

# Aplicação do CFRP para Reforço em Estruturas de Concreto Armado Submetidas a Cargas Cíclicas

Kézia Brasilino de Souza<sup>1</sup>

## Resumo

Este estudo compreende de uma revisão de literatura acerca de estruturas de concreto armado reforçadas com CRFP (*carbon fiber reinforced polymer*), em situação sísmica. Isso porque, o CFRP vem se destacando como material inovador e sua aplicação em estruturas de concreto, como: viga, pilar, pórticos e juntas viga-pilar proporcionam um aumento da resistência da estrutura. Para a avaliação das estruturas é realizado o ensaio de mesa vibratória, onde as peças contidas com reforços são submetidas a diferentes cargas cíclicas e avaliadas quanto a sua rigidez, ductilidade, deslocamento horizontal das amostras, e comparada com corpos de prova não reparadas (amostras de referência), sujeitas as mesmas situações de ensaios. Os resultados obtidos, em maioria apontam, que os espécimes com uso de CFRP apresentam maior rigidez, ductilidade, diminuição do deslocamento e um tardamento das fissuras. Assim, conclui-se que o uso do CFRP é recomendável para o reforço de estruturas de concreto armado localizadas em regiões de terremoto.

**Palavras-chave:** Abalo sísmico; CFRP; Resistência.

## Introdução

Os casos de abalos cíclicos têm sido presenciados com frequência no mundo na última década. Su *et al.* (2015) destacaram a China, que acumula registrado de inúmeros episódios de terremotos desde a década de 1950, constam mais de doze terremotos superiores a 7,0 de magnitude, ocasionando enormes perdas materiais, não materiais e também na economia do País. No entanto, demais países do mundo, embora não presenciem terremotos com a mesma magnitude que a China, ainda sim levantam preocupação, pois devido aos abalos sísmicos, acarretam consequências maléficas para a sociedade. Por exemplo, na cidade de Itacarambi, no norte de Minas Gerais, Brasil em 2007, o terremoto de sismo de 4,7 de magnitude, resultou a primeira vítima fatal decorrente de terremotos na história do Brasil (PEREIRA; FERREIRA; BEZERRA, 2008). Segundo Peña (2012), isso se explica, pois, devido o fato das áreas de pouca ou média atividade sísmica apresentarem em sua maioria de edifícios construídos sem considerar normas sísmica para o reforço das estruturas, os edifícios possuem pouca ductilidade e por consequência podem gerar danos consideráveis.

Consoante Liu *et al.* (2023), é evidente que situações sísmicas prejudicam severamente as estruturas de concreto armado. A fim de minimizar esses

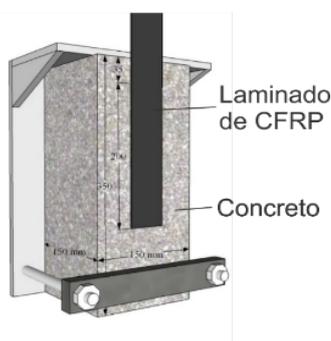
impactos e demais desastres relacionados a esses abalos, é almejado fortificar a estrutura durante a construção do projeto, para que a estrutura não colapse e garanta segurança durante seu uso. Mas também é necessário visar a construção das estruturas de concreto de modo que seja possível que mesmo que ela não colapse após os abalos sísmicos, ela seja passível de reparo, a fim de prolongar seu uso.

Dessa maneira, com o objetivo de fortificar as estruturas de concreto armado localizadas em situações de cargas cíclicas, os polímeros reforçados com fibra (FRPs) vem se destacando na construção civil, sendo um material inovador. Isso porque, como os estudos de Santos (2014) e Peng *et al.* (2020) propõem, o FRP atende as necessidades de reparo das estruturas de concreto armado de modo rápido, gerando uma alta resistência específica, alta resistência à fadiga e durabilidade excepcional (ZHANG *et al.*, 2023). Existem diferentes tipos de FRP, entre eles os polímeros reforçados com fibra de carbono (*carbon fibre reinforced polymer* – CFRP, em inglês), os reparados com fibra de vidro (*glass fiber reinforced polymer* – GFRP, em inglês), reforçados com fibra de aramida (*aramid fibre reinforced polymer* – AFRP, em inglês) e os reparados com fibra de basalto (*bassalt fibre reinforced polymer* – BFRP, em inglês). No entanto, o CFRP tornou-se principal objeto de estudo para

<sup>1</sup> Bacharel em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Vale do São Francisco, Mestranda em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Email: kezia.engenharia@gmail.com.

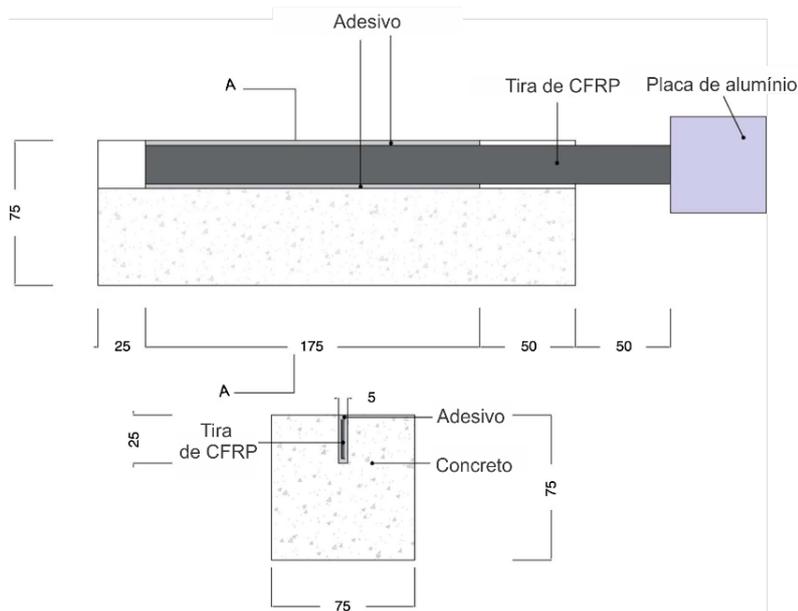
reforço sísmico de elementos de concreto. Também o tereftalato de polietileno (PET) se destaca para o reparo de estruturas acometidas por cargas cíclicas (ISPIR; DALGIC; ILKI, 2018), por ser um material de peso leve e também de alta resistência. O reforço do FRP pode ser por meio de barras, cordoalhas, laminados, cabos, tiras, etc. No estudo em questão o enfoque está nos reparos com CFRP.

