

Marcia Regina Werner Schneider Abdala
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Civil 4



Marcia Regina Werner Schneider Abdala

(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Civil 4

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Prof^a Dr^a Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof^a Dr^a Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Prof^a Dr^a Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof^a Dr^a Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof^a Dr^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof^a Dr^a Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof^a Dr^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof^a Dr^a Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof^a Dr^a Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará

Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.ª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará
Prof. Msc. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.ª Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
134	Impactos das tecnologias na engenharia civil 4 [recurso eletrônico] / Organizadora Marcia Regina Werner Schneider Abdala. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Civil; v. 4) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-543-3 DOI 10.22533/at.ed.433192008 1. Construção civil. 2. Engenharia civil. 3. Tecnologia. I. Abdala, Marcia Regina Werner Schneider. II. Série CDD 690
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A construção civil é um setor extremamente importante para um país, e como tal é responsável pela geração de milhões de empregos, contribuindo decisivamente para os avanços da sociedade.

A tecnologia na construção civil vem evoluindo a cada dia e é o diferencial na busca da eficiência e produtividade do setor. A tecnologia permite o uso mais racional de tempo, material e mão de obra, pois agiliza e auxilia na gestão das várias frentes de uma obra, tanto nas fases de projeto e orçamento quanto na execução.

A tecnologia possibilita uma mudança de perspectiva de todo o setor produtivo e estar atualizado quanto às modernas práticas e ferramentas é uma exigência.

Neste contexto, este e-book, dividido em dois volumes apresenta uma coletânea de trabalhos científicos desenvolvidos visando apresentar as diferentes tecnologias e os benefícios que sua utilização apresenta para o setor de construção civil e também para a arquitetura.

Aproveite a leitura!

Marcia Regina Werner Schneider Abdala

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
DURABILIDADE E DEGRADAÇÃO DE ADESIVOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS EM SISTEMAS DE REFORÇO COM FRP DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO	
Amanda Duarte Escobal Mazzú Mariana Corrêa Posterli Gláucia Maria Dalfré	
DOI 10.22533/at.ed.4331920081	
CAPÍTULO 2	14
INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE PRODUTO DE CURA QUÍMICA FORMADOR DE MEMBRANA NA PROFUNDIDADE CARBONATADA DO CONCRETO	
Alisson Rodrigues de Oliveira Dias Daniel Mendes Pinheiro Wilton Luís Leal Filho João Mateus Reis Melo	
DOI 10.22533/at.ed.4331920082	
CAPÍTULO 3	26
ESTUDO DE CASO DE PATOLOGIAS OBSERVADAS EM REVESTIMENTO EXTERNO DE FACHADA COM MANIFESTAÇÕES EM PINTURA DE UM EDIFÍCIO RESIDENCIAL	
Amanda Fernandes Pereira da Silva Hildegard Elias Barbosa Barros Diego Silva Ferreira	
DOI 10.22533/at.ed.4331920083	
CAPÍTULO 4	39
ESTUDO DAS PRINCIPAIS PATOLOGIAS NA ESTRUTURA DA PONTE DO BRAGUETO EM BRASÍLIA - DF	
Erick Costa Sousa Juliano Rodrigues da Silva Marcelle Eloi Rodrigues Maysa Batista Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.4331920084	
CAPÍTULO 5	54
AÇÕES MITIGADORAS DA REAÇÃO ÁLCALIS AGREGADO COM EMPRESAS ATUANTES NO MERCADO IMOBILIÁRIO DO RECIFE	
Cristiane Santana da Silva Amâncio da Cruz Filgueira Filho Roberto de Castro Aguiar Klayne Kattiley dos Santos Silva Manueli Sueni da Costa Santos	
DOI 10.22533/at.ed.4331920085	

CAPÍTULO 6	66
CORROÇÃO: MECANISMOS E TÉCNICAS PARA PROTEÇÃO E RECUPERAÇÃO DE ARMADURAS EM ESTRUTURAS DE CONCRETO	
Ariane da Silva Cardoso	
Thayse Dayse Delmiro	
Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani	
Eliana Cristina Barreto Monteiro	
Tiago Manoel da Silva Agra	
DOI 10.22533/at.ed.4331920086	
CAPÍTULO 7	87
ANÁLISE DE UMA CONSTRUÇÃO VERTICAL PÚBLICA EM ALVENARIA ESTRUTURAL NA CIDADE DO RECIFE-PE	
Amâncio da Cruz Filgueira Filho	
Iago Santos Calábria	
Bruno de Sousa Teti	
Lucas Rodrigues Cavalcanti	
Amanda de Moraes Alves Figueira	
Walter de Moarais Calábria Junior	
DOI 10.22533/at.ed.4331920087	
CAPÍTULO 8	97
INSPEÇÃO E DIAGNÓSTICO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS PRESENTES EM UMA PONTE NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE	
Romildo Alves Berenguer	
Yane Coutinho Lira	
Fernanda Cavalcanti Ferreira	
Thaís Marques da Silva	
Bráulio Silva Barros	
Joanna Elzbieta Kulesza	
DOI 10.22533/at.ed.4331920088	
CAPÍTULO 9	110
AVALIAÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM EDIFICAÇÕES TÉRREAS NA CIDADE DE TERESINA-PI	
Wendel Melo Prudêncio de Araújo	
Diego Silva Ferreira	
Hudson Chagas dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.4331920089	
CAPÍTULO 10	122
POLUIÇÃO VISUAL: ESTUDO DA QUALIDADE VISUAL DA CIDADE DE SINOP – MT	
Cristiane Rossatto Candido	
Renata Mansuelo Alves Domingos	
João Carlos Machado Sanches	
DOI 10.22533/at.ed.43319200810	

CAPÍTULO 11 134

LEVANTAMENTO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS: ESTUDO DE CASO NUMA EDIFICAÇÃO EM SALGUEIRO-PE

Rafael Filgueira Amaral
Amâncio da Cruz Filgueira Filho
Lucíolo Victor Magalhães e Silva
Bruno de Sousa Teti
Iago Santos Calábria
Walter de Moarais Calábria Junior

DOI 10.22533/at.ed.43319200811

CAPÍTULO 12 147

IDENTIFICAÇÃO DE MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA E RECUPERAÇÃO DE FUNDAÇÃO DE ESTRUTURA DE CONCRETO ARMADO EM RECIFE-PE

Bruno de Sousa Teti
Iago Santos Calábria
Amâncio da Cruz Filgueira Filho
Camila Fernanda da Silva Siqueira
Walter de Moarais Calábria Junior
Lucas Rodrigues Cavalcanti

