

## **Avaliação do comportamento de adesivos estruturais utilizados em sistemas de reforço de estruturas de concreto armado quando protegidos por revestimento de concreto**

**Amanda Mazzú<sup>1</sup>, Aícia dos Santos<sup>2</sup>, Guilherme Parsekian<sup>3</sup>, Mariana Posterli<sup>4</sup>, Gláucia Dalfré<sup>5</sup>**  
<sup>1,2,3,5</sup> Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) / [glaucia.dalfre@ufscar.br](mailto:glaucia.dalfre@ufscar.br)  
<sup>4</sup> Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT)

### **Resumo**

Este trabalho baseou-se em um estudo exploratório que visou analisar experimentalmente a degradação das propriedades mecânicas de adesivos estruturais, neste caso, de resinas epoxídicas, comumente utilizadas em sistemas de reforço externo de estruturas de concreto segundo as técnicas SBR (*Surface Bonded Reinforcement*) ou EBR (*Externally Bonded Reinforcement*). Nestas técnicas de reforço, o desempenho global de uma estrutura exteriormente reforçada com FRPs (*Fiber Reinforced Polymer*) depende, essencialmente, da eficácia da ligação entre o FRP e o concreto. No entanto, este reforço estrutural geralmente fica exposto às condições ambientais (ciclos de gelo-degelo, temperatura, carbonatação, radiação ultravioleta, ciclos de umidade-secagem, dentre outros), e à ação do fogo e atos de vandalismo. A durabilidade das resinas, sua ligação ao substrato do elemento estrutural a ser reforçado e, principalmente, seu desempenho face ao processo de envelhecimento em longo prazo são pouco conhecidos. Estudos anteriormente realizados indicam que, quando expostas à umidade constante por um período de 24 meses, as resinas epoxídicas apresentam redução da ordem de 70% e 60% em sua resistência à tração e módulo de elasticidade, respectivamente. Desta forma, neste trabalho foi avaliado o comportamento de resinas epoxídicas protegidas por concreto e expostas à umidade constante com temperatura de  $50 \pm 3$  °C (protocolo de acondicionamento acelerado) por um período de 1000h. Foi possível concluir que após 1000h de exposição, tais resinas apresentaram degradação de 17,9% e 19,8% em sua resistência à tração e módulo de elasticidade, respectivamente, ainda que protegidas pelo concreto.

### **Palavras-chave**

Degradação de resinas estruturais; sistema de reforço EBR; ensaio exploratório.

### **Introdução**

Segundo Dalfré e Parsekian (2022), fatores como a ação do intemperismo, a falta de inspeção regular e manutenções preventivas, erros de projeto e execução, mudanças no tipo de utilização e a alteração de normas e códigos de dimensionamento com a implementação de imposições mais severas resultam na necessidade de reforço (aumento da capacidade resistente do elemento em relação ao seu projeto) e reparo (reposição das condições de suporte e desempenho) dos elementos estruturais de concreto armado.

Dentre os diferentes sistemas de reforço existentes, destacam-se os baseados no uso dos FRPs (*Fiber Reinforced Polymer* – Polímeros Reforçados com Fibras), materiais compósitos de elevada resistência à tração, neutralidade magnética, resistência à corrosão e baixo peso próprio. A utilização destes materiais para o reforço de estruturas de concreto armado é cada vez mais comum devido à sua fácil aplicação, sua influência mínima na geometria e peso próprio do elemento reforçado e sua versatilidade, uma vez que são encontrados em diversos tamanhos e geometrias e podem ser aplicados com diferentes técnicas (DALFRÉ e PARSEKIAN, 2022).

De acordo com a norma ACI 440.R (2007), os FRPs são materiais compósitos formados pela junção de fibras e uma matriz polimérica (comumente constituída por resinas epoxídicas), sendo as fibras responsáveis pela resistência e rigidez do compósito e a matriz responsável pela ligação, proteção e transferência de tensões entre as fibras. Estes materiais podem ser comercialmente encontrados na forma de mantas ou tecidos de fibras para aplicação em sistemas curados *in situ*, na forma de barras para aplicação como armadura em estruturas de concreto armado, na forma de barras, chapas ou laminados para aplicação em sistemas pré-curados, ou perfis pré-fabricados (*FIB BULLETIN* 90, 2019).