O CFRP pode ser inserido para fortalecer as estruturas concretadas, por meio da técnica NSM (*near-surface mounted*) e da Técnica EBR (*externally-bonded reinforced*). A técnica NSM, realiza a inserção do CFRP através de sulcos pré-cortados na superfície do elemento estrutural, onde são colados ao substrato do concreto (BARROS; DIAS, 2006), conforme a Figura 1. Enquanto a técnica EBR cola CFRP na parte externa da estrutura (Figura 2).



**Figura 2** – Inserção do laminado de CFRP pela Técnica EBR.

Fonte: Adaptado de Tajmir-Riahi *et al.* (2019).



**Figura 1** – Inserção do laminado de CFRP pela Técnica NSM.

Fonte: adaptado de Al-Saadi *et al.* (2017).

Diante do exposto, o presente trabalho utilizou a abordagem de pesquisa qualitativa, através de produções de dissertações, teses, artigos, livros e resumos, com objetivo de realizar um estudo teórico bibliográfico, com a finalidade de apresentar um estado da arte sobre desempenho de estruturas de concreto armado, reforçadas com CFRP, decorrente a exposição da carga cíclica, devido ser um tema ainda limitado na literatura.

## Estado da arte

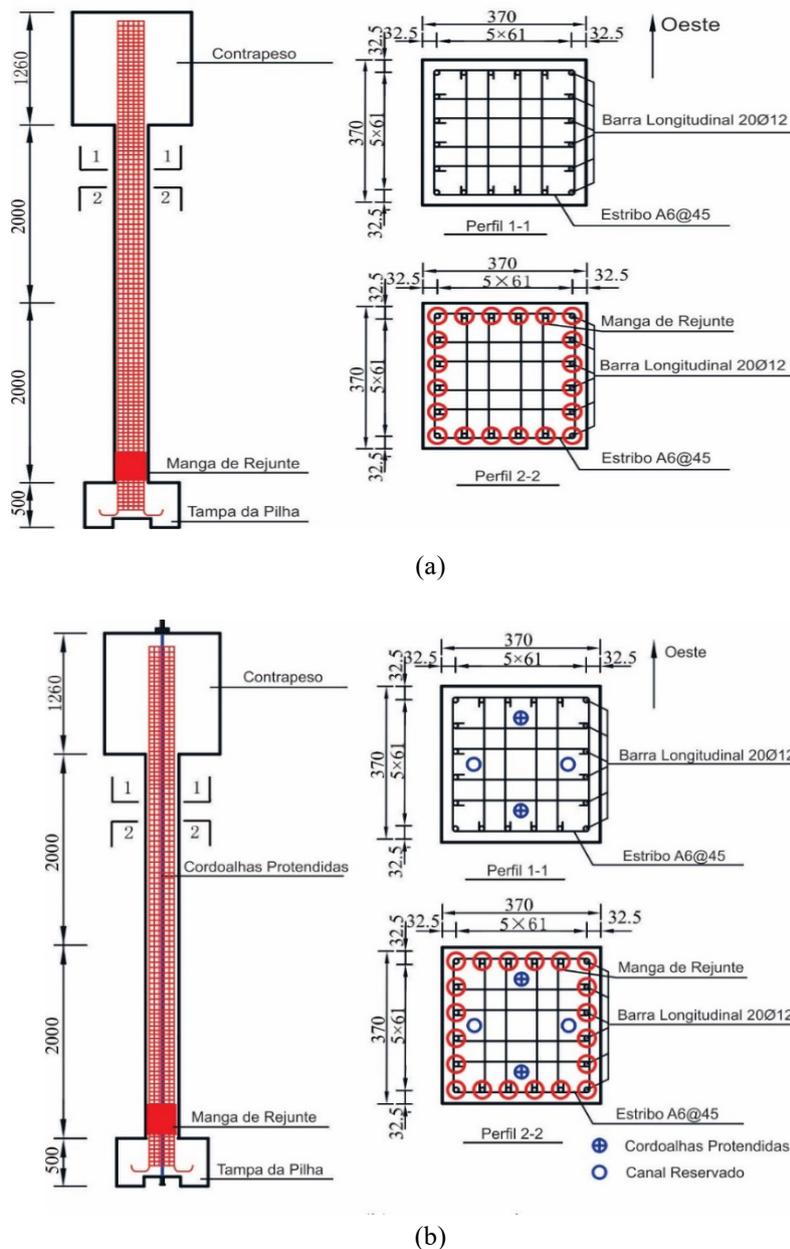
Dedicado à apresentação de trabalhos desenvolvidos com objetivo de analisar os diferentes tipos de peças de concreto armado sob carga cíclica reforçados com CFRP. Desse modo, o trabalho experimental de Shaojian Wang *et al.* (2021), trabalha o reforço com CFRP de pilares durante solicitação de carga cíclica, Song *et al.* (2021) aborda a estrutura de pórtico com diferentes quadros de barras de aços e CFRP, e a sujeita a situação sísmica, a pesquisa de Jie Shen *et al.* (2022) visa o reforço à flexão e ao cisalhamento durante a construção da parede de concreto e logo após a submete a carga cíclica e o estudo de Ayah Alkhaldeh e Alrousan (2023) trata o reforço com cordas NSM-CFRP da estrutura junta pilar-viga, ademais com chapas de CFRP, com isso expõe a estrutura ao aquecimento e posterior situação sísmica.