DOI 10.22533/at.ed.43319200812

CAPÍTULO 13 159

ERROS CONSTRUTIVOS COMO ORIGEM DE PATOLOGIAS NO CONCRETO ARMADO EM OBRAS NA CIDADE DE SÃO JOÃO DO RIO DO PEIXE-PB

Kleber de Sousa Batista
Maria Aparecida Bezerra Oliveira
Rafael Wandson Rocha Sena

DOI 10.22533/at.ed.43319200813

CAPÍTULO 14 171

MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS DEVIDO A FALHAS NO PROCESSO PRODUTIVO DE ELEMENTOS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO ARMADO

Pablo Luiz Oliveira Aguiar
Gabriel Diógenes Oliveira Aguiar
Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade

DOI 10.22533/at.ed.43319200814

CAPÍTULO 15 185

INSPEÇÃO PRELIMINAR E MONITORAMENTO DE EDIFICAÇÃO EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM BRASÍLIA

Matheus Nunes Reis

DOI 10.22533/at.ed.43319200815

CAPÍTULO 16 199

INVESTIGAÇÃO E RECUPERAÇÃO DE PROBLEMAS PATOLÓGICOS EM UM MURO DE CONDOMÍNIO RESIDENCIAL LOCALIZADO NA CIDADE DO RECIFE-PE

Bruno de Sousa Teti
Iago Santos Calábria
Amâncio da Cruz Filgueira Filho
Lucas Rodrigues Cavalcanti
Amanda de Moraes Alves Figueira
Walter de Moarais Calábria Junior

DOI 10.22533/at.ed.43319200816

CAPÍTULO 17 213

MÉTODOS E ENSAIOS UTILIZADOS PARA VALIDAÇÃO DE PATOLOGIA ESTRUTURAL EM PILARES DE CONCRETO ARMADO COM BAIXA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Robson Viera da Cunha
Itallo Mahatan Danôa Lima
Delio Leal e Silva
Flavio César Fernandes
Danilo Lima da Silva
José de França Filho

DOI 10.22533/at.ed.43319200817

CAPÍTULO 18 228

PATOLOGIA EM PAVIMENTOS INTERTRAVADOS: FABRICAÇÃO E ASSENTAMENTO

Gabriel Diógenes Oliveira Aguiar
Pablo Luiz Oliveira Aguiar
Danilo Teixeira Mascarenhas de Andrade

DOI 10.22533/at.ed.43319200818

CAPÍTULO 19 241

PATOLOGIAS NA ESTRUTURA DA ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL ARLINDO FERREIRA DOS SANTOS

Hosana Emilia Abrantes Sarmiento Leite
Edjanissa Kettilan Barbosa da Silva
Adri Duarte Lucena

DOI 10.22533/at.ed.43319200819

CAPÍTULO 20 257

REFORÇO ESTRUTURAL, MONOLITIZAÇÃO E IMPERMEABILIZAÇÃO EM BLOCOS DE FUNDAÇÃO

Carlos Fernando Gomes do Nascimento
José Carlos Juvenal da Silva
Thaís Marques da Silva
Felipe Figueirôa de Lima Câmara
Manueli Suêni da Costa Santos
Dandara Vitória Santana de Souza
Cristiane Santana da Silva
Esdras José Tenório Saturnino
Igor Albuquerque da Rosa Teixeira
Marília Gabriela Silva e Souza
Carlos Eduardo Gomes de Sá Filho
Eliana Cristina Barreto Monteiro

DOI 10.22533/at.ed.43319200820

CAPÍTULO 21	271
ESTUDO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DO CONCRETO A PARTIR DA UTILIZAÇÃO DE RCD COMO AGREGADO GRAÚDO	
Brenno Tércio da S. Miranda	
Cícero Jefferson R. dos Santos	
Danylo de Andrade Lima	
Edmilson Roque da Silva Júnior	
Larissa Santana Batista	
Marcelo Laédson M. Ferreira	
Marco Antônio Assis de Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.43319200821	
CAPÍTULO 22	288
ESTUDO SOBRE INSERÇÃO DE RASPAS DE PNEUS NO TIJOLO ECOLÓGICO FABRICADO NA REGIÃO DE TERESINA-PI	
Francisca das Chagas Oliveira	
Francisco Arlon de Oliveira Chaves	
Linardy de Moura Sousa	
Marcelo Henrique Dias Sousa	
DOI 10.22533/at.ed.43319200822	
CAPÍTULO 23	297
PROJETO SEPTICA – EXPERIÊNCIAS EM EXTENSÃO PARA O SANEAMENTO RURAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DA CACHOEIRA DO BRUMADO (MARIANA – MG)	
André de Oliveira Faria	
Aníbal da Fonseca Santiago	
Jefferson de Oliveira Barbosa	
Lívia de Andrade Ribeiro	
Thainá Suzanne Alves Souza	
Thaissa Jucá Jardim Oliveira	
DOI 10.22533/at.ed.43319200823	
CAPÍTULO 24	310
ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO USO DE AGREGADO RECICLADO DE CONCRETO NA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE ARGAMASSAS	
Romildo Alves Berenguer	
Yane Coutinho Lira	
Fernanda Cavalcanti Ferreira	
Thais Marques da Silva	
Bráulio Silva Barros	
Joanna Elzbieta Kulesza	
DOI 10.22533/at.ed.43319200824	
CAPÍTULO 25	322
CAUSAS PATOLÓGICAS NA CONSTRUÇÃO CIVIL: ESTUDO DE CASO EM UMA CONSTRUTORA DO MUNICÍPIO DE JUAZEIRO DO NORTE	
Victor Nogueira Lima	
Gabriela Linhares Landim	
Larissa de Moraes Rocha	
DOI 10.22533/at.ed.43319200825	
SOBRE A ORGANIZADORA.....	336
ÍNDICE REMISSIVO.....	337

DURABILIDADE E DEGRADAÇÃO DE ADESIVOS ESTRUTURAIS UTILIZADOS EM SISTEMAS DE REFORÇO COM FRP DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Amanda Duarte Escobal Mazzú

Mestranda, PPGECiv, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
São Carlos – São Paulo

Mariana Corrêa Posterli

Doutoranda, SET, Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP)
São Carlos – São Paulo

Gláucia Maria Dalfré

Professora Doutora, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)
São Carlos – São Paulo

RESUMO: A utilização de polímeros reforçados com fibras (FRP - *Fiber Reinforced Polymer*, em língua inglesa) como material de reforço teve início na década de 70, tendo se consolidado como uma alternativa leve, durável e de fácil execução. Entretanto, quando se aplica o sistema de reforço baseado na colagem externa (designado na literatura internacional por técnica EBR, *Externally Bonded Reinforcement*), os materiais ficam desprotegidos e diretamente expostos à ação do meio ambiente. Sabe-se que elevada temperatura, umidade e raios ultravioletas (UV) provocam a degradação do sistema de reforço, podendo resultar em perda de aderência e redução da resistência e rigidez do elemento estrutural. Neste âmbito, um programa experimental em andamento tem o objetivo de avaliar a evolução temporal de

propriedades mecânicas (nomeadamente tensão de tração e módulo de elasticidade) de resinas epoxídicas usualmente utilizadas em sistema de reforço externo. Os resultados mais relevantes obtidos até o momento serão aqui apresentados e discutidos.

