análise dos resultados. E. S. Bastos contribuiu com os métodos de ensaio, tratamento de dados (20%) e processo de revisão. L. A. Reginato supervisionou este trabalho (50%), realizou ensaios laboratoriais (20%) e discutiu os resultados; P. M. Lazzari e L. C. P. da Silva Filho supervisionaram e orientaram esta pesquisa em percentuais iguais.

Licença Creative Commons
Copyright (2024) é propriedade dos autores. Este trabalho é um artigo de acesso aberto publicado sob os termos e condições de uma Licença Internacional Creative Commons Atribuição 4.0 (CC BY 4.0).

Discussões e correções pós-publicação
Qualquer disputa, incluindo as respostas dos autores, será publicada na segunda edição de 2025, desde que as informações sejam recebidas antes do fechamento da primeira edição de 2025.

© 2024 ALCONPAT Internacional

Experimental analysis of the tensile behavior of concrete reinforced with Brazilian glass textile

ABSTRACT

In this study, the mechanical behavior of concrete structures reinforced with one and two layers of the Brazilian glass textile "AR-360" was verified through direct tensile tests. The analysis of the mechanical behavior of the structures was performed with stress-strain curves, evaluating the transition points of the formed stages, rupture mode, rupture stress and strain, as well as an analysis comparing experimental results with analytics. Regarding the results, there was a structural inability of the pieces reinforced with a layer of glass textile. In the samples in which reinforcement with two layers of the aforementioned material was evaluated, the three stages present in the stress-strain curves were correctly identified, as predicted in the literature for the structures evaluated.

Keywords: textile concrete; direct traction; glass textile; mechanical behavior.

Análisis experimental del comportamiento a tracción del hormigón armado con tejido de vidrio brasileño

RESUMEN

En este estudio se verificó el comportamiento mecánico de estructuras de hormigón armado con una y dos capas del tejido de vidrio brasileño "AR-360", mediante ensayos de tracción directa. El análisis del comportamiento mecánico de las estructuras se realizó mediante gráficas de tensión versus deformación, evaluando los puntos de transición de las etapas formadas, modo de ruptura, tensión y deformación de ruptura, así como un análisis comparando resultados experimentales con analítica. Respecto a los resultados se encontró una incapacidad estructural de las piezas reforzadas con una capa de tejido de vidrio. En las muestras en las que se evaluó el refuerzo con dos capas del material antes mencionado, se identificaron correctamente las tres etapas presentes en las curvas de tensión-deformación, tal como lo predice la literatura para las estructuras evaluadas.

Palabras clave: hormigón textil; tracción directa; textil de vidrio; comportamiento mecánico.

Informações legais

Revista ALCONPAT é uma publicação trimestral da Associação Latino-Americana de Controle de Qualidade, Patologia e Recuperação de Construção, Internacional, A.C., Km. 6, antiga estrada para Progreso, Merida, Yucatán, C.P. 97310, Tel.5219997385893, alconpat.int@gmail.com, Website: www.alconpat.org

Reserva de direitos de uso exclusivo No.04-2013-011717330300-203, eISSN 2007-6835, ambos concedidos pelo Instituto Nacional de Direitos Autorais. Editor responsável: Dr. Pedro Castro Borges. Responsável pela última atualização deste número, Unidade de Informática ALCONPAT, Eng. Elizabeth Sabido Maldonado.

As opiniões expressas pelos autores não refletem necessariamente a posição do editor.

A reprodução total ou parcial do conteúdo e das imagens da publicação é realizada de acordo com o código COPE e a licença CC BY 4.0 da Revista ALCONPAT.

1. INTRODUÇÃO

O concreto têxtil, ou simplesmente TRC (*Textile Reinforcede Concrete*), é formado por uma matriz cimentícia de grãos finos e tecidos têxteis que possuem elevada resistência à tração. (Hegger et. al., 2007; Spelter et. al., 2019; Adam et. al., 2020). De acordo com Kulas (2013) e Spelter et al. (2019), os tecidos mais comuns a serem utilizados junto aos têxteis são os de vidro resistentes à álcalis e os de carbono.

Como o tecido têxtil é um material polimérico, o mesmo não produz corrosão nas estruturas, o que auxilia a diminuir as manifestações patológicas das construções e aumentar significativamente a vida útil das estruturas (Spelter et. al., 2019; Adam et. al., 2020). Aliado a esta vantagem, por apresentarem elevada resistência à tração, as estruturas reforçadas com este elemento podem apresentar menor cobrimento do concreto, e consequentemente, serem mais leves, esbeltas e econômicas (Hegger and Voss, 2008).

Neste sentido, a Alemanha, que se destaca por ser a líder mundial em pesquisas sobre o concreto têxtil (Scheerer et. al., 2015), vem construindo estruturas que englobam conceitos de *design* arrojados e modernos deste material compósito, como: estruturas em formato de casca (Hegger et. al., 2018); pontes (Michler, 2013) e fachadas (Raupach and Cruz, 2016). De acordo com Brameshuber et al. (2016), a partir dos ensaios de tração direta é possível identificar com maior clareza o potencial do concreto reforçado com têxtil, através do seu comportamento mecânico. Conforme Jesse (2005), Molter (2005), Voss (2008) e Kulas (2013), o comportamento mecânico deste material pode ser explicado através do gráfico tensão *versus* deformação, sendo composto por três estágios: I, IIa e IIb.