Dalfré e Parsekian (2022) afirmam que as técnicas de reforço mais utilizadas e conhecidas são as técnicas SBR (*Surface Bonded Reinforcement*) ou EBR (*Externally Bonded Reinforcement*), as quais são baseadas na colagem de mantas ou tecidos de fibras ou laminados de FRP na superfície do concreto utilizando-se adesivo estrutural (resinas epoxídicas). Entretanto, com o uso destas técnicas o sistema de reforço fica desprotegido, exposto à agressividade ambiental, atos de vandalismo, incêndio, dentre outros fatores. Segundo Escobal (2017), o desempenho global de um elemento estrutural reforçado com FRP pela técnica EBR depende essencialmente da eficiência da ligação entre o FRP e o concreto, uma vez que tal ligação garante a transferência de tensões entre o elemento e o reforço.

Oliveira (2019) afirma que os materiais constituintes do sistema de reforço podem sofrer degradação pela ação das intempéries, umidade constante, ciclos de umidade, ciclos salinos, ciclos de gelo e degelo, altas temperaturas e raios UV, impactando na transferência de tensões entre as fibras, bem como entre as fibras e o substrato de concreto, prejudicando o desempenho do sistema. Desta forma, a análise da durabilidade e desempenho dos materiais constituintes (fibras e resina) frente ao processo de envelhecimento em longo prazo é de extrema importância.

Segundo Sarti Junior (2020), a degradação de um material compósito pode levar anos, uma vez que está diretamente ligada ao tipo de ambiente e exposição. Assim, as propriedades mecânicas do material podem ser pouco afetadas no caso de exposição a ambiente interno e protegido ou muito afetadas no caso de exposição a ambientes externos e agressivos. Para acelerar a degradação do material quando esta é muito lenta ou desconhecida, variáveis como temperatura elevada, umidade, voltagem, intemperismo, pressão e reagentes químicos podem ser incorporadas, induzindo sua falha e permitindo um conhecimento mais profundo sobre o comportamento do material avaliado (BRUNO, 2018). Desta maneira, protocolos de acondicionamento acelerados podem ser utilizados juntamente com ensaios mecânicos para determinação das propriedades mecânicas do material pós-condicionamento.

### **Mecanismos de degradação dos FRPs**

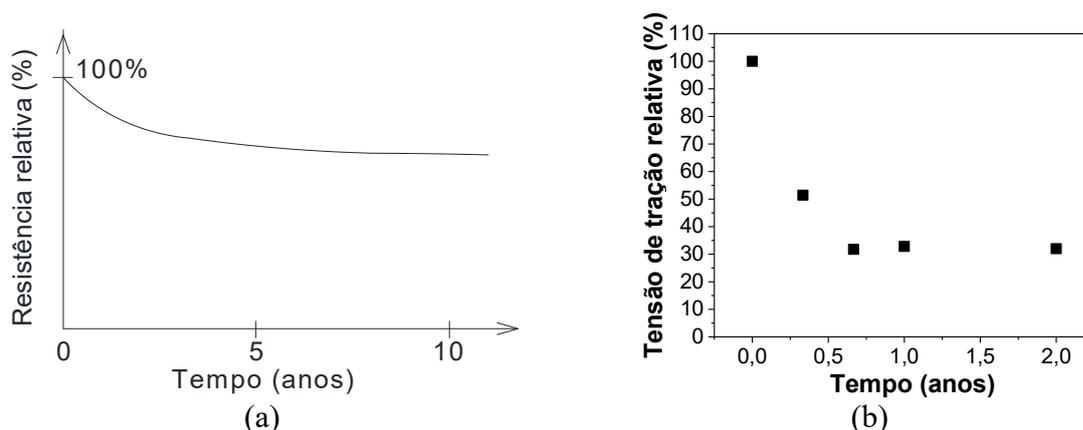
Resinas termoendurecíveis do tipo poliéster, vinila ou epóxi são geralmente utilizadas em sistemas de reforço com FRPs e sua durabilidade, bem como a integridade da ligação ao substrato de concreto frente ao processo de envelhecimento a longo prazo, é pouco conhecida. Porém, sabe-se que existe uma potencialização de degradação que pode ser causada por efeitos ambientais (tais como umidade e ambiente marinho, ambiente alcalino e corrosão, altas temperaturas e incêndio, frio e ciclos de congelamento, radiação ultravioleta, dentre outros) e fatores físicos (fluência, fadiga, dentre outros) (ISIS, 2006; Zhao *et al.*, 2017; POSTERLLI, CARRAZEDO e DALFRÉ, 2018).

#### **- Umidade**

Segundo ISIS (2006), os materiais poliméricos tendem a sofrer amolecimento de sua matriz quando expostos a umidade levando a redução de sua capacidade resistente, deformação última e módulo de elasticidade.

