



AVALIAÇÃO ENTRE PONTE DE ADERÊNCIA EPOXÍDICA E CIMENTÍCEA PARA CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA

**CURITIBA
2014**



ANDRÉ HENRIQUE MACIEL
ROBSON ALAN RODRIGUES

AVALIAÇÃO ENTRE PONTE DE ADERÊNCIA EPOXÍDICA E CIMENTÍCEA PARA CONCRETOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Pós Graduação em Patologia das Obras Cíveis, Pós-Graduação *lato sensu*, do Instituto IDD como requisito parcial para a obtenção do Grau de Especialista em Patologia nas Obras Cíveis.

Orientador: Prof. M.Sc. Kirke Andrew Wrubel
Moreira

Co-orientador: Prof. M.Sc. Luís César De Luca

CURITIBA
2014

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Deus por nos dar vida e sabedoria, pela oportunidade de estarmos aprimorando os nossos conhecimentos. Ao professor orientador que tem nos ajudado de forma significativa para alcançarmos nossos objetivos. A todos que cooperaram para o desenvolvimento deste trabalho, em especial as empresas Dipamix, Novamix e Cassol que com sua dedicação ao progresso deste país auxiliaram nesta pesquisa científica em busca de avanços no setor de concreto.

FOLHA DE APROVAÇÃO**TÍTULO DO TCC**

Por

ANDRÉ HENRIQUE MACIEL

ROBSON ALAN RODRIGUES

TRABALHO APROVADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA A
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE ESPECIALISTA EM PATOLOGIA NAS
OBRAS CIVIS, DO INSTITUTO IDD, PELA COMISSÃO FORMADA PELOS
PROFESSORES A SEGUIR MENCIONADOS.

Curitiba (PR) ____ de _____ de _____.

M.Sc. Kirke Andrew Wrubel Moreira

M.Sc. Mauricio Bianchini

Esp. Marcelo Araújo Brandão

RESUMO

O presente trabalho discute as características dos Concretos de Alto Desempenho e também qual a ponte de aderência necessária para unir duas peças de CAD com mesma idade, visto que este concreto possui uma porosidade e uma rugosidade baixa se comprado ao concreto convencional. Existem diversos tipos de ponte de aderência, neste trabalho foram dois tipos o cimentício e epoxídico, primeiro foram moldados corpos de prova de CAD e em seguida foram cortados para que fossem recolados usando estas ponte de aderência com dois tipos de superfície, rugosa e lisa. Após a colagem entre os corpos de provas cortados, utilizando prensas hidráulicas foi possível testar a resistência à compressão e à tração por compressão diametral, ao comparar os resultados obtidos verificou-se que o tipo de ponte de aderência e o tipo de superfície rugosa ou lisa interferem significativamente no resultado da resistência do corpo de prova, assim sendo muito importante o estudo deste assunto para escolha do método mais apropriado.

Palavras chave: concreto de alto desempenho, ponte de aderência, ensaios em corpos de prova.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Materiais e Sistemas de Ponte de Aderência (ANDRADE, 1992)..	34
Figura 2- Perfil real, cortado por um plano perpendicular (ROSA, 2007)....	44
Figura 3- Elementos que compõem um perfil de uma superfície (ROSA,2007).....	45
Figura 4- Decomposição de um perfil de superfície (BELAIR,2005).....	46
Figura 5- Modelos plásticos dos perfis de superfície do concreto (GALECKI et al.,2001, 2006).....	47
Figura 6- Método de amostragem dos ensaios.....	49
Figura 7-Cimento CP-V e Sílica	51
Figura 8- Brita 1.....	52
Figura 9- Pó de pedra e areia fina.....	53
Figura 10- Aditivo superplastificante.....	54
Figura 11- Balança de precisão.....	55
Figura12- Balança de plataforma eletrônica	55
Figura 13 - Misturador mecânico de concreto.....	56
Figura 14- Moldes metálicos para concreto	56
Figura 15 - Materiais em mistura.....	57
Figura 16- Flow test	58
Figura 17- CP's recém moldados.....	58
Figura 18- CP's cortados.....	59
Figura 19- Método de escarificação manual	60
Figura 20- Superfície rugosa	60
Figura 21 - Corpos de prova com ponte de aderência aplicada.....	61
Figura 22- Retífica de corpos de prova	62
Figura 23- Prensa hidráulica para teste de compressão.....	63
Figura 24- Prensa hidráulica para ensaio de compressão diametral.....	63

Figura 25- Aspecto de ruptura ELT.....	76
Figura 26. Aspecto de ruptura ERT.....	77
Figura 27. Aspecto de ruptura CLT.....	77
Figura 28- Aspecto de ruptura CRT.....	78
Figura 29- Aspecto de ruptura REFT.....	79
Figura 30- Aspecto de ruptura ERT.....	79
Figura 31- Aspecto de ruptura CRC.....	80
Figura 32- Aspecto de ruptura ELC.....	80
Figura 33- Aspecto de ruptura CLC.....	81
Figura 34- Aspecto de ruptura REFC.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Classificação dos concretos (AMARAL FILHO, 1997).....	20
Tabela 2- Procedimentos de preparo do substrato. HELENE (1992).....	43
Tabela 3- Superfícies e perfis: definições PRETTO (2007).....	46
Tabela 4- Traço de CAD (METHA e AITCIN, 1990).....	52
Tabela 5- Identificação de siglas adotadas nos ensaios.....	65
Tabela 6- Tipos de ruptura.....	75
Tabela 7- Resultados finais.....	82