PALAVRAS-CHAVE: Reforço com FRP, Resinas epoxídicas, Durabilidade, Comportamento a longo prazo.

DURABILITY AND DEGRADATION OF STRUCTURAL ADHESIVES USED IN FRP STRENGTHENING TECHNIQUES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

ABSTRACT: The use of Fiber Reinforced Polymers (FRP) as strengthening material began in the 70's, having been consolidated as a lightweight, durable and easy to apply alternative. However, when using the Externally Bonded Reinforcement technique (EBR), the strengthening materials are unprotected and directly susceptible to the environmental actions. It is known that high temperature, humidity and ultraviolet rays (UV) cause degradation of the strengthening systems, which can result in loss of bond and reduction of the strength and stiffness of the structural element. In this context, an ongoing experimental program aims to evaluate the temporal evolution of mechanical properties (namely tensile strength and modulus of elasticity) of epoxy resins typically used in the external strengthening technique. The most

relevant results obtained will be herein presented and discussed.

KEYWORDS: FRP strengthening, Epoxy resins, Durability, Long-term behavior.

1 | INTRODUÇÃO

A principal técnica de reforço com materiais compósitos (FRP, *Fiber Reinforced Polymer* em língua inglesa) consiste na colagem externa de mantas ou laminados do material na superfície do elemento (de concreto, aço ou madeira). Esta técnica é conhecida na literatura internacional por EBR (*Externally Bonded Reinforcement*) e permite que o reforço seja realizado de forma rápida, com pouca intervenção durante a instalação e sem a necessidade de muitos equipamentos, justificando a facilidade de aplicação. Além disso, Boer *et al.* (2013) ainda consideram a técnica de aplicação de mantas de FRP uma alternativa mais barata e durável para o reforço e recuperação de estruturas.

Embora as propriedades e vantagens do reforço utilizando FRP descritas anteriormente sejam bem conhecidas, uma vez que o sistema de reforço é colado na superfície do elemento estrutural, este permanece desprotegido e susceptível às ações ambientais. Nesse sentido, o desafio atual para os engenheiros civis está relacionado a questões que envolvem o comportamento desse material ao longo do tempo e à durabilidade do sistema de reforço, principalmente quando exposto a condições ambientais agressivas (SILVA, 2017).

Os fatores considerados mais críticos para a durabilidade dos sistemas de reforço em FRP são apresentados na Figura 1 (ISIS, 2006).

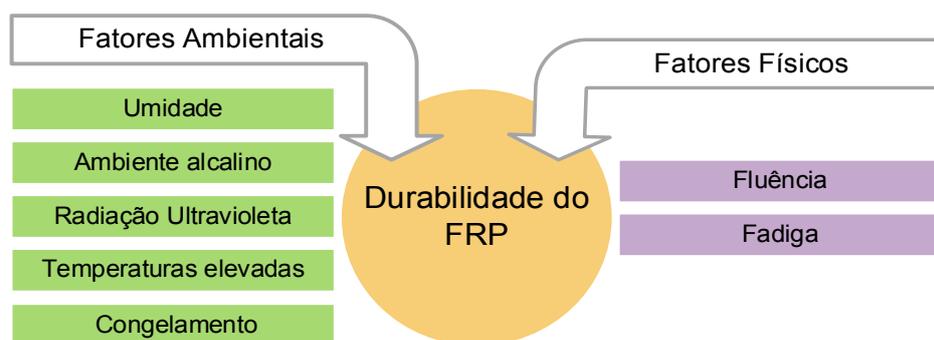


Figura 1 - Fatores que afetam a durabilidade dos compósitos de FRP (adaptado de ISIS, 2006)

A matriz polimérica tem papel importante na determinação da durabilidade do compósito quando exposto à degradação ambiental, pois além de transferir as tensões entre as fibras, seu papel também é de protegê-las. Em aplicações que envolvem o reforço externo de estruturas pela técnica EBR também é utilizado um adesivo polimérico para a adesão do compósito de FRP à superfície do concreto visando a transferência de esforços do elemento estrutural para o FRP.

A absorção de umidade pela resina epoxídica resulta primeiramente em amolecimento da matriz, ou seja, ocorre um aumento da mobilidade molecular da

matriz polimérica uma vez que as moléculas de água ocupam os espaços entre as cadeias poliméricas, reduzindo as forças coesivas intermoleculares. Este é um processo reversível que resulta em redução da temperatura de transição vítrea (T_g), 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. No caso de exposição à umidade por um longo período de tempo, ocorre simultaneamente a hidrólise, um ataque às ligações químicas da resina, modificando irreversivelmente sua estrutura química e reduzindo a sua T_g (GHORBEL; VALENTIM, 1994). Dessa forma, o enfraquecimento das ligações intermoleculares dos polímeros resulta em redução da sua resistência, módulo de elasticidade, deformação máxima e dureza (ISIS, 2006).

Yang *et al.* (2008) avaliaram o efeito da imersão de resinas epoxídicas em água por 24 meses (em temperatura constante de 23°C, 38°C e 60°C). Os resultados da pesquisa indicam uma pequena redução da T_g para as amostras mantidas à 23°C e uma redução mais expressiva para as amostras mantidas à 38°C e 60°C. Além disso foram constatadas reduções nas propriedades mecânicas das amostras de resina obtendo-se, ao fim dos 24 meses, reduções na resistência à tração de 43%, 44% e 69% e reduções no módulo de elasticidade de 36%, 40% e 68% para as temperaturas de 23°C, 38°C e 60°C, respectivamente.

A degradação dos constituintes dos polímeros quando expostos à radiação UV ocorre por meio de um mecanismo conhecido como fotodegradação, em que a radiação UV, dentro de uma gama de comprimentos de onda específicos (290 a 400nm) quebra as ligações químicas entre as cadeias poliméricas. A quebra dessas ligações só é possível pois a energia de ligação dos polímeros é menor que a energia promovida pela luz UV (KARBHARI *et al.*, 2003; TONG; WHITE, 1996; ZHAO *et al.*, 2017).