**Wang et al. (2021)**

Retratam um método de reforço antissísmico (ASRM) realizados em pilares de concreto com mangas de rejuntamento com base de polímeros reforçados com fibra de carbono (CFRP) e materiais de tereftalato de polietileno (PET), combinado com dissipadores metálicos externos. Desta forma o design do modelo foi constituído de uma ponte de viga contínua de concreto pré-fabricado de 4 m x 30 m, com altura de 24 m e largura de 10 m. o modelo de ligação do píer é dividido em dois: com conexão com manga cimentada (SFP) utilizados pilares pré-fabricados com escala 1/6 e com

conexões de manga cimentada compostas de tendão de pretensão (SSFP) em pilares projetados e fabricados. Possível observar os diagramas de armadura dos corpos de prova com SFPs e com SSFP na Figuras 3a e 3b.

Posteriormente, realizado ensaio de mesa vibratória nos corpos de prova, a fim de estudar as características de dano do SFP/SSFP. Além disso, os SFP foram reforçados por meio da colagem do CFRP em sua superfície de concreto (CFRP-AS-EMD) e os SSFP reforçados, colados com PET na superfície de sua estrutura (PET-AS-EMD), ambos com dissipadores metálicos externos de anti-oscilação. Dessa maneira, foram realizados os testes de mesa vibratória, a fim de



**Figura 3** – Diagramas de armadura dos corpos de prova (mm): a) espécime SFP e b) espécime SSFP.

Fonte: adaptado de Wang et al. (2021).

analisar os efeitos sísmicos do CFRP-AS-EMD (Figura 4) e PET-AS-EMD (Figura 5).

Portanto, os resultados apontam que o deslocamento do topo do pilar do corpo de prova reforçado é reduzido. Além disso, sob as mesmas condições de excitação, a resposta de pico de deslocamento do topo do pilar do SSFP foi muito menor comparado ao SFP. Isso se torna evidente pois os modelos SSFP evidenciaram menos rachaduras conferidos aos SFP e com um menor pico na largura da rachadura. Sendo assim, o SFP sem reforço com deslocamento de pico sob excitação unidirecional de 33,5 mm e bidirecional de 41,2 mm, para o SFP reforçado, os deslocamentos de topo de pico por excitação unidirecional de 17,9 mm e bidirecional de 23,5 mm. Em relação às amostras de SSFP sem reforço o deslocamento máximo de excitação unidirecional e bidirecional foram de 13,5 mm e 17 mm, respectivamente, e considerando os corpos de prova de SSFP com reparo com as mesmas condições

de excitação constatou deslocamentos de 10,6 mm e 13,1 mm, respectivamente.

O uso de reforços de CFRP e PET melhoram a rigidez dos pilares sob carga cíclica. A rigidez horizontal quando o SFP e o SSFP reparados foram aumentadas. O SFP reparado com CFRP aumentou a rigidez em 45,3%, enquanto o SSFP reparado com PET aumentou a rigidez em 32,3%. Se tratando da ductilidade sísmica desses protótipos foi possível notar a melhora até certo ponto, mas que ambos os reforços, o CFRP-AS-EMD e o PET-AS-EMD podem ser utilizados no reparo sísmico de pilares de concreto pré-fabricados.

#### Song *et al.* (2021)

Esses autores apresentaram um estudo experimental de quatro pórticos de concreto armado com armaduras de aço, armaduras híbridas de aço CFRP e armaduras de CFRP, submetidos ao carregamento cíclico, a fim de estudar o desempenho sísmico.



Figura 4 – SFP com CRFP-AS-EMD.

Fonte: Wang *et al.* (2021).



Figura 5 – SFP com CRFP-AS-EMD.

Fonte: Wang *et al.* (2021).

O protótipo foi realizado na escala 1:2 da estrutura original com vão de 7200 mm e altura de 3600 mm, com dimensão da seção da coluna de 250 mm x 300 mm, seção da viga superior 150 mm x 300 mm e seção da viga de base de 300 mm x 500 mm, detalhes na Figura 6.

O pórtico é contemplado por quatro tipos diferentes de distribuição de armaduras: quadro C, quadro CF1, quadro CF2, quadro F, observados na Figura 7.

A carga no pórtico é aplicada primeiro por um macaco hidráulico por meio de uma carga constante vertical e assim predeterminada a pressão axial, após isso o deslocamento lateral pelo sistema MTS é aplicado ao quadro, Figura 8.

Os ensaios apontam falha por flexão no concreto armado. Ocorrendo no concreto armado com aço, devido ao esmagamento do concreto após o escoamento do aço e no concreto armado híbrido de aço-CFRP e na armação de concreto reforçado com CFRP, devido,

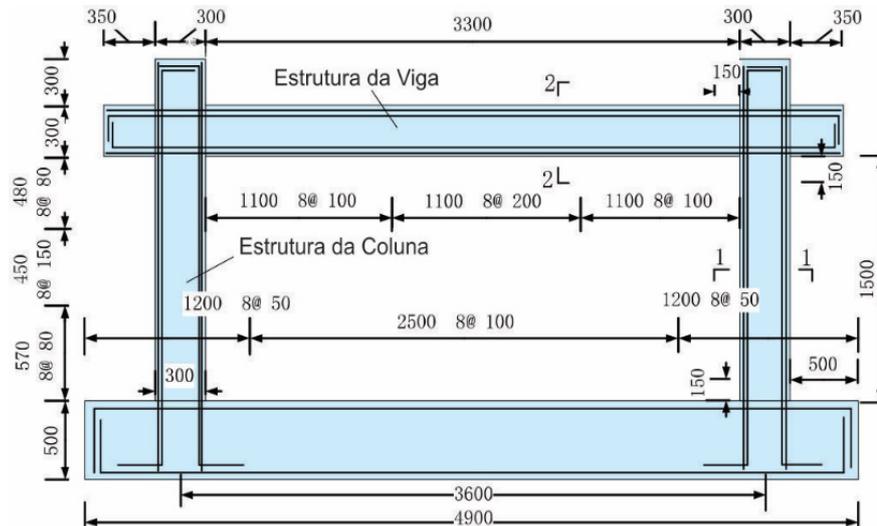


Figura 6 – Dimensão dos pórticos testados e disposição do estribo.

