Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ANÁLISE DE PONTES DE ADERÊNCIA PARA REPARO ENTRE CONCRETOS DE ELEVADA RESISTÊNCIA

R. SERAFINI
Estudante de Engenharia Civil
Universidade de Caxias do Sul
Rio Grande do Sul; Brasil
rserafi2@ucs.br

D. T. PAGNUSSAT
Engenheiro Civil, Dr.
Universidade de Caxias do Sul
Rio Grande do Sul; Brasil
dtpagnussat@ucs.br

RESUMO

A aplicação de pontes de aderência entre concretos de diferentes idades é um processo comum em obras de engenharia civil e de elevada importância para a garantia da estabilidade estrutural do elemento reparado, quando necessária a execução deste serviço. O presente estudo teve como objetivo investigar o desempenho de pontes de aderência de base cimentícia e resinas epoxídicas em concretos de alta resistência. O estudo consistiu de quatro dosagens de concreto com variados consumos de cimento, resultando em concretos de diferentes resistências mecânicas à compressão. Foram utilizados concretos com consumos de cimento de 500 kg/m^3, 700 kg/m^3 e 900 kg/m^3 e comparados com um concreto de referência com consumo de 280 kg/m^3, resultando, respectivamente, em concretos de resistência potencial de 86MPa, 99MPa e 107MPa, além do concreto de referência de 48MPa. Os corpos de prova foram cortados a 45º, plano sobre o qual foram aplicadas as pontes de aderência de base cimentícia ou epoxídica, e posteriormente executou-se o concreto novo com as mesmas características do anterior. Os resultados obtidos através da análise da ruptura de corpos de prova, rompidos aos 28 dias de idade do concreto novo, e a análise microscópica do contato interface-substrato demonstraram que a eficiência da união varia de acordo com o tipo da ponte de aderência e a classe de resistência dos concretos a serem unidos.

ABSTRACT

The use of adhesive materials between concrete of different ages is a common process in civil engineering and it is highly important to ensure structural stability of repaired structures. The present work has the objective of investigating the adhesive performance of cement paste and epoxy resins in high performance concrete. Four concrete mixes with different cement consumption were developed resulting in concrete samples with different compressive strength. Concrete mixes with cement consumption of 500 kg/m^3, 700 kg/m^3 e 900 kg/m^3 were made and compared to a reference concrete mix of 280 kg/m^3, resulting, respectively, in concrete with potential compressive strength of 86 MPa, 99 MPa, 107 MPa, and the reference concrete mix of 48MPa. The concrete specimens were cut in a 45º plane where the cementing paste or epoxy adhesive material was applied, and, then, the new concrete was made with the same properties as the old concrete. The results were obtained through rupture pattern analysis conducted after the new concrete reached 28 days old. Microscopic qualitative analysis was conducted in the interface between the epoxy layer and the concrete. Specimen's analysis demonstrates that the efficiency of the adhesive material varies according to the type of adhesive material used and the class of concrete to be bonded.

1. INTRODUÇÃO

Concretos de alta resistência são concretos em que a produção baseia-se na correta escolha de agregados, aditivos e a adições para se obter um superior desempenho à compressão axial. O uso de concretos de alta resistência (CAR) permite maior flexibilidade arquitetônica atavés da possibilidade de maiores vãos livres, o dimensionamento de peças estruturais mais esbeltas, além de gerar uma redução de custos com materiais e mão de obra. Ainda pouco se sabe sobre o comportamento destes materiais de alta resistência em situacões de reparos estuturais que demandem a criação de pontes de aderencia entre concretos novos e velhos. Segundo Fagury[1], a união entre concretos com cimento Portland de diferentes idades é um dos problemas da tecnologia dos concretos estruturais, visto que essa ligação é prejudicada

por diversos fatores desde a retomada de uma concretagem (junta fria) até a recuperação de estruturas de concreto deterioradas. Portanto, o estudo da união de concretos é um estudo de elevada importância para garantia da efetiva transferência de carregamentos entre os elementos estruturais, principalmente em concretos que se aproximem ou ultrapassem a resistência da ponte de aderência. Foram desenvolvidas quatro dosagens de concretos com diferentes consumos de cimento as quais resultaram em concretos de resistência potencial de 86 MPa, 99 MPa e 107 MPa, além do concreto de referência de 48 MPa e avaliado o desempenho de duas pontes de aderências epoxídicas, uma ponte de aderência de base cimentícia e uma ponte de aderência sem tratamento. Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho de pontes de aderência, cimentícias e sem tratamento quando associadas a elementos em concretos de elevada resistência à compressão.