Santis et al. (2017), identificaram pontos de transição entre os estágios que auxiliam na compreensão do comportamento do material analisado. Conforme os autores, tensão (σ_I) e deformação (ε_I) correspondem aos pontos de transição entre os estágios I e IIa. Ainda no estágio I, identifica-se o módulo de elasticidade (EI) do concreto têxtil. Entre o final do estágio IIa e início do estágio IIb, encontram-se a tensão (σ_{II}) e deformação (ε_{II}). Já no pico do gráfico, é possível identificar a tensão e deformação de ruptura, nomeadas como (f_t) e (ε_t).

No Brasil, existem poucas investigações científicas sobre o concreto têxtil. Pesquisas como de Giese (2019), Reginato (2020), Silva e Silva (2020), Dalazen (2021) e Ortolan (2021), são exemplos de estudos brasileiros sobre este material. Neste sentido, torna-se importante maiores investigações sobre o comportamento mecânico dos tecidos têxteis disponíveis no Brasil, adaptados aos insumos brasileiros que compõem o concreto, para deste modo, avançar cientificamente sobre o entendimento deste material no país.

Deste modo, esta pesquisa corresponde a uma análise do comportamento mecânico do concreto reforçado com o têxtil de vidro resistente à álcali brasileiro, da empresa *Texiglass*, denominado de "AR-360", onde através de ensaios de tração direta das amostras reforçadas com uma e duas camadas do tecido têxtil, gerou-se os gráficos de tensão *versus* deformação do material, e a partir deles, realizou-se uma análise detalhada do referido material compósito. Além disso, verificou-se também, os resultados obtidos experimentalmente com cálculos analíticos.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho consistiu na realização de três etapas, sendo elas: elaboração da matriz cimentícia; amostras reforçadas com o tecido têxtil e ensaios de tração direta. A seguir, um breve resumo de cada etapa indicada acima foi detalhado.

2.1 Elaboração da matriz cimentícia

Um desafio para a utilização do reforço têxtil junto ao concreto, é que o mesmo precisa ser fluido e autoadensável, pois assim, o concreto pode percorrer livremente entre as grades do tecido, sem

haver a necessidade de vibração. Aliado a estas características, é necessário que o concreto apresente elevadas resistências de compressão e tração, para assim, promover maior capacidade mecânica ao material compósito.

Com o objetivo de utilizar um concreto que atendesse as características acima, sem haver perdas excessivas durante testes de traço, aplicou-se a metodologia de dosagem para concretos de ultra alto desempenho (UHPC), proposta por Christ (2019). Neste método, calculou-se a curva teórica de empacotamento dos materiais, através da equação de Funk e Dinger. Após a seleção dos insumos constituintes da matriz cimentícia, utilizou-se o programa desenvolvido por Christ (2019), no *software Excel*, para comparar as curvas de empacotamento teórico e da mistura escolhida, onde por meio da iteração da quantidade dos insumos, foi possível escolher o traço com o menor índice de desvio de empacotamento (IDE), sendo o mesmo igual a 114.2.

Na Tabela 1, estão representados o traço e consumo dos materiais constituintes da matriz cimentícia desta pesquisa. Através da aplicação deste método de dosagem, foi possível produzir um concreto autoadensável, coeso, fluido, com resistência a compressão média aos 28 dias igual a 80,07 MPa e de tração média igual a 4,5 MPa. Na Figura 1, pode-se observar a fluidez deste concreto (a) e seu espalhamento (b) sem problemas de exsudação e segregação.

Tabela 1. Composição dos materiais utilizados no concreto.

Materiais	Traço Unitário	Consumo (Kg/m³)
Cimento	1	471.26
Sílica	0.24	113.1
Cinza Volante	0.76	358.16
Carbonato de Cálcio	0.71	334.59
Areia	2.05	966.08
Água/Aglomerante	0.28	263.9
Aditivo Superplastificante	3%	28.28
Aditivo Mod. Viscosidade	1%	9.43
Aditivo Desincorporador de ar	1%	9.43

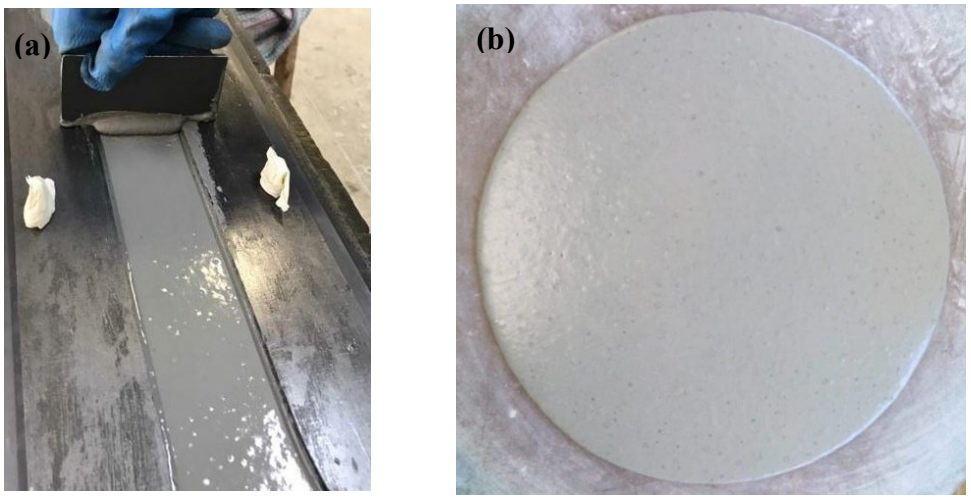

Figura 1. Aspecto do concreto (a) e espalhamento do concreto (b).