Fonte – adaptado de Song *et al.* (2021).

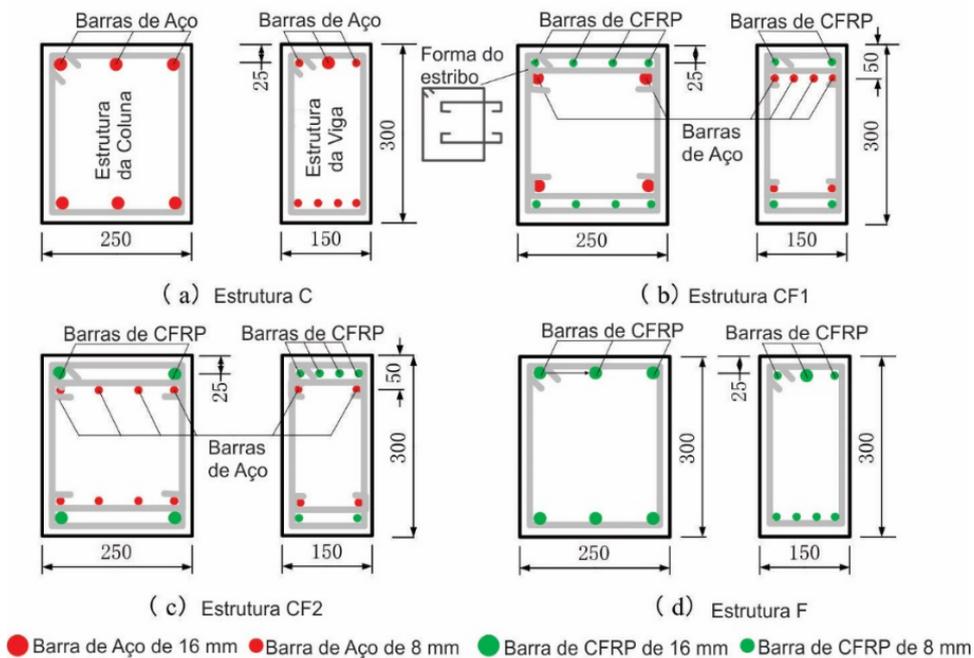


Figura 7 – Diagrama esquemático da armadura na viga e pilar: a) Quadro C b) quadro CF1 c) Quadro VF2 e d) Quadro F.

Fonte: adaptado de Song *et al.* (2021).

além do escoamento do aço, mas também pelo reforço de CFRP fraturado.

Antes do escoamento foi registado a maior rigidez no pórtico C, seguida do CF1. No entanto, após o escoamento a taxa de reforço de CFRP resulta em uma maior taxa de rigidez, e dessa maneira os pórticos CF1, CF2 e F contemplam de uma rigidez maior que o do pórtico C. Além do mais, dentre os pórticos apresentados, a estrutura C foi a que apresentou melhor ductilidade.

Visto também que a carga cíclica influencia a resistência limite do reforço CFRP, somando perda de resistência à estrutura. Os limites de resistência dos reforços da estrutura CF1, CF2 e F constataam carga de pico de 640 MPa, 572 MPa e 543 MPa, respetivamente. Ou seja, a armadura composta de barras de aço e barras de CFRP tem capacidade de carga superior as armaduras compostas por barras de CFRP.

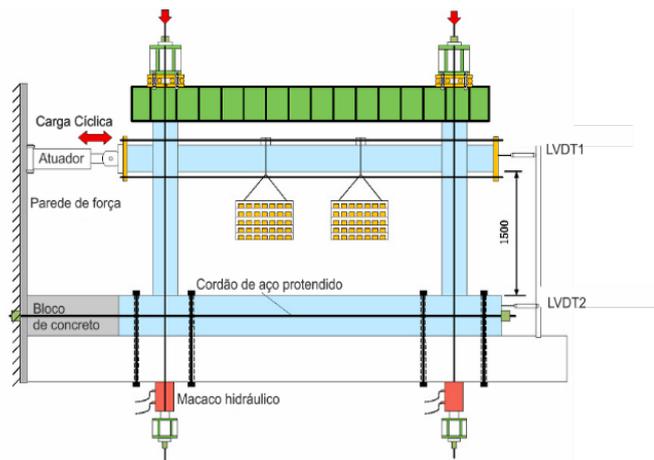
### Jie Shen *et al.* (2022)

Neste trabalho, realizaram-se testes sob carga cíclica com objetivo de analisar o comportamento sísmico da parede de cisalhamento reforçado com armadura de CFRP. Desse modo, foram um total de treze peças de paredes de cisalhamento de concreto, sendo dois espécimes de concreto armado e onze amostras com grade de CFRP com razões de aspecto de 1,0 a 2,2, testadas sob carga reversa. Além de que, foram propostas configurações de reforço com malha de CFRP para substituição parcial e total de barras de aço. Isto posto, os parâmetros de configuração de reforço, taxa de reforço foram consideradas com interesse de investigar o comportamento cíclico das paredes. Os protótipos foram divididos em grupo A,

com intuito de falha por cisalhamento, e grupo B, onde esperava-se falha por flexão. No grupo A, compostas de 6 protótipos de seção transversal 1000 mm x 100 mm e alturas diferentes, de 1000 mm e 1400 mm. No grupo B, sete protótipos de seção transversal de 900 mm x 150 mm e alturas diferentes de 1400 mm e 2000 mm. O nome da amostra foi definido de acordo com o grupo, relação de aspecto e configuração da armadura, que podem ser encontrados na Figura 9. Exemplo: corpo de prova A1.0-SS, pertence ao grupo A, com relação de aspecto 1,0 e armadura de configuração de duas almas verticais de aço (SS).