Os efeitos da fotodegradação geralmente atingem apenas poucos microns da superfície exposta do FRP. Porém, apesar da degradação superficial, os componentes poliméricos geralmente apresentam uma redução desproporcional de suas propriedades mecânicas, uma vez que as fissuras resultantes da fotodegradação superficial concentram as tensões nessas regiões e, portanto, fraturam com níveis de tensão muito menores dos esperados para amostras que não foram expostas (KARBHARI *et al.*, 2003). As fissuras resultantes da fotodegradação também atuam de maneira a aumentar a susceptibilidade dos compósitos de FRP ao ataque de outros mecanismos de degradação como a absorção de umidade e soluções alcalinas (ISIS, 2006).

Pesquisa realizada por Zhao *et al.* (2017) avaliou o comportamento de diferentes tipos de resinas poliméricas quando expostas à radiação UV. A exposição ao UV foi feita de maneira cíclica em uma câmara de envelhecimento acelerado onde os corpos de prova foram submetidos a ciclos de 8 horas com radiação UV (280 a 315nm) e 4 horas de condensação com temperatura e umidade constantes (95% e 60°C) por um total de 90 dias. Os resultados dos ensaios de tração indicaram redução de 65% na resistência à tração e redução de 69% no módulo de elasticidade das resinas éster vinílicas, enquanto as resinas epoxídicas apresentaram redução apenas do módulo de elasticidade em 20%.

Os adesivos poliméricos usualmente empregados na construção civil sofrem redução

significativa tanto de suas propriedades mecânicas quanto da sua adesão ao concreto quando expostas a temperaturas acima de sua temperatura de transição vítrea T_g (usualmente varia entre 65°C e 120°C). Quando a temperatura ambiente supera a T_g , as resinas poliméricas apresentam modificações em sua estrutura molecular provocada pelo enfraquecimento das suas ligações intermoleculares, o que causa amolecimento e redução do módulo de elasticidade da matriz (ISIS, 2006). Para temperaturas mais elevadas, entre 300°C e 500°C ocorre a decomposição das matrizes poliméricas empregadas nos compósitos de FRP (MOURITZ, 2007).

Okba *et al.* (2017) avaliaram o efeito da elevação de temperatura no comportamento de resinas do tipo poliéster e vinil éster. Após a cura das resinas (7 dias à temperatura de 23°C e umidade de 30%) elas foram mantidas à 60°C, 100°C, 150°C e 200°C por períodos de 1, 2, 3 e 6 horas. Os resultados dos ensaios de tração das resinas revelaram que, para apenas 1 hora de exposição, ocorreram reduções de 35%, 64%, 88% e 96% na resistência à tração da resina poliéster mantida à temperatura de 60°C, 100°C, 150°C e 200°C, respectivamente. Para a resina epoxídica foram obtidas reduções de 43%, 88%, 94% e 98% na resistência à tração dos corpos de prova mantidos por apenas 1 hora à temperatura de 60°C, 100°C, 150°C e 200°C, respectivamente. O aumento do tempo de exposição às temperaturas indicadas teve pouco efeito na redução das propriedades mecânicas das resinas.

A escassez de pesquisas na área e a forma pouco fundamentada que as normas ou códigos tratam as questões envolvendo o comportamento do sistema de reforço em FRP quando exposto a diferentes condições ambientais conduzem à necessidade de mais investigações na área da durabilidade e comportamento mecânico das resinas epoxídicas utilizadas para adesão ou impregnação de mantas e laminados de carbono (CFRP) ou vidro (GFRP) ao substrato de concreto segundo a técnica EBR.

Nesse sentido a presente pesquisa apresenta os principais resultados experimentais obtidos para o comportamento mecânico (nomeadamente tensão de tração e módulo de elasticidade) de adesivos epoxídicos usualmente empregados no reforço externo de estruturas de concreto quando expostos a condições de degradação acelerada.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de caracterizar a degradação de adesivos estruturais utilizados em sistemas de reforço de estruturas de concreto armado, foi conduzido um programa experimental no qual foram moldados 60 corpos de prova de resina epoxídica [resina A (*primer*) e resina B (laminação)], os quais foram expostos a uma câmara de envelhecimento acelerado. Estes corpos de prova foram submetidos a ensaio de tração uniaxial após 7 e 14 dias de cura da resina e 14, 28 e 42 dias de envelhecimento acelerado, conforme apresenta a Tabela 1.

Ambiente de exposição	Idade de ensaio	Quantidade de corpos de prova	
		Resina A (Primer)	Resina B (Laminação)
Referência (ambiente laboratorial)	7 dias (cura parcial)	6	6
	14 dias (cura completa)	6	6
Envelhecimento acelerado	14 dias	6	6
	28 dias	6	6
	42 dias	6	6
Total de corpos de prova		30	30

Tabela 1 - Campanha experimental

As principais variáveis a serem estudadas para análise da degradação dos adesivos estruturais são o comportamento tensão *versus* deformação e as alterações do módulo de elasticidade dos corpos de prova de resina epoxídica.

O programa experimental foi dividido em três etapas: confecção dos corpos de prova, exposição aos ambientes pré-definidos e caracterização dos materiais por meio de ensaios de tração uniaxial.

2.1 Confecção dos corpos de prova de resina epoxídica

Para a confecção dos corpos de prova de resina epoxídica foi necessária a utilização de moldes de teflon, garantindo-se, desta maneira, a estabilidade dimensional dos corpos de prova durante o processo de produção (DALFRÉ, 2016). A geometria dos corpos de prova de resina epoxídica seguiu as dimensões apresentadas na recomendação ISO 527-2 (2012).

A moldagem dos corpos de prova, cujo processo é apresentado na Figura 2, foi realizada primeiramente misturando-se os componentes A e B das resinas epoxídicas do tipo primer e do tipo laminação por um tempo mínimo de 3 minutos, de modo a se obter a homogeneização dos materiais. Em seguida, a mistura obtida foi lançada nos moldes de teflon, removendo-se o excesso de resina. Por fim, após 24h de cura, os corpos de prova foram desmoldados e os moldes foram limpos e preparados para nova moldagem. O processo de mistura mecânica dos componentes de resina provoca a formação de bolhas que persistem mesmo após o lançamento da resina nos moldes. Desta maneira, os corpos de prova que apresentavam uma grande quantidade de bolhas foram descartados, uma vez que este excesso de bolhas pode influenciar o desempenho à tração do material.