Escobal (2017), Ferreira (2019) e Sarti Júnior (2020) realizaram ensaios em dois tipos de resinas epoxídicas (*primer* e saturação), identificadas em seu trabalho como A e B, respectivamente, imersas em água com temperatura constante (23° C) para as idades de 7 e 14 dias (idade considerada como sendo referência para os demais ensaios) e 4, 8, 12 e 24 meses. A Figura 1a apresenta um diagrama genérico da evolução da resistência de resinas ao longo do tempo, enquanto a Figura 1b apresenta a

tensão de tração relativa da resina B ao longo dos 24 meses. Verifica-se, para o trabalho realizado, redução média de até 68% após 2 anos de exposição à umidade constante.



**Figura 1 - Perda de resistência de polímeros expostos à umidade em função do tempo: (a) (Adaptado de ISIS, 2006) e (b) Escobal (2017), Ferreira (2019) e Sarti Júnior (2020).**

Para Juvandes (1999), quase todos os adesivos são suscetíveis à absorção de água, levando a um processo de amolecimento da matriz e ao aumento de volume, influenciando nas propriedades mecânicas e reduzindo a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), a qual pode ser definida como sendo a temperatura acima da qual as propriedades mecânicas do polímero mudam de um sólido rígido e frágil para as de um plástico fluido e viscoso. Segundo Ghorbel e Valentim (1994)<sup>1</sup> *apud* Posterlli, Carrazedo e Dalfré (2018), no caso de exposição à umidade por um longo período, pode ocorrer a hidrólise, que pode ser definida como um ataque às ligações químicas da resina, modificando irreversivelmente sua estrutura química e reduzindo a sua  $T_g$ .

#### - Temperatura

Segundo Seong (2003), quando as resinas são submetidas ao processo de aquecimento e ultrapassam a  $T_g$  ocorre uma queda brusca do módulo de elasticidade, da resistência à tração e à compressão. Desta forma, a temperatura de manuseio para aplicação das resinas deve ser sempre mantida abaixo da  $T_g$ .

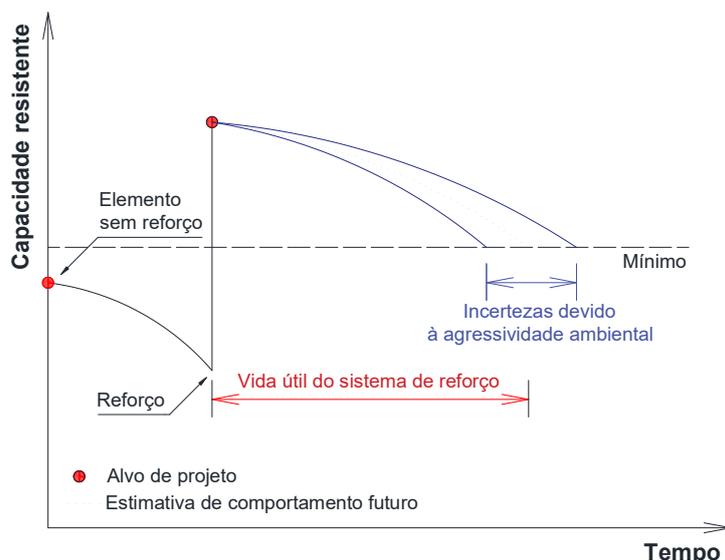
#### - Envelhecimento artificialmente acelerado

Os chamados ensaios de envelhecimento acelerado são recomendados quando se pretende avaliar, de maneira controlada, em um certo intervalo de tempo, os efeitos de agentes causadores de degradação de um certo material ou formulação, seja isoladamente ou em conjunto (DE PAOLI, 2008). Posteriormente, é possível estabelecer uma correlação entre o envelhecimento artificialmente acelerado e o tempo real de envelhecimento, possibilitando estimar a vida útil de materiais e sistemas. A partir desta informação podem ser sugeridas medidas protetivas visando a extensão da vida útil do material frente ao meio de exposição, tal como o apresentado na Figura 2.

No âmbito de ensaios artificialmente acelerados aplicados aos FRPs, destaca-se o uso dos protocolos ACPs (*Accelerated Conditioning Protocols*) apresentados na norma ACI 440.9R (2015). Segundo esta norma, os sistemas de reforço devem ser aplicados segundo as diretrizes apresentadas na norma ACI 440.2R (2017) com posterior degradação nos seguintes ambientes de exposição:

- *Standart laboratory conditions*: ambiente laboratorial de referência com temperatura e umidade relativa de  $23 \pm 3$  °C e  $50 \pm 10$  %, respectivamente;
- *Continuous immersion in water*: imersão contínua em água potável com temperatura controlada de  $50 \pm 3$  °C;

[1] GHORBEL, I.; VALENTIN, D. Hydrothermal effects on the physico-chemical properties of pure and glass fiber reinforced polyester and vinylester resins. *Polymer Composites*, v.14, n.4, p.324-334, 1994.

