



Avaliação da Utilização de Resina Epóxi como Ponte de Aderência de Concretos de Diferentes Idades

Paulo Roberto Dutra¹, Lucas Tochetto¹, Matheus Schnipa Campesatto¹, Cristina Vitorino da Silva¹

¹ Departamento de Engenharias e Ciência da Computação – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI)
Caixa Postal 15.064 – 91.501-970 – Erechim – RS – Brasil

paulo_rduttra@outlook.com, lucas_tochetto@hotmail.com,
matheus.campesatto@gmail.com, cristina@uricer.edu.br

Abstract. *Concrete is a material used for different purposes, but with the increasing technological advances, it has been the subject of studies on the durability of structures. As a repair technique, removing deteriorated concrete and consequent replacement by new concrete has also become popular. Thus, the present work investigates the adherence among conventional concrete for different surface treatments: apicalization with a dry surface, apicalization with a wet surface, with and without the application of epoxy resin. The compressive strength results pointed out that the application of epoxy on a wet surface was the only treatment capable of equalizing and even surpassing the resistance of the intact concrete.*

Resumo. *O concreto é um material utilizado para diferentes finalidades, mas que, com o crescente avanço tecnológico, tem sido objeto de estudos sobre a durabilidade das estruturas. Como técnica de reparo, a remoção do concreto deteriorado e consequente substituição por concreto novo também tem se popularizado. Assim, o presente trabalho dedicou-se a investigar a aderência entre concretos convencionais para diferentes tipos de tratamento superficial: apicoamento com superfície seca, apicoamento com superfície úmida (com e sem a aplicação de resina epóxi). Os resultados da resistência à compressão apontaram que a aplicação de epóxi em superfície úmida foi o único tratamento capaz de igualar e inclusive superar a resistência do concreto íntegro.*

1. Introdução

Embora seja considerado o material de construção mais utilizado em todo o mundo, o crescente avanço tecnológico requer o contínuo estudo sobre as propriedades do concreto. Devido ao aumento de sobrecargas e ações ambientais, surgem também manifestações patológicas na construção e, conseqüentemente, a necessidade de propiciar maior durabilidade às estruturas de concreto armado (HELENE, 2007).

Nesse contexto, a união de concretos de diferentes idades mostra-se adequada para o reparo de estruturas com grandes superfícies, como lajes e pisos (BISSONETTE *et al.*, 2013). Assim, o concreto que se apresenta deteriorado é substituído por um concreto novo, com características diferentes do primeiro, sendo que a aderência atua como peça-chave para que a estrutura possa trabalhar monoliticamente.



Souza e Ripper (2009), por exemplo, creditam a perda de aderência entre concretos de diferentes idades ao comportamento de interface entre duas concretagens contíguas. Doria, Sales e Andrade (2015), de forma complementar, ressaltam a importância do conhecimento sobre os fatores intervenientes, principalmente em relação à compatibilidade de deformações entre as camadas.

Como recomendação normativa, a NBR 14931 (ABNT, 2004) aponta os seguintes procedimentos para a promoção da aderência: apicoamento e utilização de argamassas e resinas. Desse modo, o presente trabalho buscou verificar a eficiência de tratamentos superficiais à base de epóxi sobre a resistência à compressão de concretos com idades distintas, contribuindo, assim, para a difusão do conhecimento científico na área.

2. Revisão de Literatura

A união de concretos de diferentes idades é uma técnica muito utilizada para o reforço de elementos estruturais, além de viabilizar retomadas de concretagem, problema induzido pela suspensão temporária de atividades, por ampliações ou construção de pavimentos-tipo (GALLETTO, 2005). Por conseguinte, é de primordial importância compreender a relação entre tratamentos superficiais e mecanismos de aderência do concreto.

2.1. Durabilidade das Estruturas de Concreto

O conceito de durabilidade está relacionado diretamente à questão da vida útil (SOUZA e RIPPER, 2009). Nesse sentido, a NBR 15575-1 (ABNT, 2013) destaca-se por instituir o conceito como um “período de tempo compreendido entre o início da operação ou uso de um produto e o momento em que o seu desempenho deixa de atender às exigências do usuário preestabelecidas”. No entanto, cabe ressaltar que o atendimento à vida útil depende da assimilação de uma série de inspeções prediais e manutenções periódicas.