Diante do quadro anterior, tem-se o corpo de prova A1.0-SS, a parede de referência do grupo A. Para mais, três corpos de prova a investigar o efeito da configuração da armadura: as amostras A1.0-CC e A1.0-HC1 com taxas de armaduras constantes, mas com diferentes configurações. O protótipo A1.0-CC, com duas peças de grades de CFRP verticais, conectadas por tirantes, o corpo de prova A1.0-HC1 com grades de CFRP na horizontal e fixas com barras de aço verticais através de arame de aço. Para investigar o efeito da taxa de armadura horizontal a estrutura A1.0-HC2 teve metade da taxa do do espécime A1.0-HC1. Disposto a analisar a razão de espectro e a das alturas, as amostras A1.4-CC e A1.4-HC2 aumentaram a 1400 mm.

Para o grupo B, o corpo de prova referência foi o B2.2-SS. Três amostras para análise das configurações de armaduras: os protótipos B2.2-CSC1, B2.2-CSC2 e B2.2-CSC3, com mesma taxa de armadura total e configuração, ou seja, duas malhas de CFRP verticais em ambos os lados e uma alma de aço no meio, modificadas as proporções de grade de CFRP para os protótipos, que foram 1:1, 1:2,5 e 2,5:1, respetivamente. O corpo de prova B1.6-CSC2



**Figura 8** – Layout e diagrama de carga dos corpos de prova ensaiados .

Fonte: adaptado de Song *et al.* (2021).

projetado a fim de observar respostas de cisalhamento e flexão. As amostras B2.2-SCS e B2.2-CCC foram adicionais para comparar o efeito da configuração da armadura com os corpos de prova B2.2-SS e B2.2-CSC1, sendo a amostra B2.2-SS contemplada de duas almas verticais de aço em ambos os lados e uma grade de CFRP no meio, e o corpo de prova B2.2-CCC com três grades verticais de CFRP como reforço.

Diante desse cenário, os corpos de prova foram fixados no piso rígido do laboratório por meio de quatro chumbadores, tendo suporte nas laterais e uma viga no topo do corpo de prova, conforme a Figura 10.

Comparando os resultados obtidos com os dados do ensaio da parede de referência, é possível concluir que a parede de cisalhamento da grade de CFRP obteve menor largura de fissuras principais. Visto que as fissuras diagonais são características na maioria de espécimes por ruptura por cisalhamento e as fissuras horizontais pela maioria dos espécimes de ruptura à flexão.

A rigidez dos protótipos de ruptura por cisalhamento em maioria foi linear e em espécimes de ruptura por cisalhamento e flexão a taxa reduziu com aumento do deslocamento lateral, ocasionando o aumento da ductilidade. Em relação à parede de referência, a rigidez das amostras com grade de CFRP com alta razão de aspecto ocorreu mais devagar. Além disso, os corpos de prova de grade CFRP melhoraram a capacidade de deformação para espécimes de menor proporção e maior proporção.

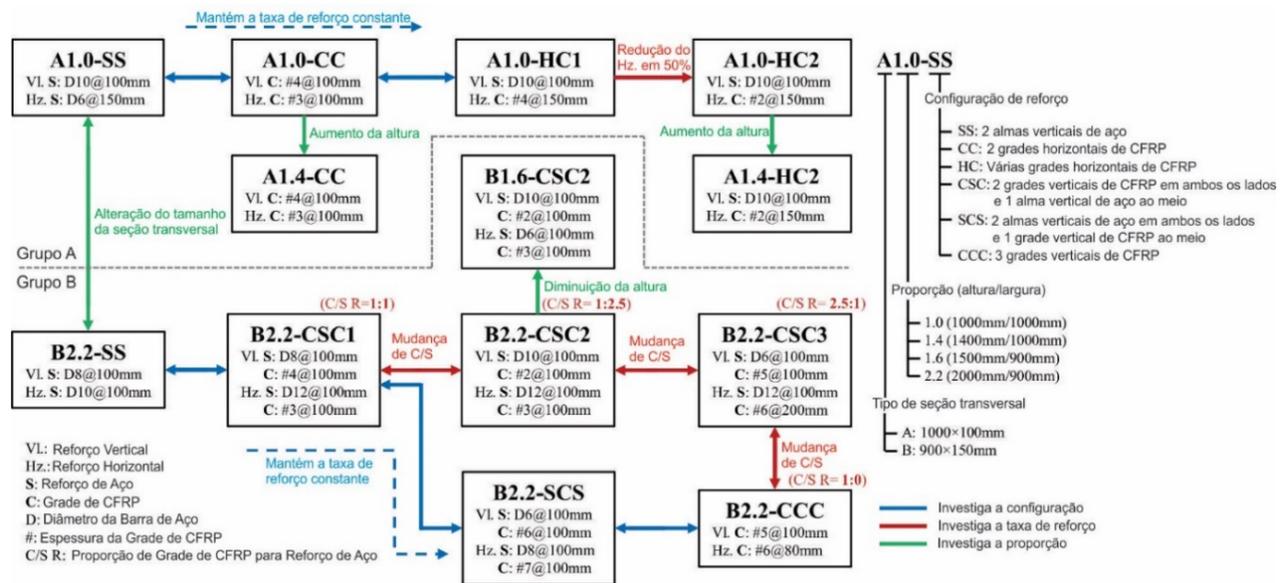
A ductilidade aumentou em favor da relação de aspecto. Nos corpos de prova com proporção reduzida de aspecto a ductilidade foi melhorada em

torno de 13,8% a 36,7% com o uso da grade de CFRP. No entanto, com aumento da relação do aspecto, não constatou elevação da ductilidade do protótipo da grade de CFRP, isso porque a grade de CFRP atrasou o ponto de escoamento das amostras.