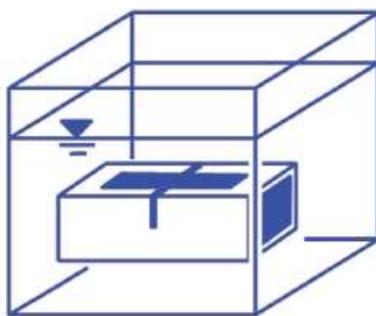


**Figura 2 - Diagrama da capacidade resistente ao longo do tempo para elementos reforçados (Dalfré *et. al*, 2022)**

- *Continuous exposure to humidity*: exposição contínua a umidade de 100% com temperatura controlada de  $60 \pm 3$  °C; e

- *Continuous immersion in alkaline solution*: imersão contínua em solução alcalina com temperatura controlada de  $50 \pm 3$  °C.

Após o período de cura das resinas epoxídicas, o elemento reforçado e os materiais de reforço devem ser inseridos em um tanque, com geometria definida de modo a atender a demanda de ensaios a serem realizados, com presença de água potável, solução alcalina ou umidade constante de acordo com o método de aceleração da degradação selecionado. A Figura 3 apresenta o esquema de ensaio proposto pela norma ACI 440.9R (2015) para realização do protocolo de degradação artificial acelerado.



**Figura 3 - Arranjo de ensaio proposto para a degradação artificial acelerada (ACI 440.9R, 2015)**

O período de duração dos protocolos ACPs pode variar entre 1000 e 10000 h. Porém, a norma ACI 440.9R (ACI, 2015) sugere um período intermediário de 3000 h de exposição. Os ensaios mecânicos para verificação do comportamento do elemento reforçado ou dos materiais pós-acondicionamento devem ser conduzidos, após o término do período de exposição, dentro de um intervalo de 2 a 5 horas (SARTI JÚNIOR, 2020).

Com relação à temperatura da água potável ou solução alcalina, a norma ACI 440.9R (2015) indica que esta deve ser mantida a  $50 \pm 3$  °C.

Neste âmbito, este trabalho exploratório em andamento visa avaliar, por meio do protocolo de acondicionamento acelerado, o comportamento mecânico de resinas epoxídicas comumente utilizadas no sistema de reforço SBR ou EBR e a eficiência da proteção com material cimentício.

## Metodologia

Ensaio de tração uniaxial foram realizados em corpos de prova de resinas epoxídicas bicomponentes após exposição a um protocolo de acondicionamento acelerado baseado em sua imersão em água potável à  $50 \pm 3$  °C (imersão constante, IC) e ambiente laboratorial. Desta forma, foram confeccionados 42 corpos de prova, tal como o apresentado na Tabela 1.

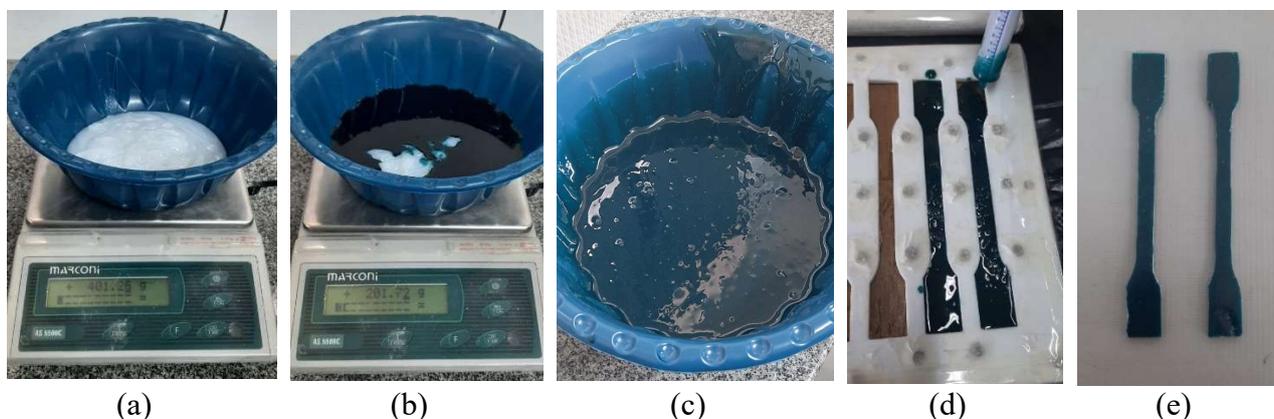
**Tabela 1 - Resumo do programa experimental**