De acordo com Bissonette *et al.* (2013), a deterioração da estrutura pode estar relacionada a erros de execução e/ou especificação de materiais (dosagem, cobrimento, reatividade dos agregados, cura, dentre outros fatores), potencializados com a exposição a uma atmosfera agressiva. Nesse contexto, os principais pontos a serem observados na avaliação de uma estrutura existente são: profundidade da carbonatação; cobrimento e nível de corrosão da armadura; coesão e resistência à compressão do concreto; e teor de cloretos, álcalis, sulfatos e hidróxido de cálcio.

2.2. Aderência entre Concretos para Reforço de Estruturas

A preparação da superfície de substrato, assim como o umedecimento do concreto velho, consiste em um dos principais obstáculos para a promoção de pontes de aderência. O umedecimento pode contribuir para o aumento da relação água/cimento nas regiões próximas à interface, além de impedir a introdução do material de ponte de aderência ou mesmo do concreto de reparo. Por outro lado, uma superfície seca tende a ser mais absorviva, prejudicando, por sua vez, o início das reações de hidratação do cimento. Logo, a recomendação é que o substrato esteja na condição saturada superfície seca (BEUSHAUSEN e ALEXANDRE, 2008 e BEUSHAUSEN, 2010).

Segundo Silfwerbrand e Beushausen (2006), a qualidade da ligação depende de três grandes conjuntos de fatores: características do substrato, material de reparo e técnica empregada e condições ambientais, como mostra a Figura 1.

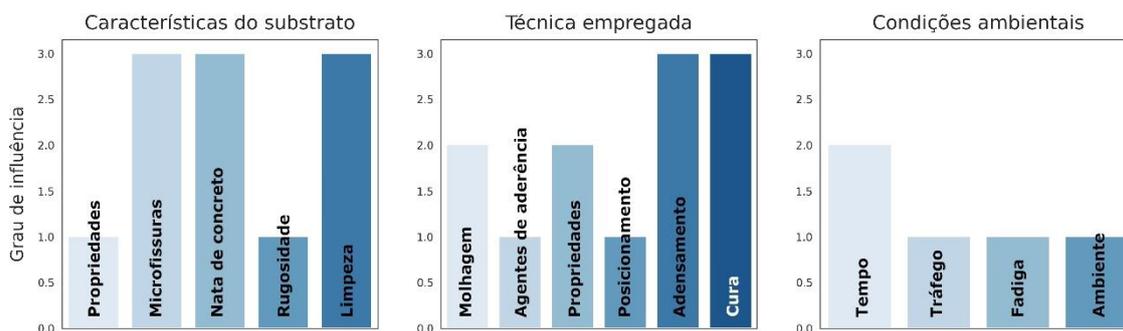


Figura 1. Fatores que influenciam a ligação entre concreto e material de reparo

Quanto aos materiais de reparo, Reis (1998) destaca os materiais à base cimentícia e os ligantes sintéticos, como, por exemplo, as resinas epóxi. Com o objetivo de melhorar as propriedades de ligação, costuma-se também adicionar pozolanas, cinzas volantes, escória de alto forno ou sílica ativa às misturas cimentícias.

2.3. Utilização de Resinas Epóxi

A utilização de epóxi para o reparo de estruturas baseia-se principalmente em suas propriedades adesivas, boa resistência e compatibilidade com o concreto (CÁNOVAS, 1994). Por isso, são indicadas para injeções de trincas e fissuras e união de concretos para reforços estruturais, conforme estudos de diferentes autores.

No campo experimental, Galletto (2005) investigou o comportamento de adesivos à base de epóxi e resina acrílica, além da influência do umedecimento, lixamento e esscarificação em concretos sem qualquer tipo de ponte de aderência. Mediante ensaios de compressão-cisalhamento, observou que o tratamento à base de epóxi implicou resistência acima de 90% da resistência dos prismas monolíticos, enquanto o uso de resina acrílica não colaborou para o acréscimo de aderência entre os concretos.