2. DOSAGEM, CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS E RESISTÊNCIA DO CONCRETO

O método de ensaio de resistência a compressão no Brasil é normatizado pelas ABNT NBR 5738:2008: “Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova” e NBR 5739: "Concreto – Ensaio de compressão de corpos de-prova cilíndricos". Os corpos de prova utilizados para o ensaio foram corpos de prova cilíndricos de diâmetro 100mm e comprimento total 200mm curados à temperatura ambiente sem imersão em água com intuito de simular com mais precisão as características do concreto lançado nas obras de construção civil. Para reduzir o número de variáveis do estudo foram utilizados os mesmos materiais para todas as dosagens de concreto, sendo alteradas apenas as quantidades relativas dos materiais. Realizou-se o controle do abatimento do concreto (para o concreto convencional de referencia) e do espalhamento do tronco de cone (para os concretos auto adensáveis de alta resistencia) pela NBR 12655:2015, “Concreto – Preparo, controle e recebimento”. Fixou-se a variação máxima para os testes de slump e espalhamento de ± 10mm entre o concreto velho e o concreto novo.
Foram moldados seis corpos de prova para cada dosagem, sendo quatro corpos de prova para corte e aplicação da ponte de aderência e dois corpos de prova para rompimento e verificação da resistência à compressão axial. Foram moldados 6 corpos de prova por mistura, sendo 4 cortados e 2 inteiros. Logo, este estudo dispos de um total de 32 corpos de prova seccionados a 45º para aplicação da ponte de aderência e oito corpos de prova inteiros para verificação de resistência à compressão axial potencial. A Tabela 1 ilustra a dosagem dos concretos produzidos neste estudo.

Tabela 1 - Dosagem em massa dos concretos utilizados

Material	Dosagem 1 CC: 280 kg/m³		Dosagem 2 CC: 500 kg/m³		Dosagem 3 CC: 700 kg/m³		Dosagem 4 CC: 900 kg/m³	
	Velho	Novo	Velho	Novo	Velho	Novo	Velho	Novo
Traço (1:a:a:p)	1:1,61:1,61:3,46		1:0,62:0,62:1,94		1:0,32:0,32:1,27		1:0,16:0,16:1,01	
Relação a/c	0,600	0,612	0,297	0,300	0,262	0,262	0,218	0,221
Abatimento	60mm	55mm	230mm	240mm	-	-	-	-
Espalhamento	-	-	-	-	720mm	725mm	700mm	693mm
Superplastificante	0,12%	0,41%	0,30%	0,43%	0,57%	0,57%	0,84%	0,84%
Nanosilica	0,40%	0,55%	0,70%	0,70%	0,71%	0,71%	0,70%	0,70%

Nota-se na tabela 1 que, neste estudo, fez-se necessária a adição de água e/ou aditivos para obtenção de um mesmo abatimento para os concretos novos das dosagens 1, 2 e 4. A necessidade do maior uso de água e aditivos para a mesma consistência do concreto se dá por diversos fatores. De acordo com Bauer[2], a consistência é afetada pela temperatura ambiente que modifica a temperatura do próprio concreto, resultando em variações na quantidade de água da mistura para uma mesma consistência. Variações na granulometria e na forma dos grãos alteram a superfície específica dos agregados que tem influência direta na consistência do concreto fresco.

2.1 Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados neste estudo foram cimento de alta resistência inicial (CP V-ARI), areia de britagem de origem basáltica, areia média quartzosa de rio, brita zero basáltica, aditivo superplastificante e aditivo de nanosilica.

2.1.1 Agregados miúdo e graúdo

A granulometria do agregado miúdo foi realizada por peneiramento mecanizado. O módulo de finura da areia industrial foi de 2,56 e o diâmetro máximo do agregado miúdo de 4,8mm. A granulometria da areia industrial pode ser encontrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Granulometria areia industrial

Peneira (mm)	*Peso Retido*	*Porcentagem*	
		Retida	*Acumulada*
4.8	0,4	0,04%	0,04%
2.4	96,5	9,01%	9,05%
1.2	285,7	26,67%	35,71%
0.6	231,7	21,63%	57,34%
0.3	157,0	14,66%	72,00%
0.15	105,5	9,85%	81,84%
FUNDO	194,5	18,16%	100,00%
TOTAL	**1071,3**	**100%**	