**Ayah Alkhalwaldeh e Alrousan (2023)**

Desenvolveram uma série experimental com objetivo de analisar o comportamento de juntas de pilares de vigas de concreto armado não dúcteis em resposta cíclica e danificadas pelo calor. Por conseguinte, doze juntas viga pilar de concreto armado foram conduzida e dividida em quatro categorias: três juntas sem reforço, para amostras de controle, três juntas reparadas com uma camada de CFRP e uma corda utilizando a técnica NSM e inserido o CFRP (NSM-CFRP) na viga e na coluna, três juntas reparadas com duas camadas de chapas de CFRP e duas cordas de NSM-CFRP na viga e coluna. As dimensões dos corpos de prova e o detalhamento da armadura de aço utilizados nele pode ser observado na Figura 11. A instalação do CFRP pela técnica NSM-CFRP consta conforme a Figura 12 e a colagem da fibra na junta viga-pilar segundo a Figura 13.

As doze juntas foram expostas a temperaturas. Quatro juntas-pilar mantidas a temperatura ambiente e quatro juntas-pilar aquecidas à 400°C, as demais, quatro amostras à 600°C, ambas com três horas de aquecimento. O tratamento térmico seguiu as recomendações ao que consta nos regulamentos ASTM e ISO, conforme a Figura 14.



**Figura 9 – Programa de ensaios e nomenclatura do corpo de prova.**

Fonte: adaptado de Jie Shen *et al.* (2022).

Diante do contexto anterior, logo após as doze juntas viga-coluna serem aquecidas, foram submetidas a resposta cíclica, através de um atuador hidráulico com tensão de 450 kN e capacidade de compressão de 450 kN. Com isso, um sistema de carregamento lateral e um sistema de restrição lateral foram formalizados na configuração do teste (Figura 15).

Os resultados dos ensaios de carga cíclica apontam que todas as amostras de juntas viga-pilar reparadas com sistema híbrido de CFRP apresentam maior desempenho cíclico em decorrer do ganho da carga horizontal máxima, deslocamento horizontal

máximo e notável incremento no número de ciclos. Em relação os espécimes danificados pelo calor e reforçadas com CFRP, houve destaque por atrasarem a propagação da trinca na região da junta e com isso ocasionar a elevação da carga máxima e do deslocamento máximo.

O CFRP proporcionou a região junta pilar um bom confinamento que por consequência aumentou a ductilidade de deslocamento. Além de tudo, através do sistema híbrido de reforço de CFRP houve aumento na rigidez inicial das juntas viga-pilar não dúcteis e danificadas pelo calor.

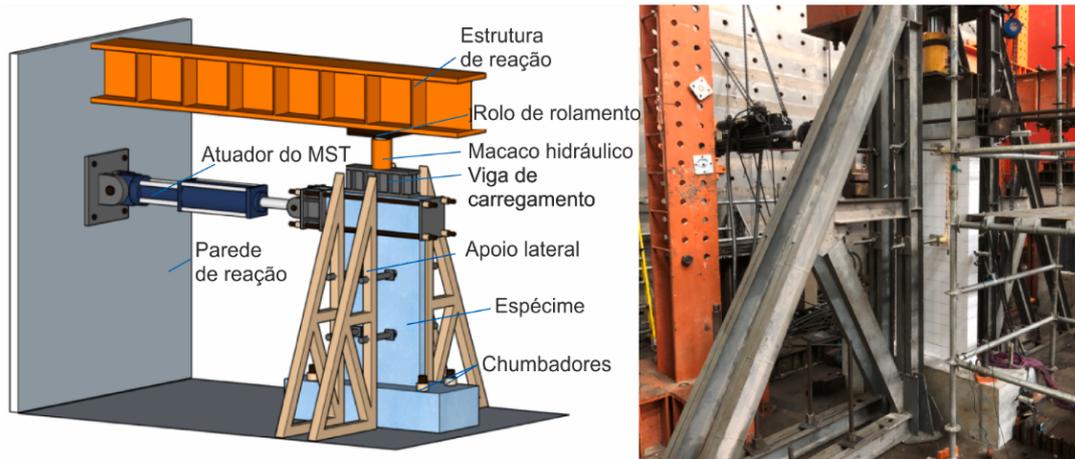


Figura 10 – Configuração do teste

Fonte: Adaptado de Jie Shen et al. (2022).

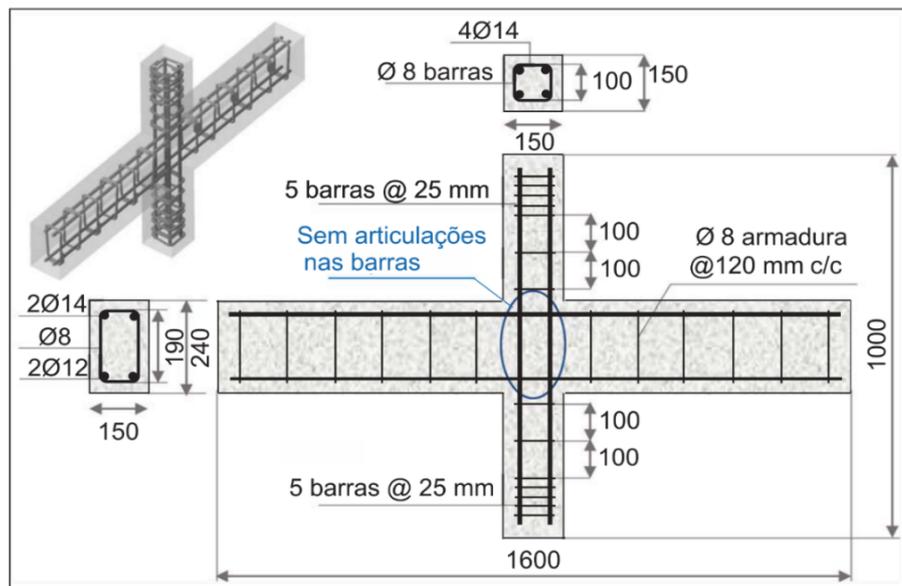
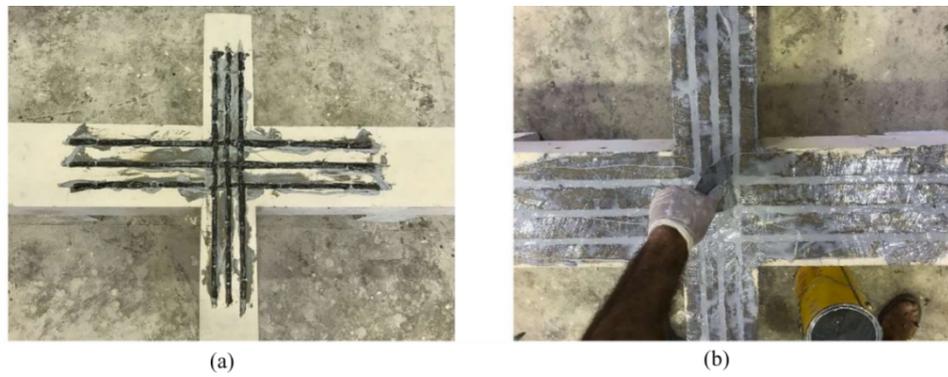