2.2 Amostras reforçadas com o têxtil de vidro "AR-360"

O têxtil de vidro selecionado para esta pesquisa é resistente à álcalis, sendo denominado de "AR-360", de 2400 *tex*, da empresa *Texiglass,* conforme demonstrado na Figura 2(a). A direção principal escolhida para fins de análise nos ensaios de tração foi a de urdume. De acordo com a caracterização

realizada por Dalazen (2021), a área da seção transversal da direção de urdume é igual a 1,80 mm², com 10 mm de distância entre as grades da malha têxtil. Conforme ensaios mecânicos realizados anteriormente (Rizzo, 2023), a tensão média do fio de fibra deste material na direção de urdume é igual a 566,72 MPa.

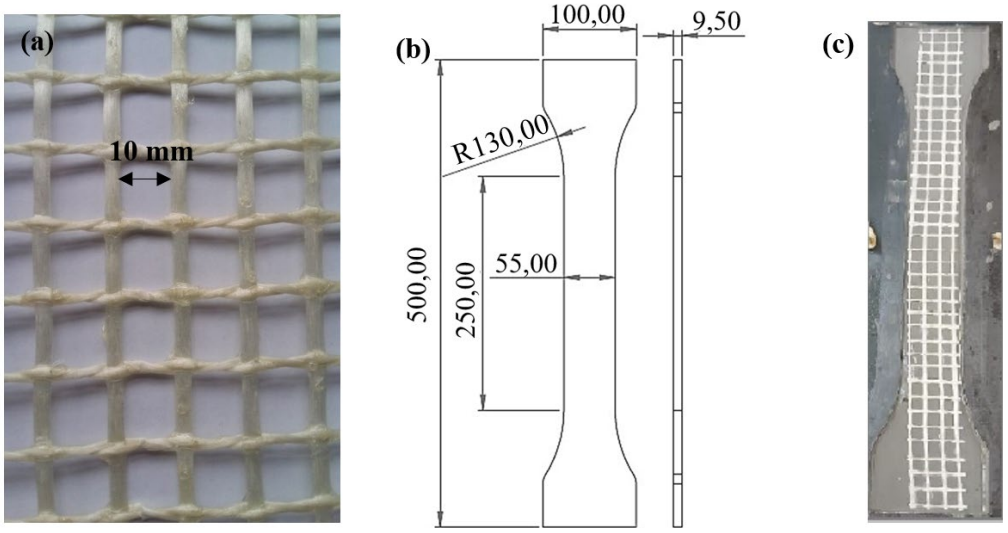

Figura 2. Têxtil de vidro (a) Dimensões da amostra (b) e Demonstração da camada têxtil na amostra (c).

2.3 Desenvolvimento de amostras com reforço

Foram analisadas sete amostras reforçadas com o tecido têxtil. As estruturas denominadas de CTV11; CTV12 e CTV13 correspondem às amostras que possuem reforço têxtil de apenas uma camada, ou 1,38% de taxa de reforço têxtil (ρ). Já as amostras CTV21; CTV22; CTV23 e CTV24, possuem duas camadas de reforço do tecido têxtil, que corresponde ao total de ρ = 2,77%. Referente à confecção das mesmas, optou-se por estruturas em formato de "osso", conforme demonstrado na Figura 2 (b).

As formas selecionadas foram construídas em aço. Sobre a confecção das amostras, realizou-se a inserção do reforço têxtil utilizando-se a técnica de laminação, conforme especificado por Brameshuber et al. (2016). Através dela, confeccionou-se as amostras por camadas, sendo primeiramente adicionada a primeira camada de concreto na forma, após, o reforço têxtil (Figura 2 (c)) e por fim, a última camada do concreto. Este procedimento foi repetido até que todas as camadas foram dispostas na forma. Vale ressaltar que a altura do concreto foi controlada através de uma régua de medição, conforme demonstrado na Figura 1 (a), onde, nas amostras com uma camada do reforço têxtil, o tecido têxtil foi disposto na metade da espessura da amostra, e no caso de duas camadas, os mesmos foram inseridos com equidistância igual a 3,16 mm.

2.4 Ensaios de tração direta

Os ensaios de tração direta foram realizados com idade de cura do concreto igual a 28 dias, em uma prensa com capacidade de 100 kN e velocidade de deslocamento igual a 1 mm/min. Um sistema de garras em aço foi projetado para que a transmissão de forças da prensa para a peça estrutural fosse feita por meio de chapas de aço, localizadas no chanfro das amostras. Neste mesmo local, foram inseridas borrachas de 1 mm de espessura para diminuir a concentração de tensões na peça.

Ainda com o objetivo de diminuir concentrações de cargas excessivas na área da garra, auxiliando, desta forma, que a ruptura ocorresse de fato na área mensurável das peças, foram dispostas duas camadas de manta de carbono, onde através da resina *sikadur*, as mesmas foram coladas nas extremidades da estrutura. Na Figura 3 (a), pode-se observar a ruptura da amostra reforçada com o

têxtil de vidro na área mensurável, além da manta de carbono situada nas extremidades da peça. A fim de verificar o deslocamento das peças, utilizou-se um LVDT com cursor de 10 mm fixado em uma das faces da amostra, conforme demonstrado na Figura 3 (b).