A areia média de rio apresentou módulo de finura de 1,95, massa unitária 15,53 kN/m^3 e massa específica de 25,68 kN/m^3. Não foram realizados ensaios de pulvurento e torrões de argila. Os dados de granulometria podem ser encontrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Granulometria areia média

Peneira (mm)	*Peso Retido*	*Porcentagem*	
		Retida	*Acumulada*
4.8	0,0	0,00%	0,00%
2.4	5,0	1,71%	1,71%
1.2	12,0	4,11%	5,82%
0.6	37,0	12,67%	18,49%
0.3	151,0	51,71%	70,21%
0.15	83,0	28,42%	98,63%
FUNDO	4,0	1,37%	100,00%
TOTAL	**292,0**	**100%**	

O agregado graúdo (brita zero) obteve módulo de finura de 1,588 com diâmtro máximo de 9,5mm sendo que os dados de granulometria podem ser encontrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Granulometria brita zero

Peneira (mm)	*Peso Retido*	*Porcentagem*	
		Retida	*Acumulada*
12.5	3,8	0,21%	0,21%
9.5	75,96	4,15%	4,36%
6.3	497,7	27,18%	31,53%
4.8	464,9	25,39%	56,92%
2.4	744,1	40,63%	97,55%
1.2	0	0,00%	97,55%
0.6	0	0,00%	97,55%
0.3	0	0,00%	97,55%
0.15	0	0,00%	97,55%
FUNDO	44,9	2,45%	100,00%
TOTAL	**1831,36**	**100%**	

2.1.2 Aditivo superplastificante

O aditivo Glenium 51 foi utilizado neste estudo. O produto é um aditivo super plastificante líquido de terceira geração com base química de éter policarboxílico. Em concreto no estado fresco, o aditivo possui a função de reduzir o uso de água, aumentar a trabalhabilidade, facilitar adensamento e lançamento, aumentar coesão e redução da segregação. No estado endurecido do concreto, o aditivo aumenta a resistência à compressão, flexão e aumenta o modulo de elasticidade. Gera também um melhor acabamento do concreto, redução da permeabilidade e de fissuras. A tabela 5 ilustra as principais características do produto, segundo informação do fabricante.

Tabela 5 - Tabela de dados técnicos Glenium 51

Teste	Método BASF	Especificação	Unidade
Aparência	TM 761 B	Líquido branco turvo	Visual
pH	TM 112 B	5 – 7	-
Densidade	TM 103 B	1,067 – 1,107	g/cm^3
Sólidos	TM 613 B	28,5 – 31,5	%
Viscosidade	TM 117	< 150	cps

2.1.3 Aditivo de nanosilica

O aditivo Silicon ns advanced 400 é um aditivo à base de policarboxilatos modificados com nanosílica estabilizada com elevado poder dispersante, desenvolvido para concretos de médio e elevado consumo de cimento (> 350kg/m^3) e resistência mecânica superior a 50 MPa. Esta produto induz o crescimento dos outros produtos com melhores propriedades, traduzindo em um concreto de maior qualidade e durabilidade do que sem a nanosílica estabilizada. O pH do produto é naturalmente ácido (3,0 ±1,0) e massa específica (1,07 ±0,02) g/cm^3.

2.2 Resistência dos corpos de prova

Segundo Cremonini[3], a resistência potencial do concreto é considerada o valor de compressão axial máximo possível de ser atingido por um determinado traço de concreto devido às boas condições executivas, permitindo uma melhor hidratação do concreto. Portanto, foram consideradas neste artigo as resistências potenciais de cada dosagem de concreto. O rompimento dos corpos de prova foi realizado com auxilio de uma prensa hidráulica EMIC PC200I com capacidade para até 2000 KN. A Tabela 6 apresenta a resistência a compressão dos corpos de prova de cada dosagem, apresentados com dois algarismos significativos devido à precisão do equipamento utilizado.

Tabela 6 - Resistência à compressão corpos de prova

	Propriedades	Dosagem 1 280kg/m^3	Dosagem 2 500 kg/m^3	Dosagem 3 700 kg/m^3	Dosagem 4 900 kg/m^3
Concreto Velho	Resistências Ensaiadas	45,62 MPa 48,03 MPa	84,44 MPa 86,83 MPa	88,52 MPa 99,22 MPa	107,66 MPa 105,61MPa
	Resistência Potencial	48,03 MPa	86,83 MPa	99,22 MPa	107,66 MPa
Concreto Novo	Resistências Ensaiadas	51,13 MPa 46,24 MPa	97,10 MPa 98,64 MPa	113,72 MPa 112,51 MPa	116,34 MPa 122,95 MPa
	Resistência Potencial	51,13 MPa	98,64 MPa	113,72 MPa	122,95 MPa

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

3 PONTES DE ADERÊNCIA

Segundo Moreno[4], o mecânismo de aderência entre materiais cimentícios é um fenômeno complexo devido a natureza heterogênea dos substratos de concreto e dos materiais destinados ao reparo estrutural. Mesmo em situacões que a ponte de aderência seja composta dos mesmos materiais que a pasta, a estrutura e as propriedades da zona de transição diferem da matriz da pasta, tornando-se necessário o tratamento da zona de transição como uma zona distinta da estrutura de concreto (FAGURY, 2002) [1].