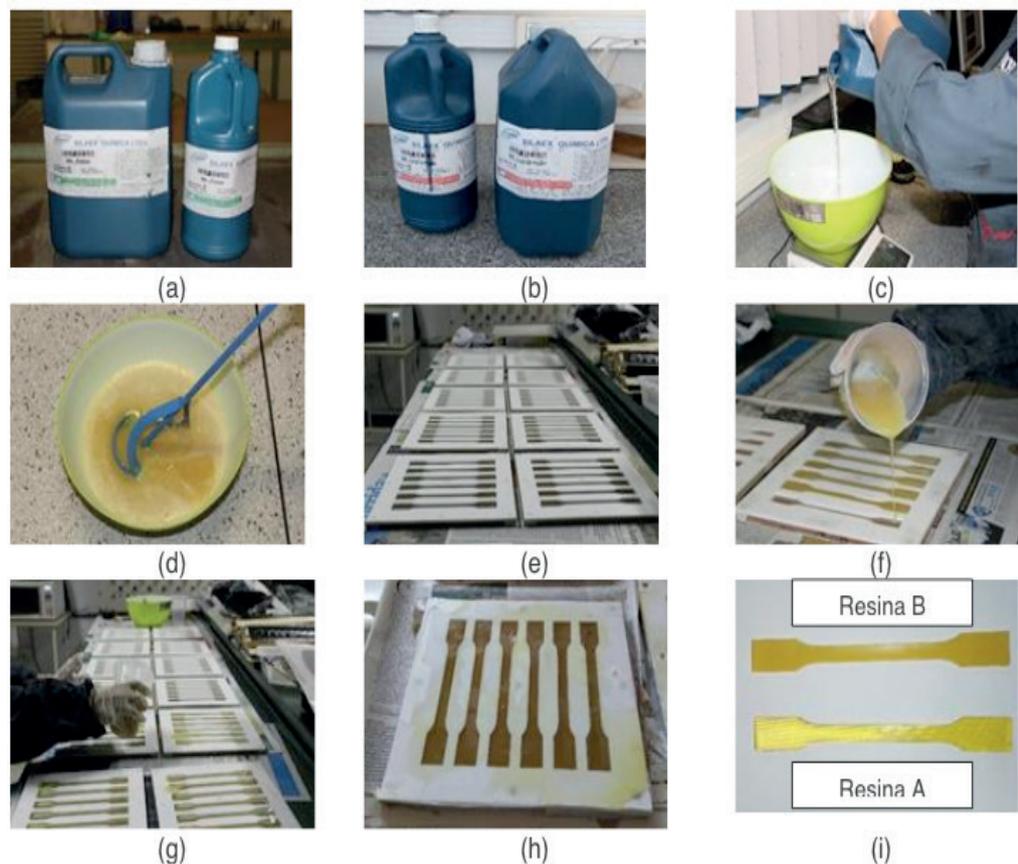


Figura 2 - (a) Resina A, (b) Resina B, (c) pesagem dos componentes, (d) mistura mecânica, (e) moldes de teflon, (f-g) lançamento da mistura nos moldes, (h) corpos de prova após 24h de cura e (i) aspecto final dos corpos de prova (ESCOBAL, 2017)

2.2 Exposição aos ambientes pré-definidos

Após o tempo necessário para cura completa dos corpos de prova de resina epoxídica (14 dias), estes foram expostos aos ambientes previamente apresentados na Tabela 1. Assim, os corpos de prova submetidos a envelhecimento acelerado foram mantidos em câmara de envelhecimento da marca Equilam, disponível no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM) da Universidade de São Paulo (EESC/SET/USP), a fim de acelerar o processo de deterioração dos corpos de prova por meio da ação da irradiação UVA, UVB, condensação e choque térmico.

Para o envelhecimento acelerado foi utilizado um ciclo de 12h composto por 8h de irradiação UVB a $0,7 \text{ w/m}^2$ e $60 \text{ }^\circ\text{C}$ e 4h de vapor a $50 \text{ }^\circ\text{C}$. A Figura 3 apresenta a câmara de envelhecimento acelerado utilizada.



Figura 3 - Câmara de envelhecimento acelerado utilizada para a degradação dos corpos de prova (ESCOBAL, 2017)

2.3 Caracterização dos materiais por meio de ensaios de tração uniaxial

Com o objetivo de caracterizar a degradação de adesivos estruturais utilizados em sistemas de reforço com FRP de estruturas de concreto armado, o comportamento à tração dos corpos de prova de resina epoxídica foi obtido por meio de ensaios de tração uniaxial realizados de acordo com os procedimentos da recomendação ISO 527-2 (2012). Assim, 6 amostras foram analisadas para cada tipo de resina e idade de ensaio.

Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaios universal da marca Instron, modelo 5569, presente no Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), com velocidade de aplicação de carga de 2 mm/min. A Figura 4 apresenta a execução do ensaio de tração uniaxial e o aspecto dos corpos de prova de Resina A após o ensaio.

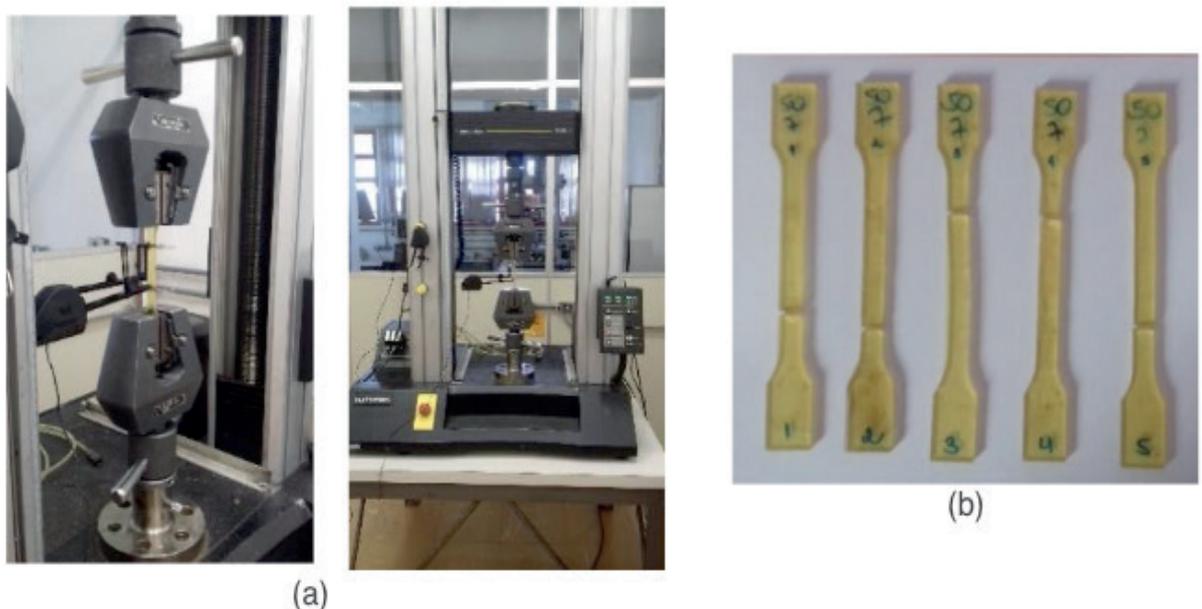


Figura 4 - Ensaio de tração uniaxial dos corpos de prova de resina epoxídica: (a) Execução do ensaio e (b) Exemplo de corpos de prova após ensaio de tração uniaxial (ESCOBAL, 2017)

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se, a seguir, os resultados obtidos de tensão de tração máxima e módulo de elasticidade dos corpos de prova de resinas epoxídicas do tipo A e B mantidos em câmara de envelhecimento acelerado. Os corpos de prova foram submetidos a ensaio de tração uniaxial após 7 e 14 dias de cura da resina, e 14, 28 e 42 dias de envelhecimento acelerado.