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Resistência à compressão aos 52 dias.....	66
Gráfico 2- Resistência à tração por compressão diametral aos 52 dias.....	66
Gráfico 3- Resistência à tração por compressão diametral aos 52 dias – superfície lisa.....	67
Gráfico 4- Resistência à compressão aos 52 dias – superfície lisa.....	68
Gráfico 5- Resistência à tração por compressão diametral aos 52 dias – superfície rugosa	69
Gráfico 6- Resistência à compressão aos 52 dias – superfície rugosa.....	70
Gráfico 7- Resistência à tração por compressão diametral aos 52 dias – ponte de aderência epoxídica.....	72
Gráfico 8- Resistência à compressão aos 52 dias – ponte de aderência epoxídica	73
Gráfico 9- Resistência à tração por compressão diametral aos 52 dias – ponte de aderência cimentícia.....	74
Gráfico 10- Resistência à compressão aos 52 dias – ponte de aderência cimentícia	75

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	3
FOLHA DE APROVAÇÃO.....	4
RESUMO	5
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	6
LISTA DE TABELAS.....	8
LISTA DE GRÁFICOS	9
SUMÁRIO.....	10
1. INTRODUÇÃO	14
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA.....	14
1.2. OBJETIVOS.....	15
1.2.1. Objetivo Geral	15
1.2.2. Objetivos Específicos	15
1.3. HIPÓTESE	15
1.4. JUSTIFICATIVAS	16
1.4.1. Tecnológicas.....	16
1.4.2. Econômicas	16
1.4.3. Sociais	16
1.4.4. Ecológicas	17
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	18
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
2.1. CONCRETO	DE
2.1.1. DESEMPENHO.....	ALTO
2.1.1.1. Dosagem.....	20
2.1.1.1.1. Cimento	20
2.1.1.1.2. Agregados graúdos	21

2.1.1.3. Compostos minerais	21
2.1.1.4. Aditivos Químicos.....	25
2.1.1.5. Água	29
2.2. PONTE DE ADERÊNCIA.....	31
2.2.1. Tipos de ponte de aderência.....	34
2.2.2. Base de cimento	35
2.2.3. Base orgânica	36
2.2.3.1 Resinas epoxídicas	38
2.2.3.2 Resinas acrílicas	41
2.3. METODOLOGIA DE APLICAÇÃO.....	42
2.3.1. Procedimentos de preparo do substrato.....	42
2.3.2. Problemas da má preparação.....	44
2.4. RUGOSIDADE.....	45
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	49
3.1. PROCEDIMENTO DE PREPARO DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO.....	51
3.1.1. Materiais aplicados no CAD.....	52
3.1.1.1. Cimento Portland	52
3.1.1.2. Sílica de casca de arroz	53
3.1.1.3. Agregado Graúdo.....	53
3.1.1.4. Agregado miúdo	54
3.1.1.5. Água.....	54
3.1.1.6. Aditivo químico.....	55
3.1.2. Equipamentos utilizados.....	55
3.1.2.1. Balanças.....	55
3.1.2.2. Misturador mecânicos	56
3.1.2.3. Moldes de corpos de provas	57
3.1.3. Metodologia de dosagem.....	58

3.2. PROCEDIMENTO DE ADAPTAÇÃO DOS CP'S PARA OS ENSAIOS.....	60
3.2.1. Cortes do CP's	60
3.2.2. Preparo do substrato	61
3.2.3. Aplicação da ponte de aderência	62
3.2.4. Retificação da superfície dos CP's	63
3.3. ENSAIOS DE COMPRESSÃO E TRAÇÃO.....	63
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	65
4.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS.....	65
4.1.1. Resultados de resistências.....	66
4.1.1.1. Comparação da resistência tração por compressão diametral em superfície lisa.....	67
4.1.1.2. Comparação da resistência compressão em superfície lisa.....	68
4.1.1.3. Comparação da resistência tração por compressão diametral em superfície rugosa.....	69
4.1.1.4. Comparação da resistência compressão em superfície rugosa.....	70
4.1.1.5. Comparação da resistência tração por compressão diametral em ponte de aderência epoxídica.....	71
4.1.1.6. Comparação da resistência compressão em ponte de aderência epoxídica.....	72
4.1.1.7. Comparação da resistência tração por compressão diametral em ponte de aderência cimentícia.....	73
4.1.1.8. Comparação da resistência compressão em ponte de aderência cimentícia.....	74
4.1.2. Tipos de ruptura.....	75
4.1.2.1. Ruptura dos CP's no ensaio de ELT	76
4.1.2.2. Ruptura dos CP's no ensaio de ERT	76
4.1.2.3. Ruptura dos CP's no ensaio de CLT	77
4.1.2.4. Ruptura dos CP's no ensaio de CRT	78

4.1.2.5. Ruptura dos CP's no ensaio de REFT	78
4.1.2.6. Ruptura dos CP's no ensaio de ERC.....	79
4.1.2.7. Ruptura dos CP's no ensaio de CRC.....	80
4.1.2.8. Ruptura dos CP's no ensaio de ELC	80
4.1.2.9. Ruptura dos CP's no ensaio de CLC.....	81
4.1.2.10. Ruptura dos CP's no ensaio de REFC.....	82
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	83
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
7. ANEXOS	89