Idade	Corpos de prova		
	Laboratorial (sem proteção)	Laboratorial (com proteção)	Umidade constante (com proteção)
14 dias	6	-	-
1000h (42 dias)	6	6	6
5000h (208 dias)*	6	6	6

\* A ser posteriormente realizado

### - Corpos de prova de resina epoxídica

Para a confecção dos corpos de prova foi utilizada resina epoxídica do tipo saturação e moldes de teflon, seguindo-se a geometria apresentada nas normas ISO 527-1 (2012) e ISO 527-2 (2012). A moldagem dos corpos de prova foi realizada fazendo-se, primeiramente, a pesagem dos componentes da resina na proporção indicada pelo fabricante. Posteriormente, tais componentes foram misturados manualmente durante 3 minutos e foram aplicados nos moldes de teflon com o auxílio de seringas. Após a aplicação da resina nos moldes, foram colocadas folhas de acetato e peças retangulares de vidro com pesos em sua superfície para assegurar a planicidade dos corpos de prova. Por fim, após a cura, as resinas foram desmoldadas e removidas as arestas excedentes. A Figura 4 apresenta o passo a passo da moldagem dos corpos de prova de resina epoxídica.



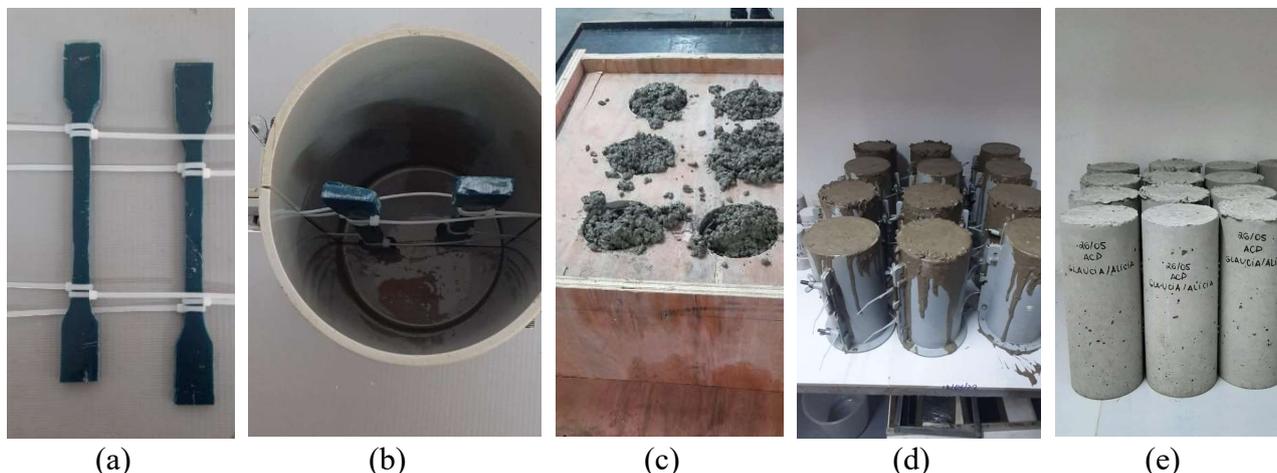
**Figura 4 - Pesagem dos componentes da resina (a-b), resina após a mistura dos componentes (c), aplicação da resina no molde (d) e aspecto final dos corpos de prova (d)**

### - Revestimento de concreto

Após a moldagem dos 42 corpos de prova de resina epoxídica, 24 foram revestidos por material cimentício. Para isso, os corpos de prova de resina epoxídica foram inseridos, dois a dois, em moldes cilíndricos com altura de 20 cm e diâmetro de 10 cm. Abraçadeiras de nylon fixadas aos moldes cilíndricos foram utilizadas para garantir o posicionamento dos corpos de prova de resina epoxídica durante a concretagem. Posteriormente, o concreto foi preparado com o auxílio de betoneira utilizando-se traço 1:1,5:3 e fator água/cimento de 0,5 e lançado nos moldes cilíndricos em 3 camadas de igual espessura e foi adensado com o uso de mesa vibratória durante 1 minuto por camada. Os corpos de prova de concreto foram submetidos à cura úmida por 7 dias, período durante o qual permaneceram cobertos com filme plástico para evitar os efeitos de retração pela evaporação da água.

Após a cura, os corpos de prova foram desmoldados e inseridos nos ambientes de exposição apresentados na Tabela 1.

A Figura 5 apresenta o passo a passo da moldagem dos corpos de prova cilíndricos de concreto que continham os corpos de prova de resina em seu interior. Para a estimativa da resistência à compressão do concreto também foram moldados corpos de prova segundo os procedimentos da ABNT NBR 5738 (2015), os quais foram posteriormente submetidos ao ensaio de compressão conforme as recomendações da ABNT NBR 5739 (2018).