3.1 Resina A (Primer)

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para os corpos de prova de resina epoxídica do tipo *Primer*, enquanto a Figura 5 apresenta os diagramas médios tensão *versus* deformação do material analisado.

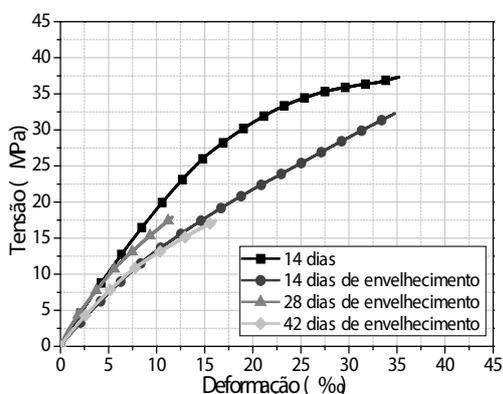


Figura 5 - Diagrama tensão versus deformação dos corpos de prova de resina epoxídica A (*primer*) (ESCOBAL, 2017)

7 dias de cura		
Amostra	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	34,34	1,91
2	32,85	1,98
3	31,39	2,09
4	32,73	2,20
5	-----*	-----*
6	-----*	-----*
14 dias de cura		
Amostra	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	33,79	2,15
2	33,13	2,52
3	38,12	2,22
4	36,28	2,09
5	39,34	2,15
6	-----*	-----*
14 dias de envelhecimento acelerado		
Amostra	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	15,04	2,06

2	12,93	1,17
3	24,75	1,53
4	22,21	1,81
5	12,50	1,58
6	25,34	1,60
28 dias de envelhecimento acelerado		
Amostra	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	15,67	2,37
2	12,01	3,51
3	11,29	3,28
4	14,02	2,09
5	16,36	1,92
6	13,10	1,91
42 dias de envelhecimento acelerado		
Amostra	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	12,54	1,89
2	12,36	1,71
3	15,91	1,86
4	10,39	1,81
5	12,63	1,81
6	20,64	1,83
* Corpos de prova descartados		

Tabela 2 - Resultados obtidos para os corpos de prova de resina epoxídica A (*primer*)

Analisando-se os resultados apresentados na Tabela 2, nota-se que, como esperado, há um pequeno incremento na tensão de tração máxima e no módulo de elasticidade dos corpos de prova ensaiados após 14 dias de cura, em relação aos corpos de prova ensaiados após 7 dias de cura. Como pode ser visto na Figura 5, aos 14 dias de envelhecimento acelerado, os corpos de prova já apresentaram redução em sua resistência à tração máxima (cerca de 44%) e em seu módulo de elasticidade (cerca de 24%). Aos 28 dias de envelhecimento acelerado, observou-se uma redução da resistência à tração máxima de aproximadamente 35%, em relação aos 14 dias de envelhecimento acelerado, enquanto o módulo de elasticidade apresentou aumento. Aos 42 dias de envelhecimento acelerado, a tensão de tração máxima e o módulo de elasticidade apresentaram redução.

A Figura 6 apresenta os corpos de prova de resina A após a execução dos ensaios de tração uniaxial. É possível notar um escurecimento da coloração das amostras ao longo do tempo de exposição à câmara de envelhecimento acelerado.

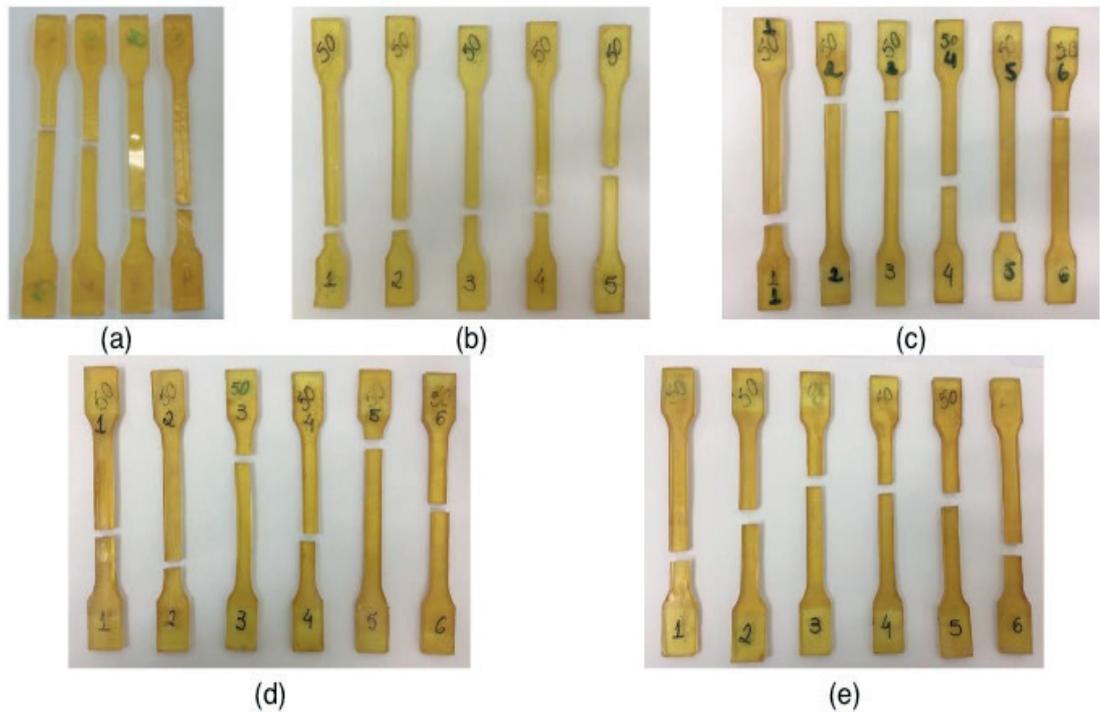


Figura 6 - Corpos de prova de resina A submetidas a ensaio de tração uniaxial: (a) 7 dias de cura, (b) 14 dias de cura, (c) 14 dias de envelhecimento acelerado, (d) 28 dias de envelhecimento e (e) 42 dias de envelhecimento acelerado (ESCOBAL, 2017)

3.2 Resina B (Laminação)

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos para os corpos de prova de resina epoxídica B (laminação), enquanto a Figura 7 apresenta os diagramas médios tensão *versus* deformação do material analisado.