1. INTRODUÇÃO

Em obras de grande porte se vê a necessidade de utilizar concretos de alto desempenho para atingir requisitos previstos em projeto, como sabe-se o concreto é um material que pode ser produzido no local ou em usinas de concreto, porém devido a falhas oriundas de má execução ou manutenção, estes concretos podem necessitar de reparos, com isso há necessidade de saber o comportamento entre a utilização de um novo concreto sobre um concreto já existente na estrutura. A alta resistência do concreto está intimamente ligada a porosidade do mesmo, o substrato com menos poros teoricamente possui uma superfície com menos aderência, desta maneira será abordado como prever uma ponte de aderência satisfatória para estes tipos de concreto.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Qual a influência do tipo de ponte de aderência e rugosidade da superfície na aderência de dois concretos de alto desempenho?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar os resultados dos ensaios de resistência à compressão e tração por compressão diametral em concretos de alto desempenho colados com dois tipos de ponte de aderência: base cimentícia e base epoxídica, e dois tipos de superfície: lisa e rugosa.

1.2.2. Objetivos Específicos

Comparar dois tipos de ponte de aderência no ensaio de tração por compressão diametral e ensaio de compressão, ambos em corpos de prova de concreto de alto desempenho.

Analisar se a rugosidade influencia nos resultados dos ensaios de tração por compressão diametral e de compressão, em corpos de prova de concreto de alto desempenho.

Comparar os resultados dos ensaios realizados nos corpos de prova com ponte de aderência com os resultados obtidos em corpos de prova moldados para amostra padrão sem ponte de aderência.

Verificar os tipos de ruptura que cada ponte de aderência apresenta após realizar os testes de compressão e tração por compressão diametral.

1.3. HIPÓTESE

O tipo de ponte de aderência e a rugosidade influenciam significativamente na resistência final após união de corpos de prova de CAD cortados.

1.4. JUSTIFICATIVAS

Visto a necessidade de reparar elementos estruturais de concreto em alta resistência, a pesquisa busca identificar os melhores resultados em tipos de ponte de aderência distintos, sendo estes materiais economicamente viáveis e ecologicamente corretos.

1.4.1. Tecnológicas

Aprimorar conhecimento sobre o estudo e comportamento do concreto, com ênfase em reparos em superfícies de concreto de alto desempenho, além de conhecer o comportamento dos materiais de reparo a fim de utilizá-los da melhor forma possível.

1.4.2. Econômicas

Buscar a maneira mais economicamente viável para realizar a ponte de aderência entre os concretos de forma satisfatória, reduzindo os custos futuros com novos reparos e intervenções.

1.4.3. Sociais

A garantia de durabilidade de uma estrutura em uso pela sociedade deve ser atribuída ao engenheiro civil, devendo este conhecer bem os materiais e suas propriedades para aplicá-los nas diversas situações que encontra diariamente, assim garante a segurança e durabilidade da estrutura no qual aplica seus conhecimentos.

1.4.4. Ecológicas

Conhecer as técnicas de reparo evita a ruína da estrutura, ajudando o meio ambiente uma vez que reduz o consumo de matéria prima para reconstruir uma estrutura e evita o lançamento de entulho na natureza.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste trabalho será desenvolvido um concreto de alto desempenho, devido as suas características de baixa porosidade e alta resistência, para isso será utilizado todos os equipamentos necessários para a dosagem e controle do material, como: misturador mecânico, balança de precisão digital, recipientes para colocar os materiais para poder ser pesados. O local a ser produzido o concreto será uma usina de concreto, no qual será moldado 40 corpos de provas cilíndricos na dimensão de 10cm x 20cm, aonde serão rompidos 8 destes para obter uma resistência de referência, enquanto os demais corpos de prova serão cortados na metade horizontalmente, estes CP's cortados serão colados através de duas pontes de aderência distintas, uma com base cimentícia e outro com base epoxídica, metade destes CP's terão suas superfícies apicoadas para criar uma rugosidade, a outra metade permanecerá lisa. Com base nas referências normativas se realizará testes de compressão e tração em todos os corpos de prova moldados, onde cada amostra possuirá um tipo diferente de superfície e de ponte de aderência para ser analisado, estes dados de resistência serão comparados e analisados uns aos outros e ao final será relatado as características importantes de cada método. Esperasse encontrar o melhor resultado entre os dois métodos e a superfície ideal para aderência em CAD.

1.6. APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O **Capítulo 1** aborda o estudo de caso e seus objetivos, também define as justificativas da escolha do tema do estudo e os procedimentos metodológicos empregados no decorrer do trabalho.

O **Capítulo 2** apresenta a revisão bibliográfica e aborda as características do concreto de alto desempenho, descreve também sobre os materiais utilizados no CAD. Este capítulo aborda os tipos de ponte de aderência entre concretos e sua aplicação. Relata como são realizados os ensaios de resistência em corpos de prova de concreto. E finalmente aborda a rugosidade em superfícies de concreto.

O **Capítulo 3** descreve os procedimentos adotados no estudo de caso, sendo: a metodologia de dosagem do concreto, o processo de corte dos CP's, o processo de preparo do substrato, processo de aplicação da ponte de aderência, processo de retificação da superfície dos CP's e finalmente os ensaios realizados no corpos de prova.

O **Capítulo 4** apresenta os resultados dos testes de resistência a compressão e tração por compressão diametral, sendo comparado tanto o tipo de superfície como material aplicado com ponte de aderência, ressaltando os detalhes dos tipos de rupturas e apresentação de gráficos do desempenho de cada ponte de aderência com sua característica.