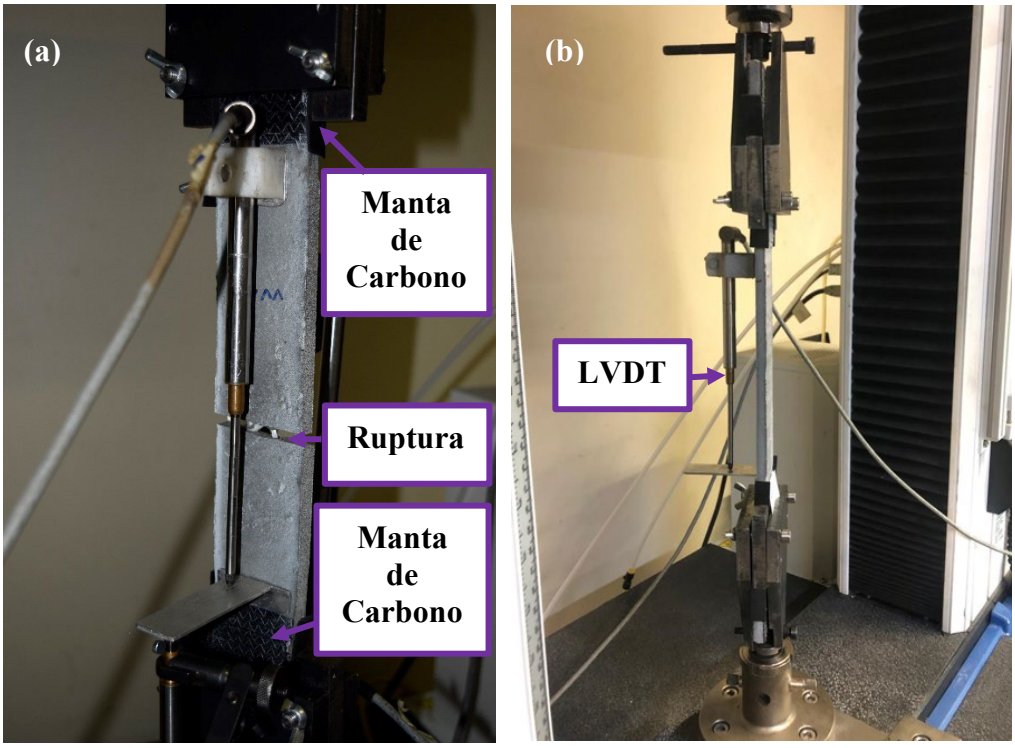

Figure 3. Ruptura da amostra na área mensurável (a) e Demonstração do sistema de garras e LVDT (b).

3. RESULTADOS

Os resultados desta pesquisa foram expressos por meios dos gráficos de tensão *versus* deformação. Os pontos de transição entre os estágios foram descritos em Tabelas, assim como o modo de ruptura, além da tensão e deformação máxima de ruptura. Conforme indicado por Santis et al. (2017), com o objetivo de prevenir eventuais erros consequentes da variação de espessura do concreto, realizou-se a análise de tensões por meio das Tabelas e descrição dos resultados, considerando-se a tensão do fio de fibra das amostras, obtida por meio da divisão da força pela área total da seção transversal dos fios de fibra dos têxteis (Atex,n). No entanto, as tensões do material compósito também foram representadas ao lado direito, do eixo "y" nos gráficos, com o objetivo de auxiliar na compreensão do comportamento mecânico das amostras.

3.1 Concreto reforçado com uma camada do têxtil de vidro

Nas três amostras analisadas com o reforço de uma camada do têxtil de vidro, verificou-se a formação do estágio I corretamente, conforme o previsto pela literatura, sendo o mesmo linear, sem a formação de fissuras. Na Figura 4 (a), (b) e (c) estão representados os gráficos de tensão *versus* deformação das referidas amostras.

Sobre o tipo de ruptura, todas apresentaram ruptura na área mensurável das peças, podendo classificá-las como sendo uma ruptura do tipo "B", conforme determinado por Santis et al. (2017). Na Figura 5 (a) e (b) pode-se observar a ruptura na área mensurável das amostras CTV11 e CTV13, respectivamente.

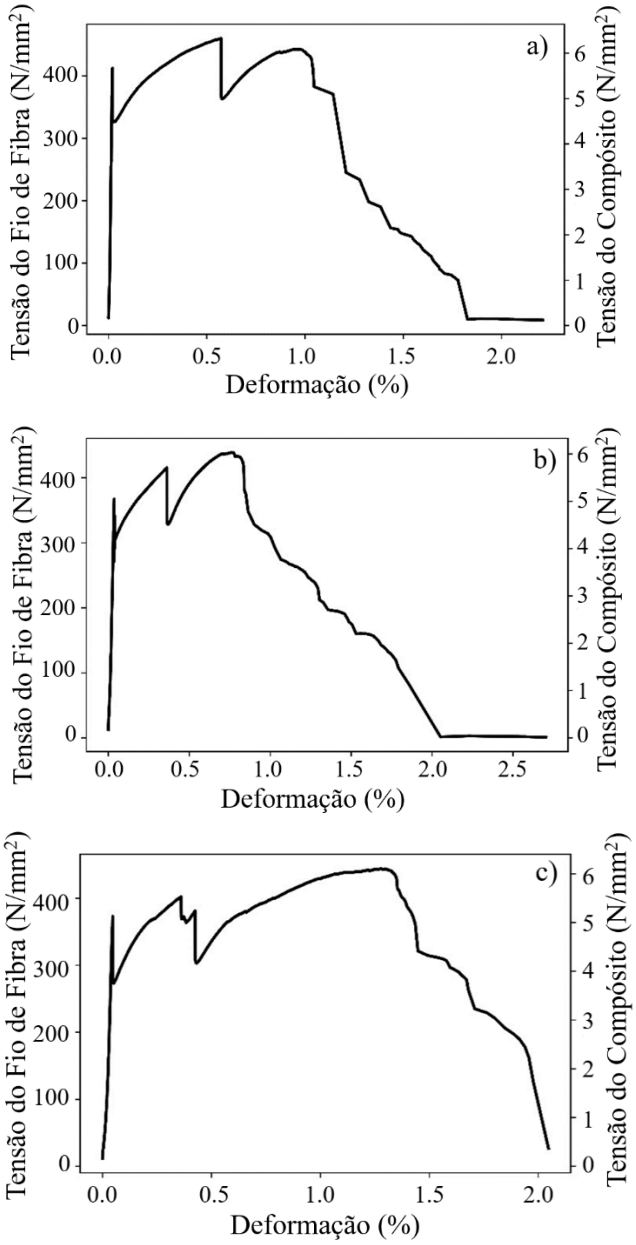

Figura 4. Comportamento mecânico das amostras CTV11 (a), CTV12 (b) e CTV13 (c).