Neste estudo foram analisadas as interfaces de aderência entre concretos de diferentes idades unidas por duas resinas epoxídicas, pasta de cimento ou interface sem tratamento.

3.1 Ponte de aderência epoxídica

De acordo com Beber[5], resinas epóxi são o tipo de adesivo mais empregado na colagem de elementos da construção civil e são formadas por reações químicas de grupos epóxi com aminas, álcool, fenol e outros.
Segundo Bonaldo et al[6], resinas epoxídicas são de fácil aplicação e podem fornecer apropriada adesão entre o concreto endurecido e o concreto fresco, desde que não haja saturação do concreto por umidade.
No presente estudo foram utilizadas duas marcas distintas de resina epoxídica disponíveis no mercado nacional da construção civil. Suas características estão apresentadas nos itens a seguir.

3.1.1 Resina epoxídica Marca 01 (PE1)

A resina epoxidica PE1 é um adesivo estrutural bicomponente de alta viscosidade (tixotrópico) e pega normal composta basicamente por resina epóxi e poliamidas. Este material é especialmente desenvolvido para ancoragens em geral e colagem de concreto velho com concreto novo. O tempo de pega do adesivo bicomponente é de 25 minutos. O produto atende aos requisitos da norma ASTM C-881: Standard Specificiation for Epoxy Resin Base Bonding System for Concrete. O produto dispõe de duas latas com os componentes A e B totalizando 1kg de material com densidade 1,68kg/L à temperatura de 25ºC. O tempo de pote garantido pelo fornecedor é de 50 minutos à 23ºC sendo sua temperatura de serviço de -20ºC a 60ºC e sua temperatura de aplicação não é especificada pelo fabricante. Sua resistência a compressão máxima ensaiada é da ordem de 80MPa à compressão (14 dias à 32ºC) e 50MPa (14 dias) à flexo-tração. O módulo de elasticidade é de 4,3 GPa. A cura inicial acontece dentro das primeiras 24 horas sendo sua cura final aos 7 dias após a aplicação.

3.1.2 Resina epoxídica Marca 02 (PE2)

A resina epoxídica PE2 é um adesivo estrutural bicomponente de média fluídez e pega normal formulado a base de resina epóxi. O produto dispõe de duas latas com componentes A e B totalizando 1 kg de material e o tempo de pote é de 90 minutos à temperatura de 25ºC. O tempo de pote mínimo garantido pelo fornecedor é de 40 minutos. Sua temperatura de aplicação deve estar entre 5ºC e 35ºC e sua temperatura de serviço é de -30ºC a 70ºC. Sua resistência a compressão máxima ensaiada é da ordem de 60MPa à compressão aos 7 dias e 25 MPa ao fim do primeiro dia.

3.2 Ponte de aderência cimentícia (PC)

A pasta de cimento foi feita *inloco* utilizando o mesmo cimento utilizado nas dosagens do concreto (CP V-ARI). Foram utilizados 2,00 kg de cimento para 0,80 kg de água resultando em uma relação água/cimento de 0,4. Uma fina camada de aproximadamente 3mm foi aplicada na interface alguns minutos antes da concretagem com o concreto novo.

3.3 Ponte de aderência Sem tratamento (ST)

Os corpos de prova sem tratamento (ST) dispunham apenas de escarificação e limpeza da interface no momento da concretagem. A superfície do corpo de prova não foi umedecida neste estudo.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

4 MÉTODO DE PREPARO

Neste item são discutidos os métodos de preparo do concreto novo e concreto velho deste estudo.