Doria, Sales e Andrade (2015) avaliaram a aderência entre concretos de diferentes idades para três tipos de tratamentos superficiais: escovação simples; escovação e camada de argamassa igual à do substrato; e escovação e camada de epóxi. Os concretos de substrato e de recuperação foram dosados de modo a atingir, respectivamente, 30 MPa e 35 MPa. Já para a análise da aderência entre aço e concreto foram realizados ensaios de tração direta, cisalhamento oblíquo a 45° e cisalhamento vertical. Em comparação com os corpos de prova submetidos apenas à escovação, o emprego de uma camada de argamassa na interface propiciou um aumento de 15% na resistência à tração por compressão diametral, 4% nos valores de cisalhamento oblíquo e 108%, para o caso de cisalhamento vertical. O tratamento com resina, por sua vez, apresentou aumento de 37% na resistência à tração por compressão diametral, 12% nos valores de cisalhamento oblíquo e 178%, para a aderência por cisalhamento vertical. Portanto, o tratamento que se mostrou mais eficiente foi a escovação com aplicação de epóxi, seguido da aplicação de argamassa e escovação simples.

Mais recentemente, Modesti, Vargas e Schneider (2020) buscaram avaliar o desempenho de adesivos à base de epóxi para o reparo de estruturas de concreto. Para isso, moldaram-se corpos de prova cilíndricos de concreto com resistências de 33 MPa, 46 MPa e 59 MPa, para o uso como substrato, e de 59 MPa, para o reparo. Considerando

um decréscimo aceitável de até 18%, os adesivos de maior viscosidade propiciaram resistências até maiores do que o concreto base, especialmente para o valor de 33 MPa.

3. Materiais e Métodos

A metodologia do trabalho compreendeu três diferentes etapas: caracterização dos materiais; moldagem dos corpos de prova; e ensaios de resistência à compressão.

3.1. Caracterização dos Materiais

Como aglomerante empregou-se o cimento Portland CP-IV para o qual foram obtidos em laboratório os valores de 2,80 g/cm³ para a massa específica e 0,76% de resíduos retidos na peneira nº 200, característica da finura do material. Ambos os ensaios foram realizados conforme disposições da NBR 16605 (ABNT, 2017) e NBR 11579 (ABNT, 2012).

O agregado miúdo utilizado foi a areia média, a qual foi submetida aos seguintes ensaios: análise granulométrica, de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003); massa unitária, consoante a NBR NM 45 (ABNT, 2006); e massa específica, conforme dispõe a NBR NM 52 (ABNT, 2009). Os valores obtidos para essas propriedades físicas podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização do agregado miúdo

Abertura das peneiras (mm)	Média retida (%)	Média retida acumulada (%)
9,50	0,00	0,00
6,30	0,28	0,28
4,75	0,32	0,60
2,36	3,77	4,37
1,18	7,22	11,59
0,60	6,86	18,45
0,30	24,79	43,24
0,15	40,54	83,78
Fundo	16,22	100,00
Módulo de finura		1,62
Dimensão máxima característica (mm)		2,36
Massa específica (g/cm ³)		2,58
Massa unitária (g/cm ³)		1,54

O agregado graúdo apresenta origem basáltica, comercialmente conhecido como brita 1. Além da composição granulométrica e da massa unitária, foram determinadas a massa específica e absorção de água, segundo a NBR NM 53 (ABNT, 2009). A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos nesta etapa do trabalho.



Tabela 2. Caracterização do agregado graúdo

Abertura das peneiras (mm)	Média retida (%)	Média retida acumulada (%)
25,00	0,00	0,00
19,00	3,74	3,74
12,50	32,67	36,41
9,50	22,38	58,78
6,30	26,71	85,49
4,75	11,71	97,20
2,36	2,40	99,60
1,18	0,07	99,67
0,60	0,00	99,67
0,30	0,00	99,67
0,15	0,00	99,67
Fundo	0,33	100,00
Módulo de finura		6,58
Dimensão máxima característica (mm)		19,00
Massa específica (g/cm ³)		2,92
Massa unitária (g/cm ³)		1,60
Absorção de água (%)		0,78

Quanto à ponte de aderência, empregou-se um adesivo estrutural à base de resina epóxi e poliamidas, de média viscosidade, bicomponente e de pega normal. Segundo o fabricante, o produto possui densidade de 1,70 kg/l, temperatura de aplicação de 10°C a 30°C e temperatura de serviço entre 10 °C e 60°C. Após 7 dias da aplicação, apresenta resistência à compressão de 90 MPa e resistência de aderência de 18,4 MPa. O produto deve ser manuseado em até 35 minutos, com tempo de cura final de 7 dias.