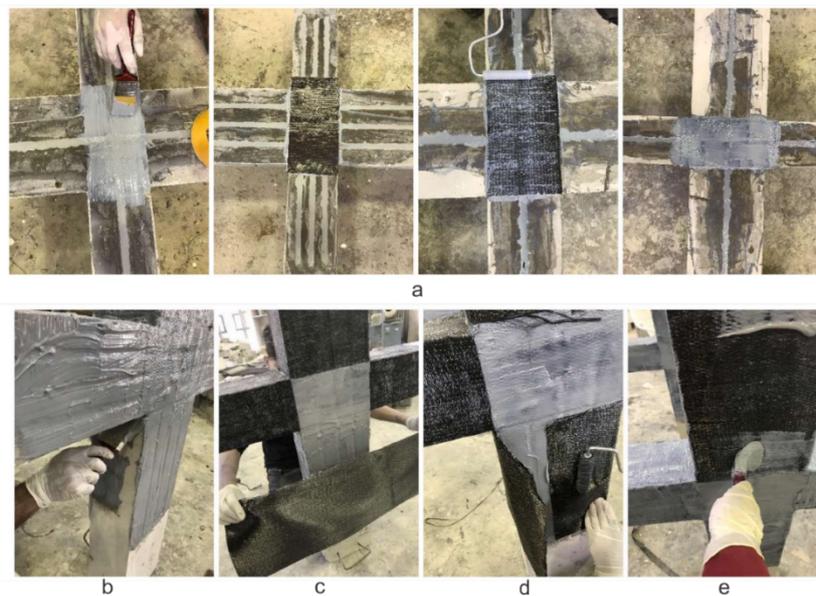
Figura 10 – Detalhamento da armadura de aço (vistas 2D e 3D), dimensões em mm.

Fonte: adaptado de Ayah Alkhaldeh e Alrousan (2023).



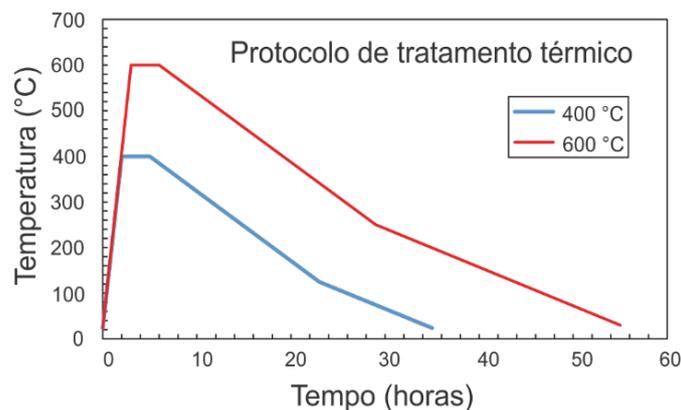
**Figura 11** – Etapas de instalação de NSM-CFRP: a) incorporação de cordas NSM-CFRP em ranhuras e b) Nivelamento da superfície dos sulcos e remoção do excesso da cola.

Fonte: adaptado de Ayah Alkhalwaldeh e Alrousan (2023).



**Figura 11** – Etapas de instalação do CFRP técnica EBR: a) Instalação de chapas de CFRP na região da junta b) Pintar as faces das juntas com Sikadur®-330 c) Instalação de folhas CFRP d) Eliminação de vazios de ar e e) Revestir a junta envolta com Sikadur®-330.

Fonte: adaptado de Ayah Alkhalwaldeh e Alrousan (2023).



**Figura 11** – Regime de aquecimento aplicado aos corpos de prova da junta dentro do forno elétrico.

Fonte: Adaptado de Ayah Alkhalwaldeh e Alrousan (2023).

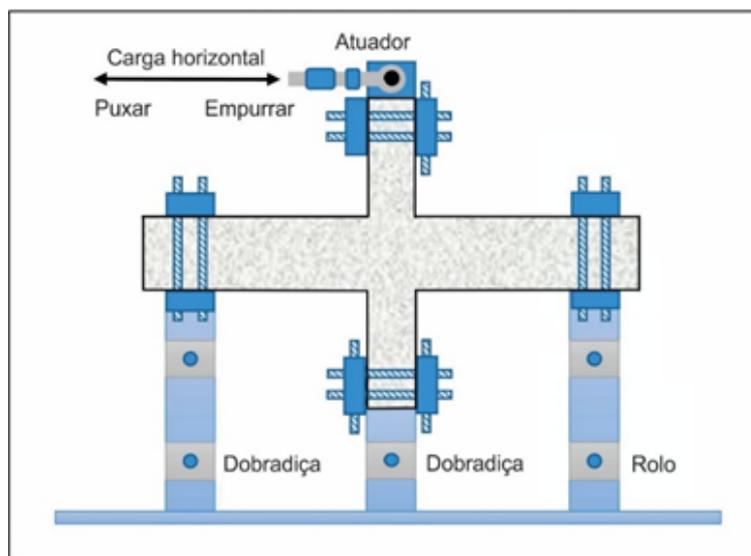
## Considerações finais

Por meio do “Estado da Arte”, foi possível observar a influência da inovação do uso do CRFP em estruturas de concreto sob carga cíclica. Dessa maneira, as seguintes conclusões podem ser feitas:

- Pilares reforçados com CFRP e PET apresentam melhor desempenho sísmico em comparação com pilares sem reforço. Quando comparados os pilares reforçados, os espécimes SFP obtiveram maior aumento de rigidez horizontal do que os espécimes SSFP;
- apesar da eficiência do CFRP em estruturas de pórticos a sua ductilidade quando comparado a estruturas com armadura de

aço tem o desempenho menor. Mas em contrapartida, a rigidez é maior, considerando após o escoamento, em peças com armaduras que contemplem de CFRP, e, comparação com estruturas de armaduras somente de aço;

- em paredes de concreto submetidas a cargas cíclicas, foi possível notar em relação parede de referência, que as paredes reforçadas com CFRP apresentam maior rigidez das peças. Além disso, a parede de cisalhamento da grade de CFRP registrou menor quantidade de fissuras, quando comparada com parede sem a grade de CFRP. No entanto, a ductilidade é melhorada por meio da menor proporção de aspecto.



**Figura 11** – Representação esquemática e real de um carregamento cíclico quase estático e configuração de teste.

Fonte: adaptado de Ayah Alkhaldeh e Alrousan (2023).

- com o uso do CFRP ocorre maior desempenho cíclico nos espécimes de juntas de viga-pilar. Também é notável que, o CFRP em juntas de viga-pilar não dúcteis e em danificadas pelo calor, faz com que ocorra o aumento da rigidez, em comparação as amostras de referência. Além disso, O CFRP nas amostras danificadas pelo calor proporcionou que a propagação das fissuras fosse reduzida.

Portanto, foi possível concluir o quanto o uso do CFRP para diferentes estruturas de concreto armado é benéfico, em especial para estruturas submetidas a carga cíclica. Dessa forma, destacam-se diversos cenários da utilização do CFRP, evidenciados nesse trabalho: vigas, pilares, pórticos e juntas viga-pilar de concreto armado e como após o uso do CFRP e posterior situação sísmica, observa-se que na maioria dos casos, o aumento da rigidez, ductilidade, resistência nas estruturas.

## Referências

- AL-SAAD, N. T. K.; AL-MAHAIDI, R.; ABDOUKA, K. Bond behaviour between NSM CFRP strips and concrete substrate using single-lap shear testing with cement-based adhesives. *Australian Journal of Structural Engineering*, v. 17, n. 1, p. 28–38, 2 jan. 2016.
- AYAH ALKHAWALDEH; ALROUSAN, R. Z. Improving cyclic response of heat-damaged non-ductile RC joints using CFRP hybrid systems. *Construction and Building Materials*, v. 377, p. 131150–131150, 2023.
- BARROS, J. A. O.; DIAS, S. J. E. Near surface mounted CFRP laminates for shear strengthening of concrete beams. *Cement and Concrete Composites*, v. 28, n. 3, p. 276–292, mar. 2006.
- ISPIR, M.; DALGIC, K. D.; ILKI, A. Hybrid confinement of concrete through use of low and high rupture strain FRP. *Composites Part B: Engineering*, v. 153, p. 243–255, nov. 2018.
- LIU, X. *et al.* Seismic performance and damage assessment of earthquake-damaged HSRAC columns with UHSS repaired by CFRP jackets. *Structures*, v. 48, p. 241–257, 1 fev. 2023.
- PENG, Z.; WANG, X.; WU, Z. Multiscale strength prediction of fiber-reinforced polymer cables based on random strength distribution. *Composites Science and Technology*, v. 196, p. 108228, ago. 2020.
- PEREIRA, R. A.; FERREIRA, W. G.; BEZERRA, A. D. S. *Abalos Sísmicos no Brasil e no Mundo*. Vitória: Scribd–Coletânea da Sismologia Mundial, 2008.
- PEÑA, L. A. P. *Análise dos efeitos provocados por abalos sísmicos em estruturas irregulares*. 2012. 166 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- SANTOS, G. S. *Aplicação de mantas de polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) como reforço à punção em lajes lisas de concreto armado*. 2014. 190 f. Tese (Doutorado em Estruturas e Construção Civil) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- SHEN, J. *et al.* Cyclic behavior of concrete shear wall with CFRP grid-steel reinforcement. *Composite Structures*, v. 297, p. 115938–115938, 1 jun. 2022.
- SONG, S. *et al.* Experimental study on cyclic response of concrete frames reinforced by Steel-CFRP hybrid reinforcement. *Journal of Building Engineering*, v. 34, p. 101937, fev. 2021.
- SU, G. *et al.* An Integrated Method Combining Remote Sensing Data and Local Knowledge for the Large-Scale Estimation of Seismic Loss Risks to Buildings in the Context of Rapid Socioeconomic Growth: A Case Study in Tangshan, China. *Remote Sensing*, v. 7, n. 3, p. 2543–2601, 4 mar. 2015.
- TAJMIR-RIAHI, A.; MOSHIRI, N.; MOSTOFINEJAD, D. Inquiry into bond behavior of CFRP sheets to concrete exposed to elevated temperatures – Experimental & analytical evaluation. *Composites Part B: Engineering*, v. 173, p. 106897, set. 2019.
- WANG, S. *et al.* Experimental research on anti-seismic reinforcement of fabricated concrete pier connected by grouting sleeve based on CFRP and PET materials. *Engineering Structures*, v. 245, p. 112838–112838, 15 out. 2021.
- ZHANG, P. *et al.* Flexural performance of prefabricated FRP-concrete hybrid beam with in-situ-cast UHPC pockets. *Thin-Walled Structures*, v. 185, p. 110616, abr. 2023.