O **Capítulo 5** mostra as considerações finais dos pesquisadores acerca do trabalho e os comentários importantes para outros aprimorarem a pesquisa.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

NEVILLE (2013) define concreto de alto desempenho como um concreto de alta durabilidade, onde também pode ser chamado, de concreto de alta resistência, para ele este concreto possui alto módulo de elasticidade e resistências acima de 55MPa.

Ainda definindo concreto de alto desempenho Metha salienta, que o concreto de alto desempenho é normalmente empregado em concretos cuja as características são alta trabalhabilidade, alta resistência e baixa permeabilidade. Isso o faz ser um material muito durável.

Para NEVILLE (2013) o concreto de alto desempenho tem baixa porosidade é muito denso, que mesmo após a cura ainda possuem parcelas de cimentos não hidratados, isso pelo fato de a água não penetrar nos poros.

Uma das grandes vantagens do concreto de alto desempenho, ou também chamado de CAD, é a capacidade de carga por unidade de custo maior do que obtido em concretos correntes, o que segundo Watanabe (2008) viabiliza a sua produção.

Watanabe (2008) ainda destaca que é comum a utilização do CAD em pilares de edificações, que consequentemente reduz as áreas e volumes das peças estruturais, dando um aumento a área útil, reduzindo custo com formas e armação e concreto.

Amaral (1997) classifica os concreto conforme tabela 1:

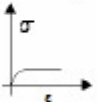
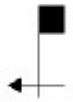
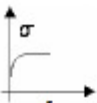
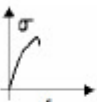
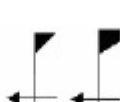
Classe	Resistência à compressão (MPa)	Equipamentos de produção	Materiais	Diagrama Tensão x deformação $\sigma \times \epsilon$	Diagramas de tensões de compressão na flexão simples	Tipo de ruptura à compressão
Baixa	< 25	Canteiro Comum	Cimento Portland areia agregados comuns	Parabólico c/ nítido patamar longo da plastificação 	Retangular (estádio III) 	Fratura áspera com agregados intactos
Média	25 – 50	Centrais com bom controle tecnológico	Cimento Portland areia agregado comum superplastificante (com ou sem m.s. ou Fly – Ash)	Parabólico c/ patamar nítido, mas menor 	Retangular (estádio III) 	Fratura áspera com parte dos agregados rompidos
Alta	50 – 90	Centrais com rigoroso controle tecnológico	Cimento Portland areia agregado muito bom superplastificante Microsílica Baixo teor a/c	Triangular c/ pequeno patamar 	Triangular ou trapezoidal 	Fratura lisa com agregados cisalhados (ruptura frágil)
Ultra Alta	90 – 100	Fábricas de pré-moldados e instalações especiais	Cim. Portland Areia de bauxita calcinada agregado idem ou de ferro superplastificante microsílica Baixíssimo teor a/c	Diagrama $\sigma \times \epsilon$ a determinar em cada caso	A determinar	Diferente em cada caso ruptura totalmente frágil

Tabela 1. Classificação dos concretos (AMARAL FILHO, 1997)

2.1.1. Dosagem

2.1.1.1. Cimento

No Brasil e na maioria dos países com produção significativa, são fabricados diversos tipos de cimento, com variadas características mecânicas, físicas e químicas. Os tipo de cimento produzidos são o cimento Portland comum, cimento Portland comum com adições, cimento Portland de alto-forno,

cimento Portland composto, cimento Portland pozolânico e cimento Portland de alta resistência inicial, ainda dentro destas categorias, são fabricados os cimentos resistentes a sulfatos. (SOUZA, 2009)

Fusco (2013) aborda que os diferentes tipos de cimento existentes no mercado, são fabricados para o atendimento de necessidades usuais ou específicas de aplicação, ou são o aproveitamento de subprodutos de outras indústrias, como é o caso da escória de alto-forno.

2.1.1.2. Agregados graúdos

Neville, 2013 explica que o concreto é ocupado aproximadamente $\frac{3}{4}$ do volume por agregados, então é de esperar que a qualidade seja de grande importância. Os agregados não só limitam a resistência do concreto, como também suas propriedades afetam significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto. (NEVILLE, 2013).

Os agregados podem ser divididos em graúdos e miúdos, conforme sua composição granulométrica a Especificação Brasileira EB-4 classifica o agregado miúdo como areia natural quartzosa ou artificial, resultante do britamento de rochas estáveis, de diâmetro característico máximo igual ou inferior a 4,8mm. (FUSCO, 2013)

2.1.1.3. Composto minerais

Os materiais com atividade pozolânica que são inseridos na mistura são denominados adição mineral, como por exemplo: pozolanas naturais, cinzas volantes, escória básica granulada de alto-forno, cinza de casca de arroz, metacaulim, sílica ativa e outras. Evidentemente ao inserir um novo material no

concreto, outros deverão sair da mistura para manter a mesma unidade de volume, desta forma a inserção de uma adição mineral pode dar-se por adição ao cimento (com retirada de parte dos agregados) ou por substituição ao cimento (com retirada de parte do cimento), isso varia conforme os procedimentos escolhidos durante o estudo de dosagem. TUTIKIAN et al (2011).

Entre a variedade de materiais cimentícios disponíveis, aponta-se como os mais utilizados as cinzas volantes e a sílica fume ou microsílica. O uso destes produtos em uma dosagem de concreto busca uma melhoria de suas propriedades em geral, conforme cita Guimarães (2002).