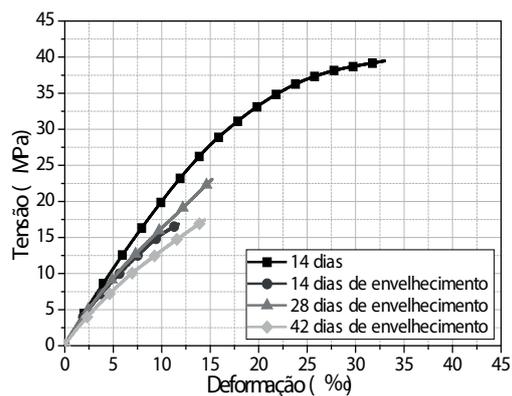


Figura 7 - Diagrama tensão *versus* deformação dos corpos de prova de resina epoxídica B (laminação) (ESCOBAL, 2017)

7 dias de cura		
Amostra	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	37,10	2,40
2	36,02	2,17
3	39,82	2,38

4	38,14	2,20
5	-----*	-----*
6	-----*	-----*
14 dias de cura		
Amostra	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	39,95	2,32
2	39,30	2,39
3	38,39	2,32
4	38,73	2,17
5	36,95	2,27
6	-----*	-----*
14 dias de envelhecimento acelerado		
Amostra	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	14,99	2,02
2	15,21	2,13
3	15,31	2,12
4	14,81	2,49
5	17,44	2,21
6	16,33	2,34
28 dias de envelhecimento acelerado		
Amostra	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	12,57	2,75
2	18,38	1,57
3	13,78	1,65
4	18,09	2,15
5	19,70	2,23
6	11,83	3,14
42 dias de envelhecimento acelerado		
Amostra	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
1	16,35	1,39
2	12,62	2,25
3	14,58	1,80
4	12,34	1,95
5	-----*	-----*
6	-----*	-----*
* Corpos de prova descartados		

Tabela 3 - Resultados obtidos para os corpos de prova de resina epoxídica B (laminação)

Como pode ser visto na Tabela 3, a tensão de tração máxima e o módulo de elasticidade praticamente não apresentaram mudanças entre 7 e 14 dias de cura da resina. Observando-se a Figura 7 é possível perceber que após 14 dias de envelhecimento acelerado, a tensão de tração máxima apresentou uma grande redução (cerca de 60%), enquanto o módulo de elasticidade se manteve aproximadamente constante (redução de apenas 3%). A partir de 14 dias de envelhecimento acelerado, a tensão de tração máxima e o módulo de elasticidade pouco se alteraram.

A Figura 8 apresenta os corpos de prova de resina B após a execução dos ensaios de tração uniaxial. É possível perceber, da mesma forma já mencionada para os corpos

de prova de resina A, um escurecimento da coloração das amostras, apresentado um aspecto cada vez mais envelhecido.

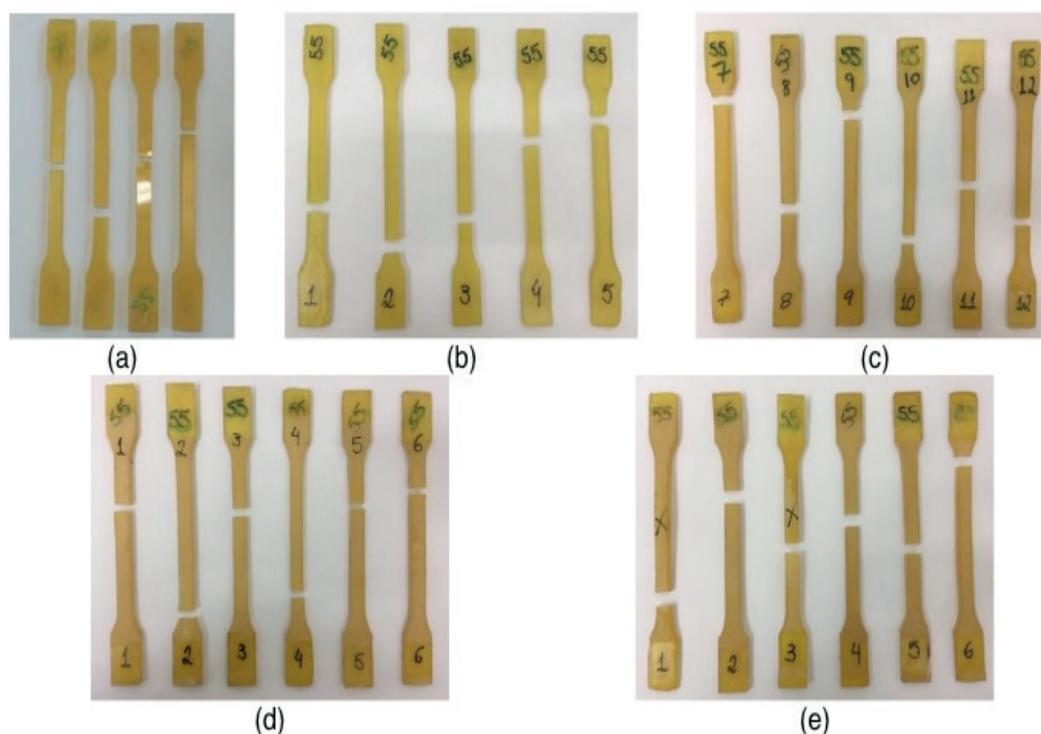


Figura 8 - Corpos de prova de resina B submetidas a ensaio de tração uniaxial: (a) 7 dias de cura, (b) 14 dias de cura, (c) 14 dias de envelhecimento acelerado, (d) 28 dias de envelhecimento e (e) 42 dias de envelhecimento acelerado (ESCOBAL, 2017)

4 | CONCLUSÕES

Este trabalho baseou-se na análise experimental da degradação das propriedades mecânicas (nomeadamente, resistência à tração máxima e módulo de elasticidade) de resinas epoxídicas utilizadas como adesivos estruturais em sistemas de reforço de estruturas de concreto armado. O foco deste trabalho foi o estudo do envelhecimento acelerado, com vistas a se obter uma aproximação da realidade encontrada em estruturas de concreto armado reforçadas externamente segundo a técnica *Externally Bonded Reinforcement* (EBR). Para além disso, ainda está sendo conduzido um programa experimental que visa obter um melhor entendimento da degradação de resinas epoxídicas frente a sua exposição às intempéries, umidade constante e ciclos de umidade.