4.1 Concretagem corpos de prova – Concreto Velho

Iniciou-se a concretagem pelo preparo dos moldes cilíndricos através da aplicação de uma fina camada de óleo mineral. Realizou-se a limpeza da betoneira, bem como da haste metálica, colher de pedreiro, tronco de cone, base metálica e espátula para dar inicio a concretagem. Iniciou-se o processo de concretagem pelo agregado graúdo e uma parte da água. Posteriormente adicionou-se o cimento e água até atingir a consistência adequada. Realizou-se a raspagem das paredes da betoneira e após alguns minutos de operação, adicionou-se o agregado miúdo. O ensaio de abatimento do concreto foi realizado para as dosagens 1 e 2 (Figura 4) e os ensaios de espalhamento foram realizados para as dosagens 3 e 4 (Figura 5).



Figura 1 - Ensaio de abatimento dosagem 1



Figura 2 - Ensaio de espalhamento dosagem 3

4.2 Preparo corpos de prova

Aos 27 dias de cura do concreto velho, iniciaram-se os preparativos para a aplicação das pontes de aderência e execução do concreto novo. Primeiramente os corpos foram identificados com a numeração correspondente a sua dosagem de concreto em suas duas metades. Os corpos de prova foram, então, cortados ao meio em um ângulo de 45º para aplicação da ponte de aderência (Figura 6). Após o corte, todos os corpos de prova tiveram sua superfície escarificada na região da interface, conforme demonstra a Figura 7. Este ensaio está embasado no trabalho realizado pelos pesquisadores Kriegh e Nordby[7] e nas normas ASTM C 882[8]. Por fim, os corpos de prova foram lavados com água corrente e secos à temperatura ambiente por 60 minutos.



Figura 3 - Execução de corte a 45º

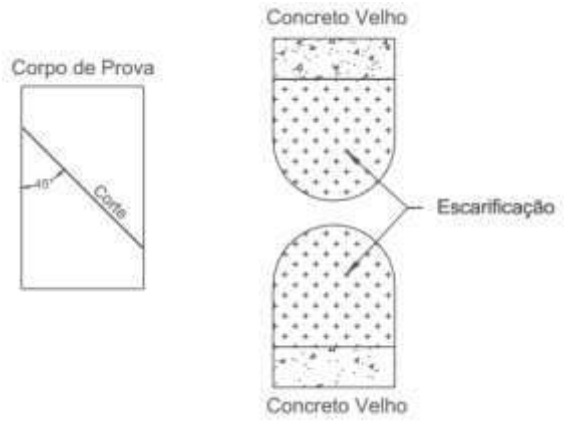


Figura 4 - Escarificação dos corpos de prova

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

4.3 Concretagem corpos de prova – Concreto Novo

Iniciou-se o processo pelo preparo dos moldes dos corpos de prova com óleo mineral e a execução do concreto ocorreu da mesma forma apresentada no item 4.2 deste artigo. Realizou-se a limpeza da betoneira e de demais equipamentos. Iniciou-se o processo de concretagem pelo agregado graúdo e uma parte da água. Posteriormente adicionou-se o cimento e água até atingir a consistência adequada. Realizou-se a raspagem das paredes da betoneira e após alguns minutos de operação, adicionou-se o agregado miúdo. O ensaio de abatimento do concreto foi realizado para as dosagens 1 e 2 do concreto novo e os ensaios de espalhamento foram realizados para as dosagens 3 e 4. Antes da concretagem, os corpos de prova foram identificados com os tipos de pontes de aderência e as mesmas foram preparadas para aplicação, conforme Figura . A concretagem da outra metade do corpo de prova ocorreu em camada única com 12 golpes da haste metalica. Os corpos de prova resultantes desta concretagem ficaram com a configuração apresentada na Figura .



Figura 5 - Corpos de prova identificados

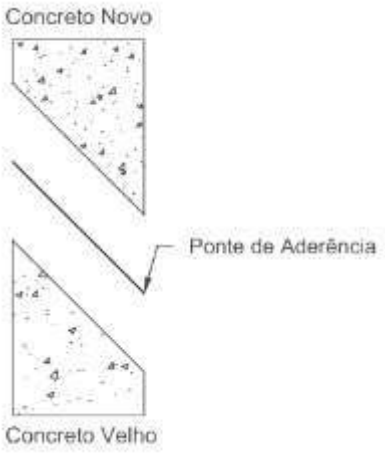


Figura 6 - Configuração final dos corpos de prova

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados obtidos, juntamente com a análise e a discussão sobre os seus efeitos.