Segundo Watanabe (2008) a sílica ativa é um composto mineral que ao ser empregado no concreto tem duas atuações básicas, uma é a física que promove o preenchimento de vazios, auxiliando na coesão e compacidade, já a outra atuação é química onde a reação pozolânica responsável pelo silicato de cálcio hidratado a partir da transformação do hidróxido de cálcio.

Guimarães (2002) ressalta que a sílica ativa (SiO_2) refere-se a um material de alta finura, ou seja, minúsculas partículas de $0,1\mu\text{m}$ a $0,2\mu\text{m}$, composto basicamente de sílica amorfa. Seu uso acaba sendo a de um microfiller, onde deixa a microestrutura da mistura mais densa pelo preenchimento de vazios. Guimarães (2002) ainda afirma que essas partículas de sílica, em presença de umidade acabam reagindo com o hidróxido de cálcio, formando, então, o C-S-H (Silicato de Cálcio Hidratado), cujas características são extremamente cimentantes, auxiliando tanto na interface pasta/ agregado, como também nos vazios entre os grãos de cimento, ao final deste processo obtém-se um concreto com maior resistência e menor índice de exsudação.

Ainda Guimarães (2002) cita que utilizar adições minerais é muito bom devido a compatibilidade com as combinações cimentícias que podem produzir o CAD, principalmente quando há a necessidade de obtenção de resistências maiores que 80 MPa.

Souza (1998) observa que a sílica atua no concreto alterando suas características tanto no estado fresco quanto no estado endurecido, esta ação é devido suas características pozolânicas, com teores de sílica amorfa, SiO_2 , maior ou igual a 85% em sua composição.

Outro dado interessante é que para ganhos de 50% na aderência média e 57% na aderência de ruptura entre concreto e armadura são necessários em torno de 8% de sílica ativa do peso do cimento segundo Bonini et al (1999).

O uso de adição mineral nos CAD é importante devido à ação química e física que neles atuam. Entre as adições pozolânicas mais utilizadas atualmente, encontramos a sílica ativa, o metacaulim e a cinza de casca de arroz, devido apresentarem grãos de dimensões pequenas e possuírem o potencial pozolânico para consumir o Ca(OH)_2 . O tamanho reduzido dessas partículas permite que suas reações ocorram de forma rápida e completa, agindo por ação de nucleação das partículas de cimento, quebrando a inércia do sistema e fazendo com que estas se hidratem mais rapidamente. Devido a reatividade química alta, os minerais auxiliam a trabalhabilidade da mistura, concedendo-lhes um esse ótimo benefício, pois os CAD, por terem resistências altas, possuem uma coesão acima do comum, dificultando a plasticidade. TUTIKIAN et al (2011)

Já Almeida (1997) aponta que aditivos Minerais como a microsílica (sílica ativa) ou as cinzas volantes, possuem duas formas básicas de atuação no concreto: uma física, que ajuda a aumentar a coesão e a compacidade tanto da fase pasta quanto da ligação agregado-pasta, denominado efeito filler (preenchimento dos vazios), e outra química, a clássica reação pozolânica de mudança do hidróxido de cálcio no silicato de cálcio hidratado, que por sua vez é mais resistente.

As adições pozolânicas também atuam quimicamente na mistura, através da reação com o Ca(OH)_2 . Após a hidratação do cimento com a formação C-S-H, elemento resistente da pasta, uma molécula cristalina de grande dimensão que se forma. TUTIKIAN et al (2011).

Watanabe (2008) explica que a partícula de sílica possui forma esférica, extremamente pequena, com diâmetro médio entre 0,1 μm e 0,2 μm , sendo 50 a 100 vezes menores que as do cimento, além disso possui massa unitária entre 250 e 300 kg/m^3 , essa baixa massa unitária ligado ao pequeno tamanho das partículas de sílica ativa faz com que o transporte e manuseio se torne difícil, encarecendo seu custo. Já sua massa específica real é aproximadamente 2,2 g/cm^3 , enquanto a do cimento é 3,1 g/cm^3 .

Dentre as principais vantagens Guimarães (2002) destaca:

- Melhoria na trabalhabilidade: os aditivos, que são partículas muito finas, diminuem o tamanho e o volume de vazios;

- Resistência à fissuração térmica: sabendo-se que o calor máximo de hidratação de um concreto ocorre cerca de uma semana após seu lançamento, essas partículas contribuem na estabilização da temperatura, diminuindo a elevação térmica;

- Aumento da resistência mecânica;

- Maior impermeabilidade do concreto: Estas finas partículas que têm seu tamanho cerca de 100 vezes menor que as partículas de cimento, preenchem os vazios da pasta, diminuindo muito a porosidade do concreto. Em estudos realizados por R.E. Davis, foi constatado que em tubos de concreto contendo 30% de cinza volante, com baixo teor de cálcio na composição do concreto, a permeabilidade era muito menor aos 28 dias.

Já Watanabe (2008) ressalta que os benefícios são:

- Aumento da coesão, eliminação da exsudação e melhoria da trabalhabilidade - esta propriedade é decorrente da redução dos diâmetros capilares e aumento de pontos de contato sólido-sólido;

- Inibição da reação álcali-agregado: a reação álcali-agregado é expansiva, provocando fissuração generalizada no concreto. A sílica ativa reduz o teor de álcalis, prevenindo os efeitos desta reação;

-Maior performance em resistência à abrasão/erosão: a ação da sílica ativa impede que o agregado graúdo se solte quando a superfície de concreto estiver submetida à abrasão (ação mecânica) e erosão (ação hidráulica);

-Maior resistência a agentes agressivos: a sílica ativa proporciona baixíssima permeabilidade em ambientes de grande agressividade (cloretos, sulfatos, amônias, ácidos, dentre outros).