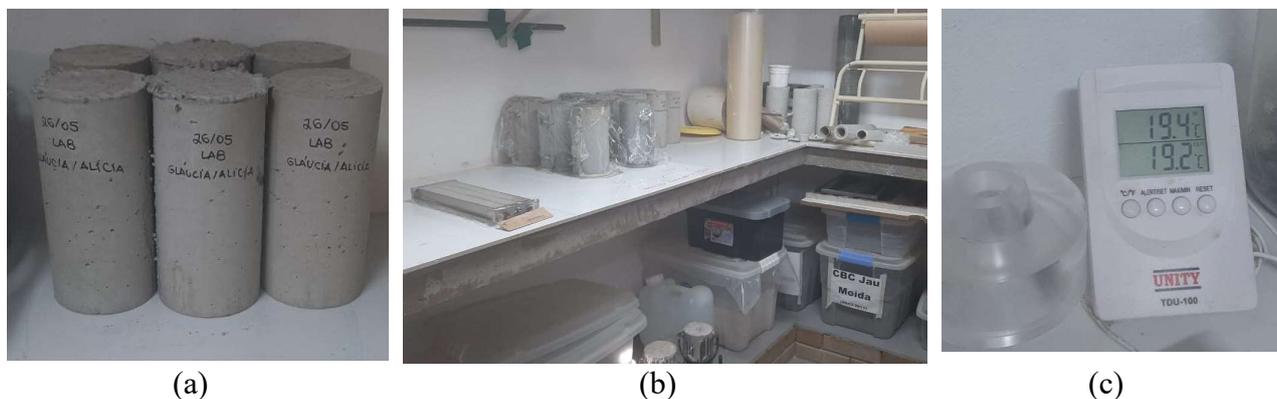
**Figura 5 - Corpos de prova de resina com abraçadeiras de nylon (a), posicionamento no molde cilíndrico (b), lançamento do concreto e adensamento (c), corpos de prova após a moldagem (d) e aspecto final dos corpos de prova (e)**

#### - Ambientes de exposição

Os corpos de prova revestidos com concreto foram inseridos em dois ambientes distintos: ambiente laboratorial e imersão contínua em água potável, seguindo o protocolo de acondicionamento acelerado apresentado pela norma ACI 440.9R (2015).

O interior de uma câmara climatizada (Figura 6), com temperatura e umidade monitoradas, foi o ambiente laboratorial utilizado. Assim, metade dos corpos de prova de referência (não protegidos) e dos corpos de prova protegidos foram mantidos neste ambiente durante 14 dias e 1000h (42 dias), períodos após os quais foram ensaiados à tração uniaxial para obtenção de suas propriedades mecânicas.

Com relação ao protocolo de acondicionamento acelerado (umidade constante), metade dos corpos de prova protegidos foram inseridos em uma caixa de degradação preenchida com água da rede de abastecimento público aquecida a  $50 \pm 3$  °C com o uso de uma resistência de imersão de 2500 W, ligada a uma controladora e a um termostato de 30A, responsáveis pela manutenção da temperatura da água, tal como o apresentado na Figura 7.



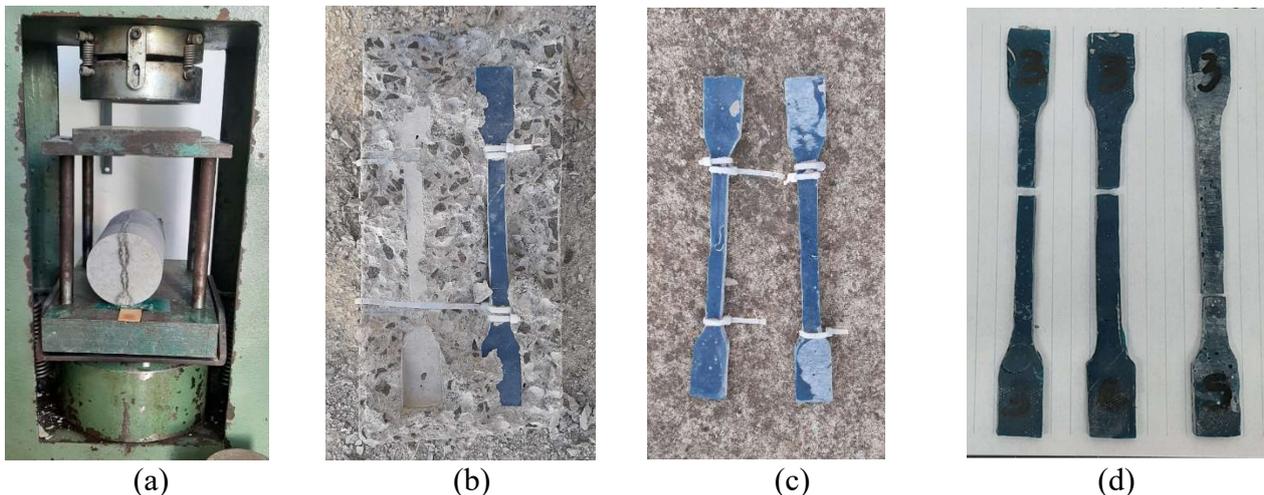
**Figura 6 – Corpos de prova no ambiente laboratorial (a-b) e monitoramento de temperatura e umidade (c)**