5.1 Resultados obtidos

O ensaio de resistência à compressão axial dos corpos de prova com as pontes de aderência ocorreu aos 28 dias de idade do concreto novo. Considerou-se rompimento ideal quando o corpo de prova rompe-se por completo, sem falhas na ponte de aderência (Figura 7). Considerou-se rompimento na interface quando há rompimento apenas na ponte de aderência por cisalhamento na interface entre concretos novo e velho (Figura 8). Por fim, considerou-se rompimento parcial quando o rompimento do corpo de prova teve um comportamento intermediário entre rompimento ideal e rompimento por cisalhamento.



Figura 7 - Rompimento total do corpo de prova



Figura 8 - Rompimento por cisalhamento na interface

A resistência à compressão axial é uma tensão calculada, portanto, é a força necessária para o rompimento do corpo de prova divida pela área da seção resistente. Os resultados obtidos através do ensaio de ruptura de corpos de prova, juntamente com o modo de ruptura e resistência a compressão estão apresentados na Tabela 7 e são apresentados com dois algarismos significativos devido à precisão do equipamento utilizado. Os dados não preenchidos representam ensaios que houveram perda de dados devido a queda de energia durante o ensaio da amostra.

Tabela 7 - Resultados ensaio de compressão em corpos de prova com pontes de aderência

	Tipo de Ponte	Resistência à compressão	Tipo de Rompimento
Dosagem 1 Velho: 48,03MPa Novo: 51,13MPa	Pasta de cimento PC	47,80MPa	Cisalhamento na interface
		48,14MPa	Ruptura Parcial
	Resina Epoxídica PE1	47,51MPa	Ruptura Ideal
		49,85MPa	
	Resina Epoxídica PE2	47,80MPa	Ruptura Ideal
		51,58MPa	
	Sem Tratamento	39,00MPa	Cisalhamento na interface
		47,29MPa	
Dosagem 2 Velho: 86,83MPa Novo: 98,64MPa	Pasta de cimento PC	50,53MPa	Cisalhamento na interface
		56,61MPa	
	Resina Epoxídica PE1	61,88MPa	
		62,11MPa	
	Resina Epoxídica PE2	82,18MPa	
		83,92MPa	
	Sem Tratamento	85,15MPa	
		92,81MPa	
Dosagem 3 Velho: 99,22MPa Novo: 113,72MPa	Pasta de cimento PC	44,84MPa	
		50,01MPa	
	Resina Epoxídica PE1	45,93MPa	
		46,41MPa	
	Resina Epoxídica PE2	74,25MPa	
		-	-
	Sem Tratamento	71,27MPa	
		79,36MPa	
Dosagem 4 Velho: 107,66MPa Novo: 122,95MPa	Pasta de cimento PC	40,65MPa	Cisalhamento na interface
		50,96MPa	
	Resina Epoxídica PE1	58,41MPa	
		63,62MPa	
	Resina Epoxídica PE2	47,15MPa	
		48,75MPa	
	Sem Tratamento	63,34MPa	
		70,68MPa	

A avaliação qualitativa visual da ancoragem das pontes de aderência epoxídicas foi feita com auxílio do microscópio ZEISS STEMI 508. A aderência das duas pontes epoxídicas foi analisada em escala miscroscópica quanto a sua aderência no concreto de maior consumo de cimento. A escolha da dosagem 4 para análise se deu pelo fato das amostras possuírem maior resistência mecânica, logo, menor porosidade dentre os corpos de prova avaliados. A menor porosidade dificulta a aderência da ponte no substrato. As Figura 9 e Figura 10 apresentam a ligação da resina epoxídica PE1, enquanto as Figura 11 e Figura 12 apresentam a união da resina epoxídica PE2, ambas em contato com o concreto de consumo de cimento 900kg/m^3.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