Após a formação da primeira fissura no concreto, iniciou-se o estágio IIa (Jesse, 2005). Nesta etapa, a literatura indica a formação de múltiplas fissuras. No entanto, este comportamento não foi observado nas amostras reforçadas com uma camada do tecido têxtil. Nas amostras CTV11 e CTV12 apenas duas fissuras formaram-se neste estágio, não havendo clara distinção entre os estágios IIa e IIb, sendo o último caracterizado por apresentar o término de fissuração e a respectiva ruptura do material. Vale ressaltar que Ortolan (2021), também não identificou claramente a formação dos três estágios na curva resposta de tensão-deformação de amostras reforçadas com uma camada do têxtil de vidro brasileiro.

No entanto, na amostra CTV13, após a formação da terceira fissura no estágio IIa, houve a formação do estágio IIb, conforme observado na Figura 4 (c). Neste caso, sugere-se que houve maior ligação entre o concreto e o tecido têxtil, resultando em um maior valor de deformação de ruptura (ε_t) = 1,32%, conforme demonstrado na Tabela 2.

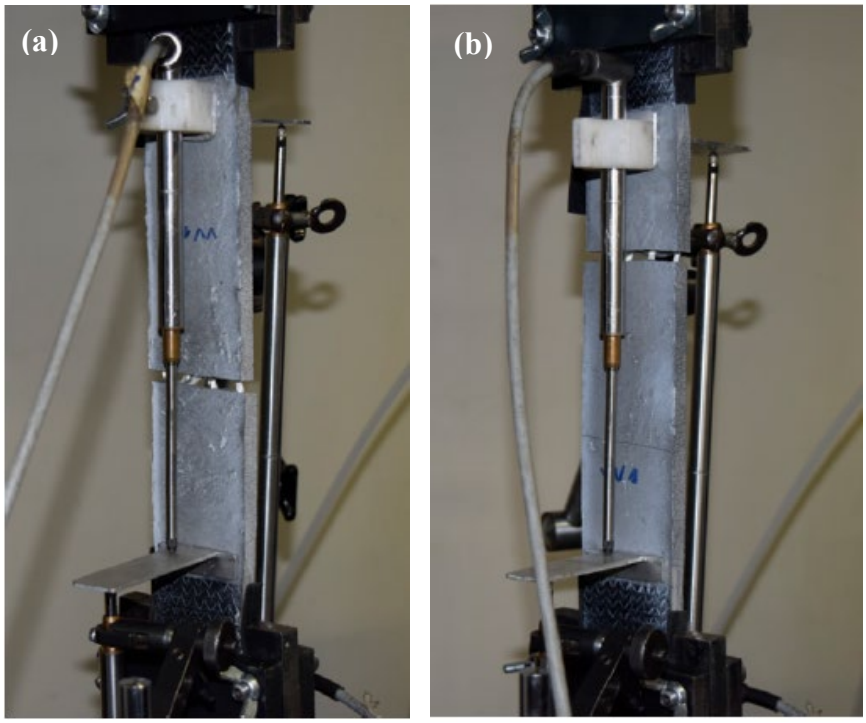

Figura 5. Ruptura das amostras CTV11 (a) e CTV13 (b).
412

Como em CTV11 e CTV12 não houve distinção entre os estágios IIa e IIb, considerou-se os mesmos valores dos pontos de transição entre os estágios IIa e IIb, sendo eles σ_{II} e f_t, além de ε_{II} e ε_t, conforme demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados das amostras CTV11, CTV12 e CTV13

CP	ε_I (%)	ε_{II} (%)	σ_I (N/mm²)	σ_{II} (N/mm²)	f_t (N/mm²)	ε_t (%)	E_I (N/mm²)	Ruptura
CTV11	0,019	0,977	412	443	443	0,977	2080,8	B
CTV12	0,036	0,761	367	439	439	0,761	1019,44	B
CTV13	0,047	0,639	372	377	441	1,32	791,49	B
Média	0,034	0,792	383,66	419,66	441	1,01	1297,24	
CV (%)	32,43	17,63	5,24	7,19	0,37	22,58	43,3	

3.2 Concreto reforçado com duas camadas do têxtil de vidro

As amostras que foram reforçadas com duas camadas do têxtil de vidro apresentaram corretamente os três estágios presentes na curva de resposta tensão-deformação, conforme previsto pela literatura. No estágio IIa, formaram-se múltiplas fissuras, ocorrendo clara distinção dos pontos de transição entre os estágios IIa e IIb.

No que tange ao tipo de ruptura, as amostras CTV21, CTV22 e CTV24 apresentaram ruptura na área mensurável, podendo ser classificadas como uma ruptura do tipo "B". Já na amostra CTV23, a ruptura ocorreu próxima da área da garra, no entanto, não houve desplacamento do concreto, nem deslizamento do tecido. Além disso, observou-se que não houve perda mecânica desta peça, pois os valores de tensão e deformação de ruptura ficaram aproximados das amostras em que a ruptura ocorreu na área mensurável. Deste modo, a amostra CTV23 pode ser classificada como uma ruptura do tipo "A", conforme indicação de Santis et al., (2017).