Dentre os aditivos minerais citados, o material empregado neste estudo será a Sílica, também conhecida como Sílica da Casca do Arroz. Trata-se de um subproduto do pó da casca de arroz, obtido a partir da queima da mesma em um sistema de automação e controle de temperatura que permitem a extração da sílica da casca de arroz no seu formato amorfo e com baixa perda ao fogo conferindo-lhe uma coloração similar ao cimento.

2.1.1.4. Aditivos químicos

Watanabe (2008) explica que para a confecção de concretos trabalháveis, houve a necessidade da inserção de materiais especiais para isto, papel este desempenhado pelos aditivos químicos, que atuam como plastificantes e redutores da água de amassamento, com a redução da relação a/c, é possível fabricar o CAD.

Desta forma a função dos aditivos químicos plastificantes é de melhorar a consistência do concreto sem aumentar a demanda de água, agindo como auxiliador na e durabilidade da mistura aumentando as propriedades mecânicas, além de manter a consistência e consequentemente redução do consumo de cimento, para as mesmas resistências e consistência. Estas características são indispensáveis para fabricar o CAD, pois normalmente é um concreto coeso, com baixa trabalhabilidade e com alto teor de cimento. TUTIKIAN et al (2011).

A norma NBR-11768/92 classifica os aditivos da seguinte forma:

Tipo P – Plastificantes

Tipo R – Retardadores

Tipo A – Aceleradores

Tipo PR – Plastificantes retardadores

Tipo PA – Plastificantes aceleradores

Tipo IAR – Incorporadores de ar

Tipo SP – Superplastificantes

Tipo SPR – Superplastificantes retardadores

Tipo SPA – Superplastificantes aceleradores

Dentre os aditivos existentes, os recomendados para CAD são os superplastificantes, de preferência os que possuam a cadeia mais longa e ramificada possível. As características relevantes para os aditivos são a compatibilidade com o cimento, o tempo de ação e grau de elevação de trabalhabilidade no concreto para os materiais utilizados. TUTIKIAN et all (2011).

Guimarães (2002) define superplastificantes como sendo polímeros orgânicos hidrossolúveis, obtidos sinteticamente através de um processo de polimerização. São aniônicos com grande número de grupos polares na cadeia de hidrocarboneto, formando longas moléculas que tendem a envolver as partículas de cimento com carga negativa e que devido as forças de Van der Waals, geram uma dispersão. Assim, as partículas de cimento com cargas opostas, que tenderiam a atrair-se, acabam se repelindo. Desta forma, a hidratação do cimento acaba sendo melhor e mais rápida, cujo resultado final, é um concreto com alta trabalhabilidade e alta resistência.

Guimarães (2002) classifica os superplastificantes em algumas categorias, variando conforme os seguintes materiais:

- Condensados sulfonados de melamina-formaldeídos;
- Condensados sulfonados de naftaleno-formaldeídos;

- Condensados de lignosulfonados modificados;
- Ésteres de ácido sulfônico(sendo utilizados em menor escala)

A influência de qualquer aditivo redutor de água depende de alguns fatores segundo Watanabe (2008), sendo eles: dosagem do cimento, a consistência, do processo de mistura, das condições de cura, da temperatura do ambiente e do concreto, da natureza do cimento, da granulometria dos agregados, entre outros.

Watanabe (2008) discorre que a utilização de bases químicas tende a diminuir: as perdas aceleradas de abatimento, as incorporações de ar inesperadas, as exsudações e as mudanças imprevistas nos tempos de pega dos concretos. Watanabe (2008) finaliza dizendo que as dosagens de aditivos usuais variam entre 1% a 3% da massa de cimento, na composição de CAD.

Para Simplicio (2003) os aditivos químicos possuem efeito relativamente curto, em torno de 60 minutos e não influenciam de forma nenhuma a resistência final do concreto. Já Leonardo (2002) observa que superplastificantes evoluíram ao longo do tempo, e suas propriedades foram melhoradas, tal que, atualmente, alguns superplastificantes chegam ao tempo de abatimento de até 90 minutos.

Leonardo (2002) destaca que a produção de um concreto utilizando-se sílica ativa, só é possível com o uso de aditivo superplastificante.

Apesar de várias pesquisas a respeito da reação de hidratação de cimento Portland em presença de superplastificantes, algumas abordando aspectos físicos da mistura Foissy e Pierre, outras aspectos químicos de Andersen, Diamond e Struble, ou ainda uma abordagem mais voltada para o cimento, analisando o efeito dos superplastificantes nas diferentes partes constituintes C3S, C2S, C3A por Masazza e Costa, Guimarães (2002) ressalta que não existe ainda uma teoria clara e bem aceita explicando os pormenores de toda a ação dos superplastificantes sobre as partículas do cimento durante a mistura e hidratação inicial, ainda diz que é sabido que interação entre cimento e

plastificante fica ainda mais complexa devido às interações simultâneas entre cimento e sulfatos e destes com o superplastificante,

De acordo com Guimarães (2002) o superplastificante além de aumentar a trabalhabilidade do concreto, melhora seu abatimento que possibilita seu lançamento mesmo com a mistura fresca sem necessidade de adensamento, não sofrendo com isso efeitos excessivos de segregação ou exsudação.