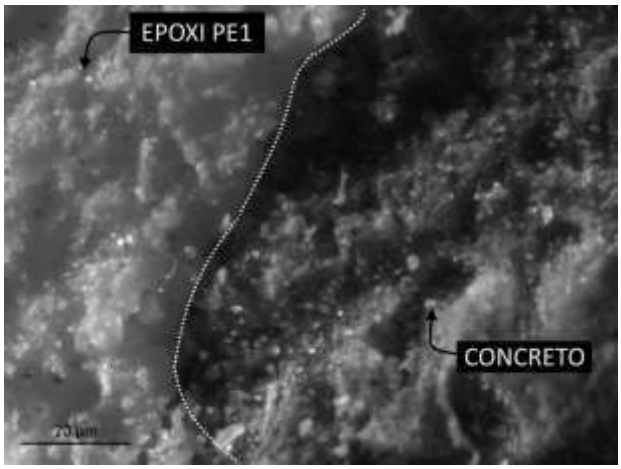


Figura 9 - Contato Resina PE1 e concreto

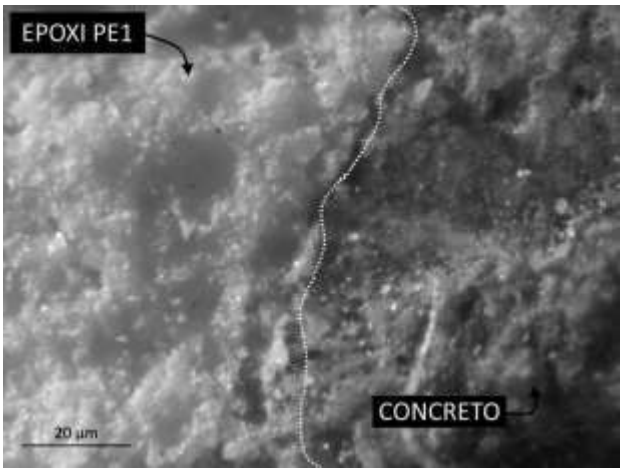


Figura 10 - Contato Resina PE1 e concreto

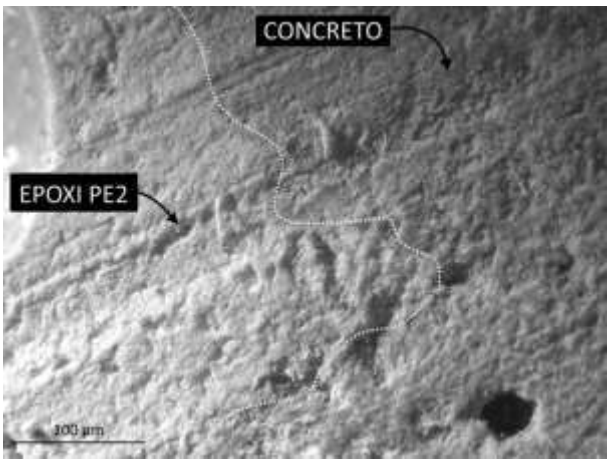


Figura 11 - Contato Resina PE2 e concreto

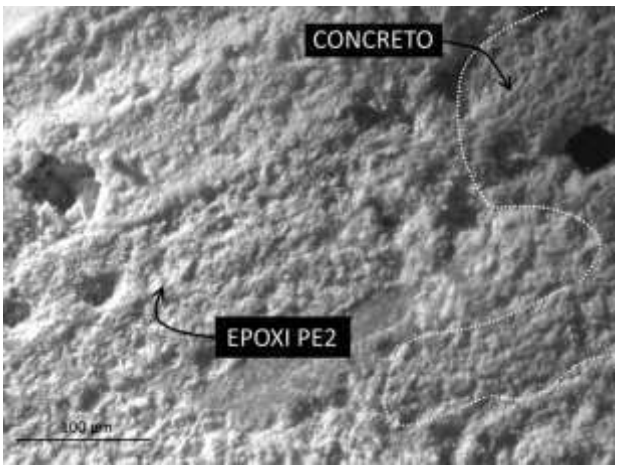


Figura 12 - Contato Resina PE2 e concreto

5.2 Análise de resultados

Os dados da Tabela 7 demonstram que:

a) Os concretos unidos com a resina PE1 obtiveram resistência média à compressão de 56,34MPa
b) Os concretos unidos com resina epoxídica PE2 atingiram uma resistência média à compressão de 67,25MPa
c) Os concretos unidos com pasta cimentícia obtiveram resistência média à compressão de 48,69MPa
d) Na dosagem 1, a ponte de base cimentícia aproximou-se dos resultados de resistência potencial do concreto avaliado, porém a ponte de aderência falhou parcialmente, denotando a menor resistência da pasta de cimento do que o concreto, eventual falha de aplicação ou problemas de ancoragem.
e) Mesmo não garantindo a união, a ponte de aderência sem tratamento obteve resultados superiores aos outros modos de união em todas as amostras, exceto na dosagem 1.

Com base nos dados analisados podemos verificar que, entre as resinas epoxídicas, a menor variabilidade de valores é a da resina PE1, o que denota eventuais diferenças das características de cada produto. Mesmo assim, as resinas epoxídicas apresentaram uma resistência compressão muito similar. Independente da marca, a resistência média dos corpos de provas com pontes epoxídicas foi de 61,30MPa. Apesar da baixíssima porosidade, ambas as resinas epoxídicas obtiveram excelente aderência ao substrato. A qualidade da aderência pode ser verificada da Figura 12 à Figura 15 devido à ausência de poros no contato entre os diferentes materiais, além da suave transição no contato entre ponte de aderencia e substrato. Nota-se a baixíssima porosidade tanto das resinas epoxídicas como do concreto deste estudo.