Na Figura 6, estão indicados os gráficos tensão *versus* deformação das referidas amostras. Nas

amostras CTV21, CTV22 e CTV23, observou-se pequenas quedas de carga nas estruturas durante o estágio IIb. De acordo com Jesse (2005), pode-se classificar estas quedas de carga como sendo fissuras difusas.

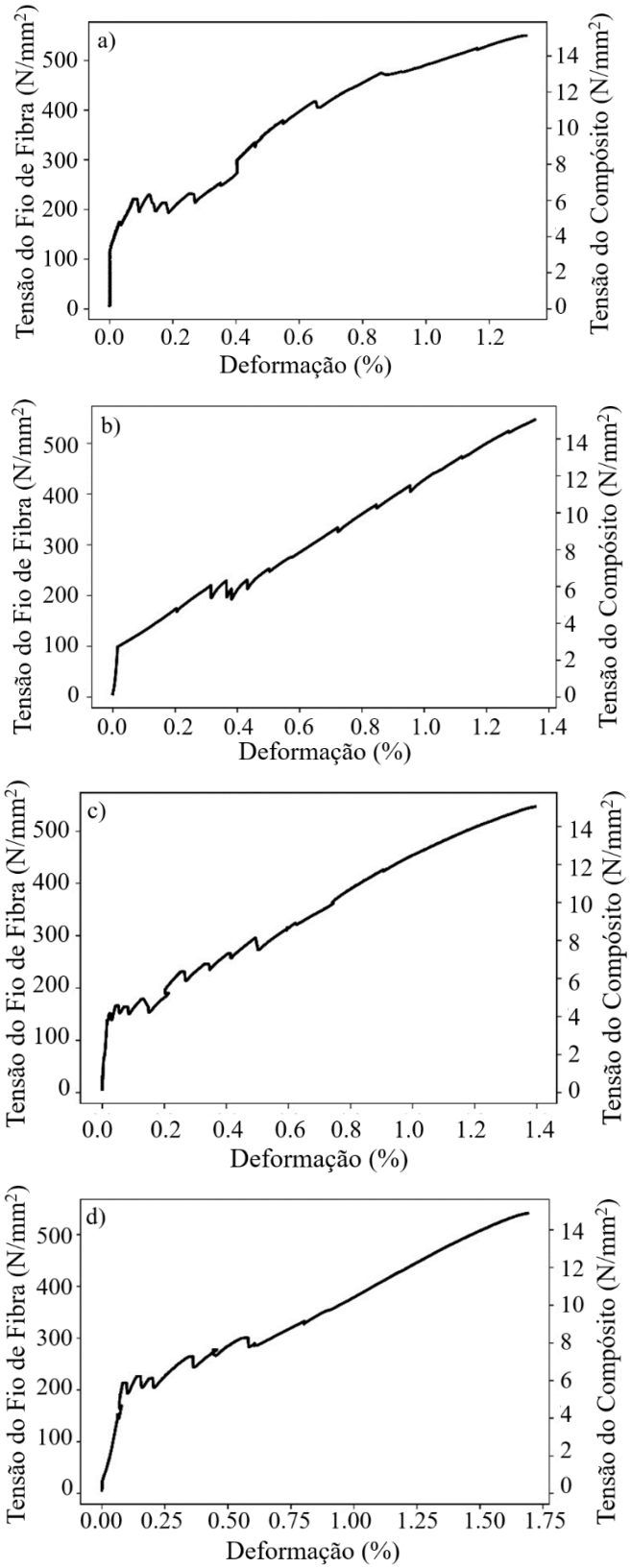

Figura 6. Comportamento mecânico das amostras CTV21 (a), CTV22 (b), CTV23 (c) e CTV24 (d).

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos com a análise experimental destas amostras. A amostra CTV21 foi a que se destacou em termos de ruptura máxima, f_t, chegando a um valor máximo igual a 550N/mm². Já a amostra CTV24, foi a que obteve os maiores valores entre os pontos de transição dos estágios I e IIa (ε_I e σ_I) e IIa e IIb (σ_{II} e ε_{II}). Neste caso, sugere-se que houve uma maior qualidade de ligação entre a matriz cimentícia e tecido têxtil, alcançando, desta forma, o maior valor de deformação de ruptura, ε_t, dentre as amostras analisadas, sendo o mesmo igual a 1,7%.

Tabela 3. Resultados das amostras CTV21, CTV22, CTV23 e CTV24

CP	ε_I (%)	ε_{II} (%)	σ_I (N/mm²)	σ_{II} (N/mm²)	f_t (N/mm²)	ε_t (%)	E_I (N/mm²)	Ruptura
CTV21	0,0309	0,412	172	304	550	1,32	556,63	B
CTV22	0,0502	0,672	106	306	530	1,37	211,15	B
CTV23	0,0552	0,6	153	315	545	1,39	277,17	A
CTV24	0,0827	0,806	214	329	541	1,7	258,76	B
Média	0,054	0,622	161,25	313,5	541,5	1,44	325,93	
CV (%)	33,81	22,85	24,05	3,14	1,36	10,34	41,53	

3.3 Comparação dos resultados experimentais e analíticos

O modelo escolhido para o cálculo analítico da tensão de ruptura de elementos de concreto fino reforçados com têxtil de vidro foi o de Kulas (2013), conforme indicado na expressão 1 abaixo:

$$F_{t,u} = A_{t,K} * f_{t,K} * k_v * \left(1 - \frac{\alpha}{90°}\right)^2 + A_{t,S} * f_{t,S} * k_v * \left(\frac{\alpha}{90°}\right)^2 \quad (1)$$

Onde:
$A_{t,K}$ e $A_{t,S}$ = Área da seção transversal da urdidura e trama, respectivamente;
$f_{t,K}$ e $f_{t,S}$ = Resistência à tração da malha têxtil da urdidura e trama, respectivamente;
k_v = Fator redutor igual a 0,84 devido a contração lateral das mechas;
α = Ângulo entre a força e a direção da dobra.