**Figura 7 - Caixa de degradação (a-c)**

### - Ensaio de tração uniaxial

Os corpos de prova de concreto com as resinas epoxídicas em seu interior foram retirados dos seus respectivos ambientes de exposição nas idades pré-estabelecidas na Tabela 1. Posteriormente, tais corpos de prova de concreto foram submetidos à tração por compressão diametral para remoção das resinas epoxídicas de seu interior (Figura 8a-c). Posteriormente, os corpos de prova de resina epoxídica foram submetidos à ensaios de tração uniaxial realizados segundo a norma ISO 527-2 (2012), os quais foram realizados no Laboratório de Polímeros do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) da UFSCar, utilizando-se máquina de ensaios universal da marca Instron, modelo 5569, com velocidade de aplicação de carregamento de 2 mm/min, segundo as normas ISO 527-1 (2012) e ISO 527-5 (2012). As deformações foram medidas com o uso de um extensômetro eletrônico, da marca Instron, com base de 50 mm, o qual foi posicionado no centro dos corpos de prova e removidos quando uma deformação de 1% foi atingida. A Figura 8d apresenta o aspecto final dos corpos de prova ensaiados.



**Figura 8 – Posicionamento do corpo de prova de concreto para tração por compressão diametral (a), corpo de prova de concreto partido ao meio (b), corpos de prova de resina epoxídica removidos do concreto (c) e aspecto final dos corpos de prova após ensaio (d)**

### Resultados e discussão

#### - Concreto

O concreto utilizado apresentou abatimento médio de 40 mm e resistência média à compressão de 64,66 MPa.

## - Resinas epoxídicas

A Tabela 2 apresenta os resultados médios de tensão média máxima e do módulo de elasticidade médio das resinas epoxídicas mantidas em ambiente laboratorial durante o período de cura (14 dias - referência) e após 1000h de exposição ao protocolo de acondicionamento acelerado (ACP), sem e com proteção.

**Tabela 2 - Resumo dos resultados obtidos**

Idade	Corpos de prova		
	Condição	Tensão média máxima (MPa)	Módulo de elasticidade médio (GPa)
14 dias	Referência	39,28 (3,68)	1,01 (0,06)
1000h (Laboratorial)	Desprotegido	38,77 (3,30)	0,96 (0,05)
1000h (Laboratorial)	Protegido	40,80 (3,00)	0,97 (0,07)
1000h (ACP)	Desprotegido	27,40 (3,28)	0,58 (0,04)
1000h (ACP)	Protegido	32,25 (1,55)	0,81 (0,04)

(valor) Desvio-padrão

Analisando-se a Tabela 2 verifica-se que, em comparação com as resinas de referência, as quais foram ensaiadas 14 dias após a moldagem, não houve redução da tensão máxima e do módulo de elasticidade das resinas após 1000h de exposição ao ambiente laboratorial, com e sem proteção.

Entretanto, verificam-se reduções significativas, tanto de tensão máxima quanto do módulo de elasticidade, para os corpos de prova mantidos no protocolo de degradação acelerada (ACP).

Os corpos de prova protegidos e desprotegidos pela matriz cimentícia apresentaram reduções médias de 17,9% e 19,8% e 30,2% e 42,6% da tensão máxima e do módulo de elasticidade, respectivamente, em comparação aos resultados obtidos para a idade de 14 dias (referência). Tal fato se deve à penetração dos agentes agressivos (umidade e temperatura) nos poros do concreto, atingindo a resina epoxídica em seu interior e, conseqüentemente, provocando sua degradação.

Com relação aos corpos de prova mantidos no protocolo de degradação acelerado, os corpos de prova protegidos apresentaram tensão de tração e módulo de elasticidade 17,7% e 39,7% superiores aos não protegidos. Desta forma, ainda que protegidas pelo concreto, as resinas sofreram degradação pela ação da umidade constante e temperatura de 50 °C.