Para Metha e Monteiro (1994) a formato coloidal das partículas da cadeia longa do superplastificante, provavelmente, obstruem os canais de fluxo de água de exsudação do concreto, de tal forma que, o efeito da segregação não é observada em concretos com esses aditivos.

Segundo Neville (1997) a eficácia do aditivo superplastificante varia conforme a dosagem do concreto e também dos constituintes da mistura, em especial as propriedades do cimento. Os aditivos superplastificantes atuam dispersando as partículas do cimento, que quando entram em contato com a água de amassamento, tendem a flocular.

Aitcin (2000) aponta que quanto mais fino for o cimento, maior a quantidade de superplastificante necessária para obter uma dada fluidez ou trabalhabilidade, isso varia conforme o tipo de cimento Portland, já que a dosagem de superplastificante necessária para obter uma pasta com fluidez definida aumenta de acordo com área específica do cimento.

Para escolher o tipo de superplastificante à ser utilizado Leonardo (2002) informa que diversos estudos têm sido realizados, cujo objetivo é definir metodologias e ensaios, alguns deles são: ensaios em pasta pelo método de Cantro (Mini Slump) e Cone de Marsh e ensaios em argamassa, pelo ensaio de Mesa de Queda Livre (Flow Table).

Na aplicação do CAD nas obras, recomenda-se adicionar o aditivo no momento em que o concreto for ser espalhado nas fôrmas. Já quando o concreto é misturado em caminhão betoneira, é comum que o aditivo seja adicionado e misturado no canteiro de obras, pois o trânsito da central até o canteiro pode

tomar muito tempo e prejudicar os efeitos benéficos do aditivo. Para maximizar o efeito plastificante, a consistência do concreto original, de partida, deve ser, no mínimo, de 40 mm de abatimento do tronco de cone. TUTIKIAN et all (2011).

Leonardo (2002) ressalta que na confecção do concreto, o uso de aditivos proporciona: o aumento da compacidade e da durabilidade, a melhora da trabalhabilidade e a impermeabilidade, a mudança o tempo de pega, a melhora da resistência à ação do degelo, a expansão álcali-agregado, a diminuição da relação água/cimento, a retração plástica e o calor de hidratação, além do acréscimo na resistência aos esforços mecânicos.

Watanabe (2008) lembra que os aditivos superplastificantes proporcionam ao concreto algumas vantagens, como:

- Ganhos de resistência excepcionais;
- Redução da permeabilidade;
- Diminuição da segregação;
- Redução no consumo de cimento;
- Melhoria considerável da trabalhabilidade.

2.1.1.5. Água

Um dos materiais utilizados na fabricação do CAD é a água, que ocupa um papel secundário em termos de componentes do concreto. Sua dosagem depende de muitos fatores tais como, o tamanho, a forma, a absorção e a densidade dos agregados, a natureza e a dosagem de cimento e a temperatura e trabalhabilidade do concreto.(WATANABE, 2008)

A norma ACI 363 (1991) informa que os requisitos de qualidade da água para concretos de alto desempenho são os mesmos que para concretos convencionais.

Watanabe (2008) observa que a quantidade de água a ser utilizada em pastas, argamassas ou concretos é encontrada com base na relação a/c. Também lembra que quanto maior a quantidade de água no concreto, menor é a tensão limite de escoamento, aumentando sua deformabilidade e diminuindo a viscosidade da mistura. Porém, um elevado teor de água pode provocar segregação, por isso deve-se tomar cuidado com sua dosagem, de modo a garantir a grande fluidez do CAD, sem afetar negativamente as suas propriedades, os superplastificantes auxiliam neste quesito.

Watanabe (2008) ainda descreve que o tipo de superplastificante utilizado é um parâmetro que influencia no fator a/c, lembrando que estes aditivos químicos deixam o concreto com consistência mais trabalhável.

A água é claramente um dos materiais básicos do concreto, que preenche suas funções como: uma função física, que compreende em dar ao concreto as propriedades reológicas exigidas, e uma função química, que compreende em produzir as reações de hidratação. O concreto precisa somente de água suficiente para promover a resistência máxima do cimento, junto a isso, prover as propriedades reológicas necessárias ao seu lançamento”. (LEONARDO 2002) apud AİTCIN, 2000, p. 133.

Segundo Leonardo (2002) a água quando adicionada ao concreto tem como função dar plasticidade ao conjunto quando este se encontra no estado fresco e reagir com os componentes do cimento permitindo o seu endurecimento.

Leonardo (2002) ainda explica que a água de mistura do concreto é de fundamental importância na resistência e nas demais propriedades. A água pode conter impurezas que acabam alterando a pega e a resistência do concreto, causar defeitos arquitetônicos na superfície de uma peça, ou ainda, no caso de concreto armado, causar corrosão nas armaduras.

Para Petrucci (1987) um dos maiores defeitos provenientes da água de amassamento de um concreto têm maior relação com o seu excesso do que propriamente com os elementos que ela possa conter.

Do ponto de vista das patologias, o emprego de água não potável no amassamento do concreto pode criar problemas a curto e longo prazo completa Leonardo (2002).

2.2. PONTE DE ADERÊNCIA

De acordo com O boletim 162 do CEB (1983) adesivo e atrito são os dois componentes responsáveis pela resistência da ponte de aderência.