Neste cálculo, considerou-se a primeira parte da equação 1, visto que, a direção principal escolhida para os ensaios técnicos, foi a de urdume. Considerando-se a tensão média do têxtil de vidro como sendo igual a 566,72 N/mm², encontrou-se a tensão de ruptura das amostras analisadas. Na Tabela 4 estão expostos os resultados obtidos experimentalmente e analiticamente, com a análise de diferença entre ambos, em porcentagem.

Tabela 4. Resultados das tensões obtidas experimentalmente e analiticamente

CP	ft Experimental (N/mm²)	ft Analítico (N/mm²)	Diferença (%)
CTV11	443	476,05	-6,94
CTV12	439	476,05	-7,78
CTV13	441	476,05	-7,36
CTV21	550	476,05	+15,53
CTV22	530	476,05	+11,33
CTV23	545	476,05	+14,48
CTV24	541	476,05	+13,64

A partir dos resultados elencados, observou-se que as amostras reforçadas com 1 camada do tecido têxtil foram as que apresentaram os menores valores de diferença entre as tensões obtidas analiticamente e experimentalmente. As tensões obtidas experimentalmente das amostras compostas por duas camadas do têxtil, foram maiores do que as do cálculo analítico. Neste caso, sugere-se que o fator redutor de resistência (kv), igual a 0,84; pode ser desconsiderado para o cálculo analítico. Na amostra CTV21, desconsiderando-se este fator, o valor ft analítico resulta em 566,72 N/mm². Comparando-se com o valor experimental, a diferença entre os dois métodos resulta em apenas -2,95%.

3. Análise comparativa dos resultados obtidos através das diferentes taxas de reforço têxtil

A técnica empregada nesta pesquisa para avaliar a resposta mecânica do têxtil de vidro brasileiro "AR 360" apresentou resultados condizentes com os verificados pela literatura. O cuidado em utilizar uma matriz cimentícia autoadensável, com elevadas resistências mecânicas, promoveu a capacidade mecânica do material estrutural, alcançando resultados condizentes com as matrizes cimentícias utilizadas por Brockmann (2006), Kulas (2013), Molter (2005), Hinzen (2014) e Voss (2008).

No que tange às propriedades mecânicas, as amostras com duas camadas do reforço têxtil apresentaram o comportamento mecânico de acordo com a curva tensão-deformação para estruturas de concreto têxtil, ou seja, formaram-se corretamente os estágios I, IIa e IIb, conforme descrito por Jesse (2005), Molter (2005), Voss (2008), Kulas (2013) e Santis et al., (2017). Sobre as estruturas avaliadas com taxa de reforço de uma camada, houve incapacidade estrutural do elemento. Este padrão de resposta mecânica também foi descrito por Colombo et al. (2013), onde na amostra denominada de "F1-1", reforçada com uma camada de tecido têxtil de vidro, não houve a formação dos estágios II e III, de acordo com a lei constitutiva do concreto têxtil. Conforme os autores elencaram, formaram-se poucas fissuras nesta amostra, não havendo o padrão de múltiplas fissuras para elementos de concreto têxtil conhecidos pela literatura. No Brasil, este comportamento do têxtil de vidro também foi verificado pela pesquisa realizada por Ortolan (2021).

De modo geral, verificou-se que, com o aumento do número de camadas na estrutura, houve a formação de múltiplas fissuras, mais finas, com menor espaçamento entre elas, comportamento este esperado para estruturas reforçadas pelo tecido têxtil (Kulas, 2013; Hinzen, 2014). Além disso, nas amostras com maior taxa de reforço, observou-se ganhos em termos de tensão e deformação de ruptura ((f_t) e (ε_t)) de 18,56% e 29,86%, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

A partir dos resultados alcançados, verificou-se que peças de concreto reforçados com o têxtil de vidro possuem incapacidade estrutural, quando reforçadas com apenas uma camada. No entanto, com duas camadas, as amostras apresentaram corretamente o comportamento mecânico de peças em concreto têxtil, com múltiplas fissuras no estágio IIa, além da formação correta dos três estágios na curva de resposta mecânica tensão-deformação.

Sobre o padrão de fissuras, observou-se que quanto maior a taxa de reforço têxtil, mais fissuras foram formadas e com menor espaçamento entre elas. Nas amostras com taxa de reforço = 2,77%, em média sete fissuras foram formadas, enquanto que, nas amostras com ρ = 1,38%, em média, apenas duas fissuras foram observadas no estágio IIa.

Outro ponto a ser destacado é que o sistema de garras escolhido e o formato em "osso" das estruturas favoreceram as peças reforçadas com o têxtil de vidro brasileiro, visto que, não se formaram fissuras na área da garra e desplacamento do concreto nesta região, onde a maioria das rupturas ocorreram na área mensurável das amostras. Além disso, a tensão de ruptura atingida experimentalmente e analiticamente atingiram valores próximos, com baixa porcentagem de

diferença, indicando também, que a distribuição de tensões e o processo técnico do ensaio ocorreu de maneira apropriada.
Neste sentido, conclui-se que o têxtil de vidro disponível no Brasil possui grande potencial para ser utilizado em construções futuras, visto que, nas peças com taxa de reforço igual a 2,77%, observou-se o comportamento mecânico das peças analisadas, conforme o previsto pela literatura.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro concedido pela CAPES e a doação do material têxtil pela empresa *Texiglass*.