## Conclusões

Este trabalho apresenta alguns resultados de um programa experimental em andamento que visa analisar a durabilidade de resinas epoxídicas comumente utilizadas em sistemas de reforço com FRP de estruturas de concreto armado. Pesquisas anteriores comprovaram a degradação deste material quando diretamente exposto às condições ambientes e, conseqüentemente, a ação de agentes agressivos. Desta forma, neste trabalho analisou-se a exposição de resinas epoxídicas protegidas no interior do concreto a um protocolo de acondicionamento acelerado do ACI 440.9R (2015), o qual consiste na imersão constante dos corpos de prova em água mantida a  $50 \pm 3$  °C.

Com as resinas de referência, não houve redução da tensão máxima e do módulo de elasticidade das resinas após 1000h de exposição ao ambiente laboratorial, com e sem proteção.

Entretanto, para os corpos de prova mantidos no protocolo de degradação acelerada (ACP), verificaram-se reduções de 17,9% e 19,8% e 30,2% e 42,6% da tensão máxima e do módulo de elasticidade, respectivamente, dos corpos de prova protegidos e desprotegidos pela matriz cimentícia em comparação aos resultados obtidos para a idade de 14 dias (referência).

Embora as normas recomendem o uso de sistemas de proteção do sistema de reforço de modo a se evitar sua possível degradação devido a agressividade ambiental, verifica-se que, ainda que protegidas pelo concreto, as resinas analisadas nesta pesquisa apresentaram degradação pela ação da umidade constante e temperatura de 50 °C.

## Referências

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE 440.R. Report on Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. 2007.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE 440.9R. Guide to Accelerated Conditioning Protocols for Durability Assessment of Internal and External Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement. 2015.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI COMMITTEE 440.2R. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. American Concrete Institute, ACI Committee 440, 116p. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2018.
- BRUNO, G. U. (2018). Avaliação da degradação natural e acelerada de revestimentos orgânicos. 2018. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia na área de Ciência e Tecnologia dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- DALFRÉ, G. M.; PARSEKIAN, G. A. (2022). Introdução. In: DALFRÉ, G. M. Polímeros Reforçados com Fibras na Construção Civil: Dimensionamento de sistemas de reforço e armaduras não metálicas à flexão e ao cisalhamento segundo normas ACI. São Carlos: EdUFSCar.
- DE PAOLI, M. A. Degradação e estabilização de polímeros. Editora Chemkeys, 2ª versão online, 2008.
- ESCOBAL, A. D. (2017). Caracterização da degradação de adesivos estruturais utilizados em sistemas de reforço de estruturas de concreto armado. Relatório Final de Iniciação Científica. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).
- FIB BULLETIN 90 (2019). Externally applied FRP reinforcement for concrete structures – Technical report, Task Group 5.1, Maio, 2019.
- FERREIRA, D. C. (2019). Avaliação da degradação de vigas reforçadas com FRP quando expostas ao intemperismo. 2019. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 527-1. Plastics – Determination of tensile properties – Part 1: General principles. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 2012.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 527-2. Plastics – Determination of tensile properties – Part 2: Test Conditions for Moulding and Extrusion Plastics. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 2012.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 527-5. Plastics – Determination of tensile properties – Part 5: Test Conditions for unidirectional fibre-reinforced plastic composites. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 2012.
- ISIS. Durability of FRP composites for construction: educational module nº.8 – The Canadian network of centers of excellence on intelligent sensing for innovative structures, ISIS Canada Corporation, Manitoba, Canada, 2006.
- OLIVEIRA, M. C. (2019). Análise do Comportamento Estrutural e Durabilidade de Pilares de Concreto Armado Reforçados com Manta de GFRP. 2019. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.
- POSTERLLI, M. C., CARRAZEDO, R., DALFRÉ, G. M. (2018). Durabilidade de estruturas reforçadas com FRP. 3º Encontro Luso-Brasileiro de Degradação em Estruturas de Concreto Armado (Degrada), 22 a 24 de agosto, São Carlos.
- SARTI JUNIOR, L. A. (2020). Durabilidade de vigas de concreto armado reforçadas com mantas de GFRP submetidas a degradação acelerada. 2020. 170 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.
- SEONG, L. Y. Durability of Fiber Reinforced Polymer Composites Under Tropical Climate. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), National University of Singapore, Singapura, 2003.
- ZHAO, J.; CAI, G.; CUI, L.; SI LARBI, A.; TSAVDARIDIS, K. D. Deterioration of Basic Properties of the Materials in FRP-Strengthening RC Structures under Ultraviolet Exposure. *Polymers*, v. 9, 2017.