3.1. Dosagem Experimental

Em um primeiro momento, foram produzidos 21 corpos de provas cilíndricos, com 10 cm de diâmetro e 20 cm de altura, de acordo com o método IPT/EPUSP (HELENE e TERZIAN, 1992). A resistência característica à compressão do concreto (f_{ck}) foi fixada em 25 MPa, de modo que, para um desvio padrão de 4,0 MPa, a resistência de dosagem definida foi igual a 31,6 MPa, com abatimento do tronco de cone de 100 ± 20 mm. A Figura 2 ilustra a determinação da consistência do concreto, parte do processo de dosagem experimental desenvolvido.



Figura 2. Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone

Após um período de 28 dias acondicionados em câmara úmida (umidade relativa do ar acima de 95% e temperatura constante de 23 ± 2 °C), os corpos de prova foram ensaiados à compressão, como preconiza a NBR 5739 (ABNT, 2018).

De modo a atender uma resistência de 31,6 MPa, definiu-se o traço unitário, em massa, de 1:1,88:3,12 (cimento:areia:pedra). Contudo, para a produção do concreto, considerou-se também o emprego de aditivo superplastificante à base de éter carboxílico modificado em um teor de 0,20% sobre a massa de cimento.

3.2. Confeção dos Corpos de Prova

Após o período de cura, os corpos de prova foram cortados diagonalmente a 60° em relação à força aplicada com o auxílio de uma serra circular, constituindo, assim, os substratos para união com o concreto novo. Com o auxílio de um martelo apicoador, o tratamento inicial consistiu em aumentar a rugosidade da superfície, a fim de permitir a penetração do adesivo nos poros do concreto e uma ancoragem adequada (Figura 3).



Figura 3. Apicoamento e limpeza superficial dos corpos de prova

Além do apicoamento, os tratamentos superficiais também consideraram o umedecimento da base e o emprego de adesivo à base de epóxi (Tabela 3). SU designa

superfície úmida da base; SS refere-se à superfície seca da base; e Ad indica o tratamento superficial com adesivo.

Tabela 3. Tratamentos superficiais

Tratamento superficial	Corpos de prova
Apicoamento + superfície úmida (SU)	3
Apicoamento + superfície seca (SS)	3
Apicoamento + adesivo + superfície úmida (SU + Ad)	3
Apicoamento + adesivo + superfície seca (SS + Ad)	3

Após o apicoamento, procedeu-se à homogeneização da resina, ou seja, à adição do endurecedor e mistura até obtenção de uma cor uniforme. Todas amostras foram acondicionadas dentro do molde (Figura 4b), com a aplicação de adesivo (Figura 4a).