Vale destacar também a eficiência dos produtos epoxídicos para a união de concretos de resistências não tão elevadas, como a dosagem referência deste estudo. Nota-se que as pontes epoxídicas conseguiram manter a união do corpo de prova a uma resistência de compressão de até 51,58MPa. A falha das resinas se deu pelo cisalhamento da ponte de aderência. Estudos mais aprofundados podem ser desenvolvidos a fim de descobrir a resistência limite das resinas epoxídicas disponíveis no mercado.

A pasta cimentícia não obteve resultados satisfatórios em nenhuma amostra deste estudo. Isto ocorreu devido à pasta de cimento ter uma resistência inferior ao concreto estudado. Fatores como a baixa porosidade do substrato também podem ter contribuído de forma significativa para a falha deste tipo de ponte de aderência, visto que resultam em uma pobre aderência entre os dois materiais. As propriedades da pasta de cimento podem ser melhoradas através de aditivos e adições, garantindo uma maior resistência à pasta de cimento e, consequentemente, aprimorando seu desempenho como ponte de aderência.

Os resultados obtidos para as dosagens de elevada resistência demonstram que nenhuma das metodologias executivas convencionais de pontes de aderência são efetivamente eficientes, visto que não se aproximaram da resistência potencial do concreto original.

Observa-se, também, que em todos os concretos de elevada resistência a ponte de aderência sem tratamento obteve os maiores resultados. Mesmo obtendo o maior resultado as asmostras sem tratamento da interface não garantiram a efetiva união entre os concretos através apenas da escarificação e limpeza da superfície. No entanto, segundo Amaral Filho, apud Reis[9], o uso de concretos de alto desempenho está tornando obsoleto o uso de reparos feitos a base de resina epóxi, pois sobre a superfície do substrato limpa, rugosa e úmida, consegue-se uma aderência adequada. Podemos observar que os valores de resistência limite para as pontes sem tratamento tendeu, de certo modo, a aumentar com o aumento da resistência potencial do concreto. Nota-se, então, a possibilidade de investigação da viabilidade de união de concretos de alto desempenho apenas por tratamento superfícial limpo, rugoso e úmido, perspectiva que este estudo também teve a intenção de contribuir a partir de suas conclusões.

8. AGRADECIMENTOS

A Universidade de Caxias do Sul, pelo apoio à pesquisa desenvolvida,
Aos colaboradores do LABTEC (UCS) pelo auxílio incondicional às necessidades deste estudo,
Aos membros do NORIE (UFRGS) e técnicos da empresa Caxiense pela cordialidade e suporte técnico a este projeto,
Aos engenheiros Mateus Fratoni e Dra. Carina Stolz pela amizade e disponibilidade em auxiliar,
Somos gratos à todos pelo auxílio e apoio técnico.

9. REFERÊNCIAS

[1] FAGURY, S. C. **Concretos e pastas de elevado desempenho: contribuição aos estudos de reparos estruturais e ligações entre concretos novo e velho, com tratamento da zona de interface.** 2002. 168 f. Dissertação de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.
[2] BAUER, L. A. F. **Materiais de construção: novos materiais para construção civil**. 5. ed. Rio de Janeiro: Grupo Editorial Nacional, 2000. 471 p.
[3] CREMONINI, R. A. **Análise de estruturas acabadas:contribuição para a determinação da relação entre as resistências potencial e efetiva do concreto**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994. 195p.
[4] MORENO JUNIOR, R. **Estudo de fatores que afetam a aderência de argamassas de reparo para estruturas de concreto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002. 202p.
[5] BEBER, A. J. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono.** Tese de Doutorado em Engenharia Civil. Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. 289p.
[6] BONALDO, E.et al. **SEM analysis of bond epoxy based layer between hardened concrete and SFRC repairing.** Singapore: 7th International conference on inspection, appraisal, repairs & maintenance of Buildings & structures, 2005. 20 p.
[7] KRIEGH, J.D & NORDBY, G.M. **Methods of evaluation of epoxy compounds used for bonding concrete**. Symposium on epoxies with concrete, New Orleans, Oct. 29, 1966.
[8] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Bond strength of epoxy-resin systems used with concrete C-882**. Philadelphia, 1978.

[9] 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 de Mestrado em Engenharia de Estruturas. São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998. 239p.