Com base na análise dos resultados apresentados neste trabalho, conclui-se que, com relação ao envelhecimento acelerado de amostras de resina epoxídica A (*primer*) e B (laminação), a tensão de tração máxima atingida pelos corpos de prova foi afetada significativamente, assim como foram observadas alterações no módulo de elasticidade dos corpos de prova.

Desta maneira, verifica-se, com base nos resultados, a degradação das propriedades mecânicas destes materiais ao longo do tempo. Uma vez que na técnica de reforço EBR, que consiste na colagem externa do material de reforço na estrutura

a ser reforçada, o adesivo é responsável pela aderência das fibras ao substrato e pela eficaz transferência de tensões, o entendimento acerca de seu comportamento em longo prazo é de grande importância.

REFERÊNCIAS

BOER, P.; HOLLIDAY, L.; KANG, T.H.K. **Independent environmental effects on durability of fiber-reinforced polymer wraps in civil applications: A review**. Construction and Building Materials, v.18, p.360-370, 2013.

DALFRÉ, G. M. **Projeto Universal CNPq 483720/2013-5: Estudo da degradação da aderência de compósitos colados a superfícies de concreto armado quando submetidos a ciclos de umidade e carbonatação**. Relatório Técnico, CNPq. 2016.

ESCOBAL, A. D. **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). 2017.

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.

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.

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.

KARBHARI, V.M.; CHIN, J.W.; HUNSTON, D.; BENMOKRANE, B.; JUSKA, T.; MORGAN, R.; LESKO, J.J.; SORATHIA, U.; REYNAUD, D. **Durability Gap Analysis for Fiber-Reinforced Polymer Composites in Civil Infrastructure**. Journal of Composites for Construction, v.7, n.3, p.238-247, 2003.

MOURITZ, A.P. **Durability of Composites exposed to elevated temperature and fire**. In: KARBHARI, V.M. Durability of Composites for Civil Structural Applications, USA: CRC Press, 2007. Cap.6, p.98-125.

OKBA, S.H.; NASR, E.A.; HELMY, A.I.I.; YOUSEF, I.A. **Effect of thermal exposure on the mechanical properties of polymer adhesives**. Construction and Building Materials, v.135, p.490-504, 2017.

SILVA, P.M. **Time-dependent behavior and durability of RC slabs strengthened with NSM CFRP strips**. Thesis, Universidade do Minho, Portugal, 2017.

TONG, L.; WHITE, J.R. **Photo-oxidation of thermoplastics in bending and in uniaxial compression**. Polymer Degradation and Stability, v.53, p.381-396, 1996.

YANG, Q.; GUIJUN, X.; KARBHARI, V. **Hygrothermal ageing of an epoxy adhesive used in FRP strengthening of concrete**. Journal of Applied Polymer Science, v.107, n.4, p. 2607-2617, 2008.

ZHAO, J.; CAI, G.; CUI, L.; LARBI, A.S.; TSAVDARIDIS, K.D. **Deterioration of basic Properties of the materials in FRP-strengthening RC Structures under Ultraviolet Exposure**. Polymers, v.9, n.402, p.1-18, 2017.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alvenaria Estrutural 87, 332

Análise Estrutural 185

B

Bragueto 6, 39, 40, 44, 49, 51, 52

C

Carbonatação 13, 14, 15, 16, 18, 19, 23, 66, 68, 69, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 85, 86, 99, 104, 107, 108

Cidade limpa 122

Comportamento a longo prazo 1

Concreto 14, 24, 38, 40, 53, 54, 59, 60, 64, 65, 66, 74, 84, 85, 86, 108, 109, 146, 155, 157, 158, 169, 184, 185, 198, 211, 212, 213, 227, 240, 245, 261, 268, 270, 274, 280, 286, 287, 321

Concreto Armado 84, 86, 108, 109, 169, 185, 198, 212, 227, 245

Construção 19, 38, 40, 109, 113, 122, 147, 184, 211, 240, 241, 273, 287, 321, 322

Corrosão 45, 50, 66, 68, 84, 85, 86, 102, 109, 110, 115, 117, 167, 212, 270

Cura química 14, 15, 17, 18, 23, 25, 176

D

Degradação 1, 2, 3, 4, 5, 7, 12, 13, 26, 27, 28, 77, 84, 86, 100, 106, 107, 111, 112, 134, 135, 138, 142, 146, 159, 166, 167, 169, 200, 289

Diagnóstico de Manifestações Patológicas 97

Durabilidade 1, 52, 84, 96, 109, 157, 212

E

Edificações 87, 88, 96, 110, 113, 212, 241, 255, 256

Edifício 26, 65, 258

Ensaio e pilares 213

Estrutura 6, 32, 39, 43, 85, 87, 159, 199, 255, 321

F

Fachada 26, 32, 33, 128, 187, 194

Fiscalização 87, 96

Fissura 47, 110, 116, 250, 252

Fundações 54, 64, 65

G

GDE/UNB 39, 40, 41, 42, 49, 52

I

Inspeção 42, 52, 85, 97, 99, 100, 106, 109, 115, 116, 117, 118, 185, 211, 212
Inspeção de Estruturas 97

M

Manifestações patológicas 27, 32, 34, 66, 67, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 106, 108, 110, 111, 114, 115, 116, 119, 120, 134, 135, 136, 137, 143, 144, 145, 171, 172, 173, 174, 183, 184, 186, 188, 189, 197, 201, 211, 214, 228, 229, 231, 241, 242, 243, 244, 245, 252, 255, 257, 259, 324, 329
Monitoramento 185, 192, 193, 300, 301

P

Patologia 34, 35, 38, 87, 109, 110, 113, 121, 146, 147, 158, 199, 201, 212, 227, 236, 241, 243, 252, 255, 256, 334
Poluição visual 122, 123, 124, 125, 126, 130, 131, 132
Ponte 6, 39, 40, 49, 51, 52, 55, 56, 97, 212
Pré-fabricado 171, 173
Prevenção 65, 146, 147, 199

Q

Qualidade visual 7, 122, 123, 124, 126, 127, 131, 132, 133

R

Reação Álcali-Agregado 54, 64
Recuperação 54, 66, 146, 147, 158, 199, 212, 227, 262, 274
Reforço com FRP 1
Resinas epoxídicas 1
Revestimento 26, 38, 141, 187, 188, 321, 332

T

Terapia 135, 137, 202, 258, 330

U

Umidade 50, 77, 110, 118, 140

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-543-3



9 788572 475433