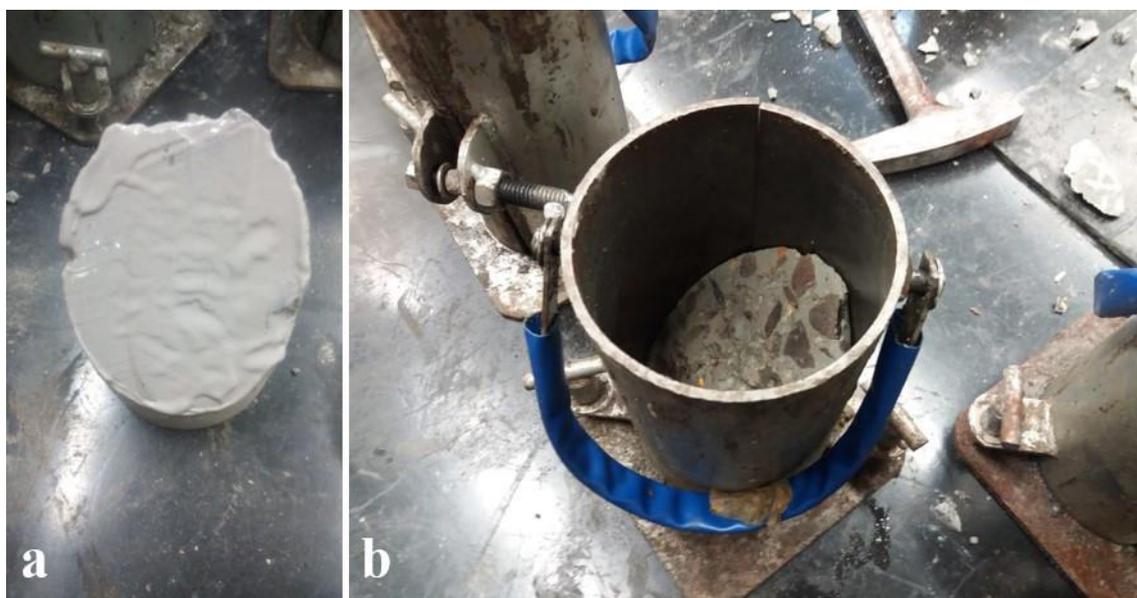


Figura 4. Preparação dos corpos de prova: a) com adesivo; b) sem adesivo

Para a nova concretagem, foram mantidas as propriedades do concreto velho: traço 1:1,88:3,12, relação água/cimento de 0,47 e abatimento do tronco de cone de 100 ± 20 mm. Após a união entre os concretos, os corpos de prova foram adensados e mantidos em câmara úmida por 28 dias (Figura 5), quando foram ensaiados à compressão.

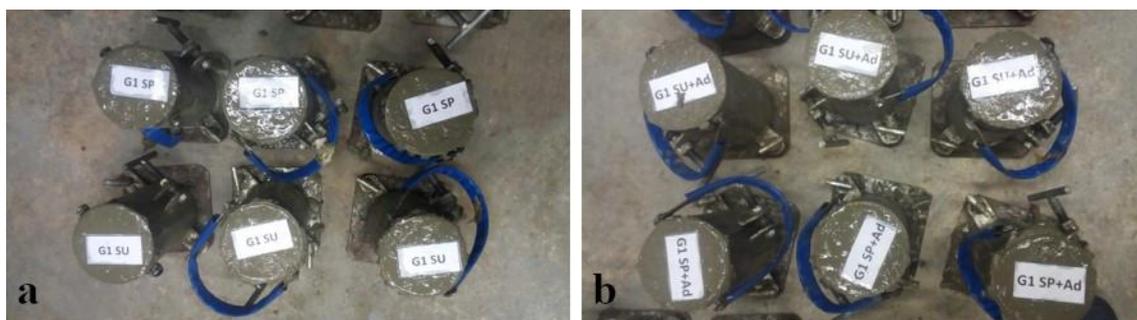


Figura 5. Moldagem dos corpos de prova: a) sem adesivo; b) com adesivo

4. Resultados e Discussões

A presente seção apresenta os resultados obtidos para a resistência dos corpos de prova ensaiados à compressão, após os procedimentos de moldagem e cura em câmara úmida.

4.1. Resistência à Compressão Uniaxial

A Figura 6 apresenta os resultados de resistência à compressão para as diferentes combinações de tratamentos superficiais adotados. Devido à quantidade de corpos de prova, nenhum dos valores foi descartado, a fim de não prejudicar a análise. Ademais, admitiu-se um decréscimo máximo aceitável de resistência até o valor de 25 MPa, procedimento também adotado por Modesti, Vargas e Schneider (2020).