6. REFERÊNCIAS

Adam, V., Bielak, J., Dommes, C., Will, N., Hegger, J. (2020), *Flexural and shear tests on reinforced concrete bridge deck slab segments with a textile-reinforced concrete strengthening layer*. Materials, MDPI, v. 13, n. 18, p. 4210. https://doi.org/10.3390/ma13184210

Brameshuber, W., Hinzen, M., Dubey, A., Peled, A., Mobasher, B., Bentur, A., Aldea, C.; Silva, F., Hegger, J., Gries, T. et al. (2016), *Recommendation of rilem tc 232-tdt: test methods and design of textile reinforced concrete: Uniaxial tensile test: test method to determine the load bearing behavior of tensile specimens made of textile reinforced concrete.* Materials and Structures/Materiaux et Constructions, Springer Netherlands, v. 49, n. 12, p. 4923–4927. https://doi.org/10.1617/s11527-016-0839-z

Brockmann, T. (2006), "*Mechanical and fracture mechanical properties of fine grained concrete for textile reinforced composites*". Tese (Doutorado) — Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch.

Colombo, I. G., Magri, A., Zani, G., Colombo, M., Prisco, M. D. (2013), *Erratum to: Textile reinforced concrete: experimental investigation on design parameters*. Materials and structures, Springer, v. 46, p. 1953–1971. https://doi.org/10.1617/s11527-013-0017-5

Christ, R. (2019), "*Proposição de um método de dosagem para concretos de ultra alto desempenho (UHPC)".* Tese (Doutorado)—Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Dalazen, C. D. A. (2021), "*Reforço à flexão de vigas em concreto armado com a utiização e argamassa reforçada com têxteis de carbono e de vidro"*. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Giese, A. C. H. (2019), "*Utilização de argamassa reforçada com têxtil de fibra de vidro álcali resistente para reforço à flexão de vigas de concreto armado".* Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Hegger, J., Curbach, M., Stark, A., Wilhelm, S., Farwig, K**. (**2018), **"***Innovative design concepts: Application of textile reinforced concrete to shell structures".* Structural Concrete, Wiley Online Library, v. 19, n. 3, p. 637–646. https://doi.org/10.1002/suco.201700157

Hegger, J., Voss, S. (2008), *Investigations on the bearing behaviour and application potential of textile reinforced concrete*. Engineering Structures, v. 30, p. 2050–2056, 7. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.01.006

Hegger, J., Will, N., Rüberg, K, (2007) *Textile reinforced concrete—a new composite material***.** In: Advances in construction materials. [S.l.]: Springer, 2007. p. 147–156.

Hinzen, M. (2014), "*Einfluss von Kurzfasern auf die Frisch- und Festbeton-eigenschaften sowie das Tragverhalten von Textilbeton*". Tese (Doutorado) — Lehrstuhl und Institut für Massivbau RWTH Aachen.

Jesse, F. (2005), "*Tragverhalten von Filamentgarnen in zementgebundener Matrix"*. Tese (Doutorado)—Dresden, Techn. Univ.

Kulas, C. H. (2013), "*Zum Tragverhalten getränkter textiler Bewehrungselemente für Betonbauteile"*. Tese (Doutorado) — Lehrstuhl und Institut für Massivbau RWTH Aachen.

Michler, H. (2013). *Segmentbrücke aus textilbewehrtem beton–rottachsteg kempten im allgäu*. Beton-und Stahlbetonbau, Wiley Online Library, v. 108, n. 5, p. 325–334, https://doi.org/10.1002/best.201300023

Molter, M. (2005), "*Zum Tragverhalten von textilbewehrtem Beton"*. Tese (Doutorado) — Aachen, Techn. Hochsch.

Ortolan, V. de K. (2021), "*Estudo de matriz cimentícia reeforçada com fibra têxtil para uso em painéis"*. Tese (Doutorado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos.

Raupach, M., Cruz, C. M. (2016), *Textile-reinforced concrete: Selected case studies*. Textile Fibre Composites in Civil Engineering, Elsevier, p. 275–299. https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-446-8.00013-6

Reginato, L. A. (2020), "*Avaliação experimental dos efeitos da corrosão em concreto armado: diagnóstico e reabilitação com UHPFRC e concreto têxtil"*. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Rizzo, J. (2023), "*Comportamento Mecânico do Concreto Têxtil Submetido ao Esforço de Tração: Um Estudo Experimental"*. Dissertação (Mestrado)—Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Santis, S. D., Carozzi, F. G., Felice, G. de, Poggi, C. (2017), *Test methods for textile reinforced mortar systems*. Composites Part B: Engineering, Elsevier, v. 127, p. 121–132. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.03.016

Scheerer, S., Schladitz, F., Curbach, M. (2015), *Textile reinforced concrete–from the idea to a high performance material*. In: Proceedings of the FERRO-11—11th International Symposium on Ferrocement and 3rd ICTRC—International Conference on Textile Reinforced Concrete, Aachen, Germany. [S.l.: s.n.].

Silva, R. Mansur de C., Silva, F. de A. (2020), *Carbon textile reinforced concrete: materials and structural analysis*. Materials and Structures, Springer, v. 53, n. 1, p. 1–19. https://doi.org/10.1617/s11527-020-1448-4

Spelter, A., Bergmann, S., Bielak, J., Hegger, J. (2019), *Long-term durability of carbon-reinforced concrete: An overview and experimental investigations*. Applied Sciences, MDPI, v. 9, n. 8, p. 1651. https://doi.org/10.3390/app9081651

Voss, S. (2008), "*Ingenieurmodelle zum Tragverhalten von textilbewehrtem Beton"*. Tese (Doutorado) — Lehrstuhl und Institut für Massivbau RWTH Aachen.