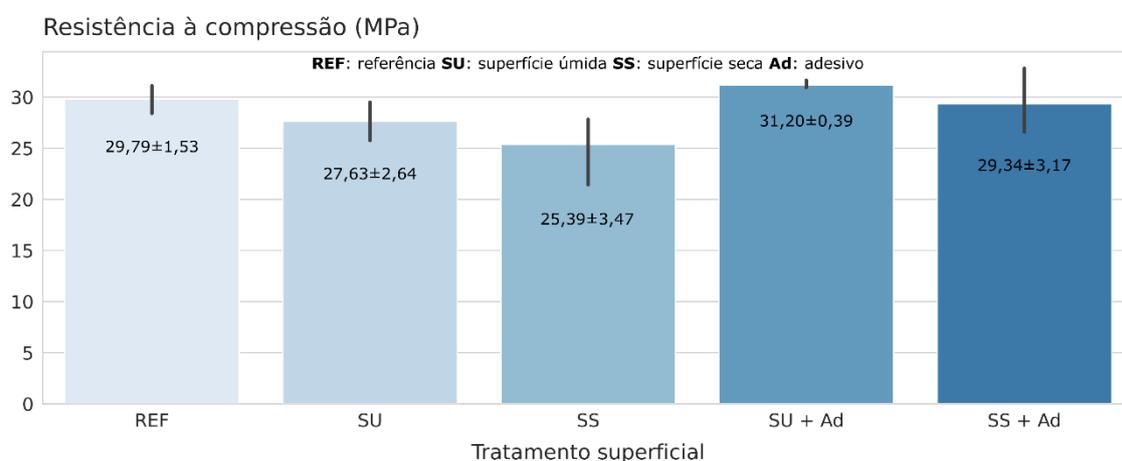


Figura 6. Resistência à compressão média dos corpos de prova ensaiados

Em comparação ao concreto de referência (REF), a união entre os concretos resultou em queda na resistência à compressão média, exceto para a superfície úmida e resina epóxi (Su + Ad), para a qual houve um crescimento de 4,74%. Ademais, mesmo para a condição SS + Ad a diferença pode ser considerada pequena em relação ao concreto monolítico e, logo, a utilização de adesivo é indicada para a manutenção da resistência.

O umedecimento do substrato (SU) mostrou-se um aspecto positivo, respondendo por um ganho de resistência de 8,82%, quando não utilizado adesivo estrutural (SS). Já com o uso de epóxi, a condição saturada superfície seca (SS + Ad) propiciou um aumento de 15,55% na resistência à compressão, em relação à superfície seca (SS). Esse comportamento vai ao encontro das conclusões de Beushausen (2010), o qual recomenda que a superfície esteja nessa condição para melhor aderência entre os concretos.

Para a combinação de superfície úmida e epóxi (SU + Ad), houve um acréscimo de 12,92% na resistência, superior à resistência do concreto de referência. No entanto, a dispersão dos resultados difere de um grupo para outro, como mostra a Figura 7.

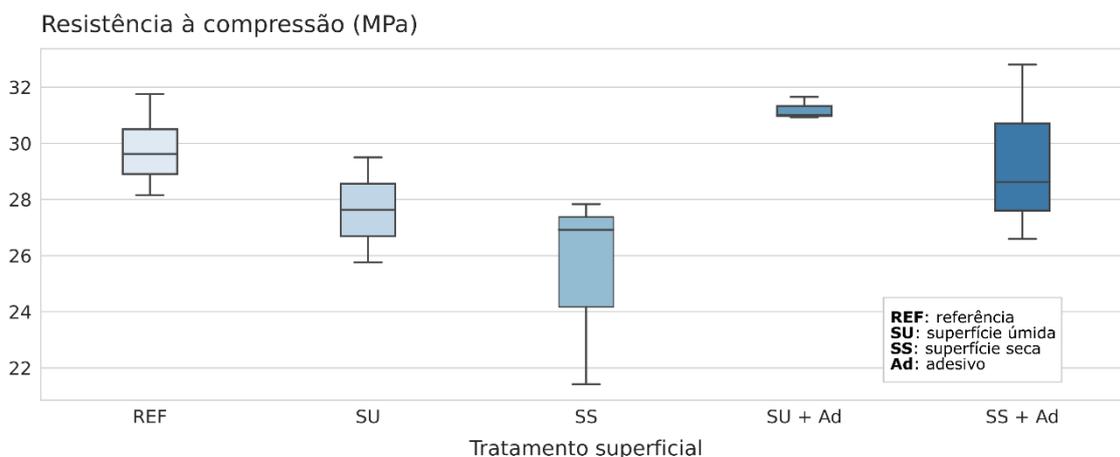


Figura 7. Boxplots da resistência à compressão dos corpos de prova ensaiados

Como pontuado anteriormente, concretos com resistência inferior a 25 MPa e inferior ao concreto de referência foram considerados não conformes, como é o caso do apicoamento com superfície seca. Sem o umedecimento do substrato, os resultados são similares à referência, porém com maior variabilidade (desvio padrão de 3,47 e 3.17 MPa, respectivamente). Além de melhores resultados, o uso de epóxi associado à superfície úmida também proporcionou maior uniformidade aos concretos.

Por meio de análise visual, observou-se a ruptura a partir da interface em apenas dois de doze corpos de prova com tratamento superficial, um com superfície seca e outro com superfície úmida (Figura 8). Ambos foram somente apicoados, o que demonstra indiretamente a eficácia do adesivo. Quanto às demais amostras, não foram observados indícios de ruptura na ligação, com fissuras distribuídas ao longo de sua altura.



Figura 8. Ruptura na interface do corpo de prova com superfície úmida



5. Considerações Finais

Diante dos resultados expostos, pode-se inferir que a resina em epóxi, em associação ao umedecimento da camada contribui para um melhor desempenho na interface (acréscimo de 12,92% na resistência à compressão). Ademais, somente com o agente de aderência, pôde-se obter desempenho maior ou igual ao concreto de referência. Como constatado por meio de revisão da literatura, o concreto com superfície seca promove uma aderência diferenciada com o concreto de reparo, o que pode resultar em resistência incompatível com o projeto estrutural.

Posto que se trata de um concreto convencional, mas com resistência acima do que a mínima estabelecida para a classe de agressividade moderada, uma alternativa seria a utilização de um método mais agressivo para aumentar a rugosidade do substrato. Diversos autores afirmam que a eficácia do apicoamento ou mesmo de outra técnica está intimamente ligada com a resistência do concreto, o que pode explicar os baixos valores encontrados para os corpos de prova unidos sem adesivo.

Cabe ressaltar que este trabalho faz parte de um projeto maior, o qual prevê o ensaio de corpos de prova com outros tratamentos superficiais (natas e sílica ativa) e submetidos a ensaios de cisalhamento oblíquo e tração por compressão diametral. Assim, conclusões assertivas poderão ser obtidas sobre a união de concretos de diferentes idades.

6. Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 45 (2006). Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 52 (2009). Agregado miúdo – Determinação da massa específica e da massa aparente, Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 53 (2009). Agregado graúdo – Determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água, Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR NM 248 (2003). Agregados – Determinação da composição granulométrica, Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 5739 (2018). Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos, Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 11579 (2012). Cimento Portland – Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 µm (nº 200), Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 14931 (2004). Execução de estruturas de concreto – Procedimento, Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 15575-1 (2013). Edificações habitacionais – Desempenho Parte 1: Requisitos gerais, Rio de Janeiro.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 16605 (2017). Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica, Rio de Janeiro.
- Beushausen, H. e Alexander, M. G. (2008). Bond strength development between concretes of different ages. In *Magazine of Concrete Research*, v. 60, n. 1, p. 65-74.



- Beushausen, H. (2010). The influence of concrete substrate preparation on overlay bond strength. In *Magazine of Concrete Research*, v. 62, n. 11, p. 845-852.
- Bissonnette, B., Courard, L., Beushausen, H., Fowler, D., Trevino M. e Vaysburd, A (2013). Recommendations for the repair, the lining or the strengthening of concrete slabs or pavements with bonded cement-based material overlays. In *Materials and Structures*, v. 46, p. 481-494.
- Cánovas, M. F. (1994), *Patología y terapéutica del hormigón armado*, ETS de Ingenieros de Caminos, Madri.
- Doria, M. R., Sales, A. T. C. e Andrade, N. F. (2015). Bond strength between steel-concrete and between concretes with different ages in structural rehabilitation. In *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, v. 8, n. 5, p. 604-624.
- Galletto, A. (2005). “Reparo de estruturas de concreto: contribuição ao estudo da aderência”, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- Helene, P. R. L. e Terzian, P. (1992), *Manual de dosagem e controle do concreto*, Pini, São Paulo.
- Helene, P. (2007). “Introducción”, In: *Rehabilitación y mantenimiento de estructuras de concreto*, editado por Paulo Helene e Fernanda Pereira, SIKA, Bogotá, p. 17-32.
- Modesti, L. A., Vargas, A. S. e Schneider, E. L. (2020). Repairing concrete with epoxy adhesives. In *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 101.
- Reis, A. P. A. (1998). “Reforço de vigas de concreto armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de aço e argamassa de alto desempenho”, Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas), Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Silfwerbrand, J. e Beushausen, H. (2006) “Bonded concrete overlays – bond strength issues”, In: *Concrete repair, rehabilitation and retrofitting*, editado por Mark G. Alexander, Hans-Dieter Beushausen, Frank Dehn e Pilate Moyo, Taylor & Francis, Londres, p. 19-21.
- Souza, V. C. e Ripper, T. (2009), *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*, Pini, São Paulo.