Galleto (2005) explica como a adesão ocorre partir de:

- rugosidade da superfície da junta – para ligação entre concreto comuns;
- tratamento da superfície da junta - quanto maior a área de agregados exposta, maior a resistência da interface;
- método de colocação do novo concreto - por exemplo, se a superfície do concreto velho for jateada e saturada antes da colocação do concreto novo, o resultado final será satisfatório;
- uso de agentes de ligação ou uso de concretos especiais - podem propiciar bons valores de adesivo.

Já para atrito, Galleto (2005) aborda que é influenciado pelos seguintes fatores:

- tamanho e forma dos agregados - agregados maiores e mais angulosos resultam em maiores coeficientes de atrito;
- rugosidade da superfície - maiores rugosidades resultam em maiores áreas de contato e maiores coeficientes de atrito, podendo-se tomar como base os valores a seguir, indicados pelo CEB (1983);
- Resistência a compressão do concreto - quanto maior a resistência do concreto, melhor o comportamento do agregado e da pasta ao longo da superfície de contato;

- tensão normal de compressão - quando a tensão normal aumenta, o deslocamento por cisalhamento diminui;
- ciclos de carregamento - que provoca uma deterioração progressiva das superfícies em contato. BRITO e FERNANDES-HACHICH (1994).

Enquanto a CEB-FIP CODE (1990), cita que uma forma de transferir as tensões tangenciais ao longo da interface é através do atrito, superfície esta que está sujeita a compressão normal e cisalhamento.

Alguns autores como Rao e Prasad (2002) destacam que a boa transferência de carga no concreto esta intimamente ligada a alguns fatores como: grau de ligação entre as fases, resistência da pasta de cimento, características do agregado e forças de coesão na interface.

Outro fator que altera a resistência do concreto é a adesão entre agregado e pasta de cimento por meio da zona de transição segundo Prokopski e Halbinak (2000), Rao e Prasad (2002) lembram que a contribuição do agregado graúdo na transferência da tensão em concretos de alta resistência é muito importante.

Ainda Rao e Prasad (2002) informam que a formação e propagação de microfissuras na interface é significativamente influenciada pela resistência de aderência e rigidez à fratura, Prokopski e Halbinak (2000) comentam que defeitos microestruturais são comuns em materiais cimentícios, que podem causar a concentração de tensão em alguns pontos dentro do concreto.

Segundo Austin *et al.* (1999) resistência de aderência depende do estado de tensão presente na interface dos materiais, o qual é influenciado por fatores como rugosidade e cargas atuantes, ele lembra também que a resistência e a integridade da aderência dependem não apenas das características físico-químicas dos componentes, mas também do acabamento envolvido, como as superfícies lisa ou rugosa.

De acordo com Jiang (1999) a zona de transição entre o agregado e a pasta é responsável por uma série de propriedades do concreto e que o ao

adicionar cinza volante no concreto a zona de transição fica mais densa e uniforme. Ainda Jiang (1999) constatou que a quanto maior a resistência da pasta zona de interface, maior a resistência de aderência, isso através do estudo da resistência de aderência entre os agregados e a pasta com elevado volume de cinza volante.

Para Reis (1998), as pontes de aderência podem ser constituídas basicamente por ligantes do tipo hidráulicos ou sintéticos. Dentro do classe dos materiais com base cimentícia (ligantes hidráulicos) os materiais tradicionalmente mais usados em trabalhos de reparos e reforços ou ligações entre concretos são o cimento Portland comum ou de endurecimento rápido. Já para melhorar o desempenho desse material pode-se incorporar na pasta de cimento alguns tipos de aditivos e/ou adições, destas adições as mais comuns são os minerais como pozolanas, cinzas volantes, a escória de alto forno e a sílica ativa. No caso das ligações entre concretos, existe no um número muito grande de adesivos à base epóxi que podem ser usados.

Para que a ponte de aderência seja satisfatória é necessário que as propriedades do material de ligação e as do substrato sejam corretamente combinadas. Assim Moreno e Selmo (2001) lembram que é importante que o material de ligação resista as tensões resultantes do carregamento das mudanças de volume da estrutura, em um meio ambiente específico, para que não apresente sinais de deterioração precoce por fissuras ou destacamento do substrato.

Para manter uma total interação estrutural entre os concretos, faz-se necessário uma boa aderência entre eles de acordo com Abu-Tair *et al.* (2000). A própria aderência depende do tratamento na superfície do concreto de forma a mantê-la limpa e áspera, para que se estudem os efeitos da rugosidade da superfície sobre a aderência entre material de reparo e substrato de concreto.

Abu-Tair *et al.* (2000) cita que não há nenhuma norma para se medir a rugosidade da superfície do concreto. Alguns autores preparam a superfície com utilização de alguns métodos como tiro de agulha, apicoamento manual por

cinzel, manualmente por escova de arame e fraturada, todos para testar o efeito da rugosidade sobre a aderência entre material de reparo e substrato de concreto. Entre os tipos de materiais de ponte de aderência os autores geralmente utilizam resina epoxídica, ou um material cimentício modificado ou um concreto de cimento Portland comum.

2.2.1 Tipos de ponte de aderência

De acordo com Andrade (1992), os materiais destinados à ponte de aderência em estruturas de concreto podem ser agrupados em três famílias, sendo elas:

- Materiais a base de cimento;
- Materiais cujo aglomerante orgânico e a base de polímeros termoestáveis;
- Materiais com aglomerantes mistos formados por cimento Portland e polímeros termoplásticos.

A figura 1 de Andrade (1992) adaptada pelos autores deste trabalho mostra como são divididos os materiais citados.

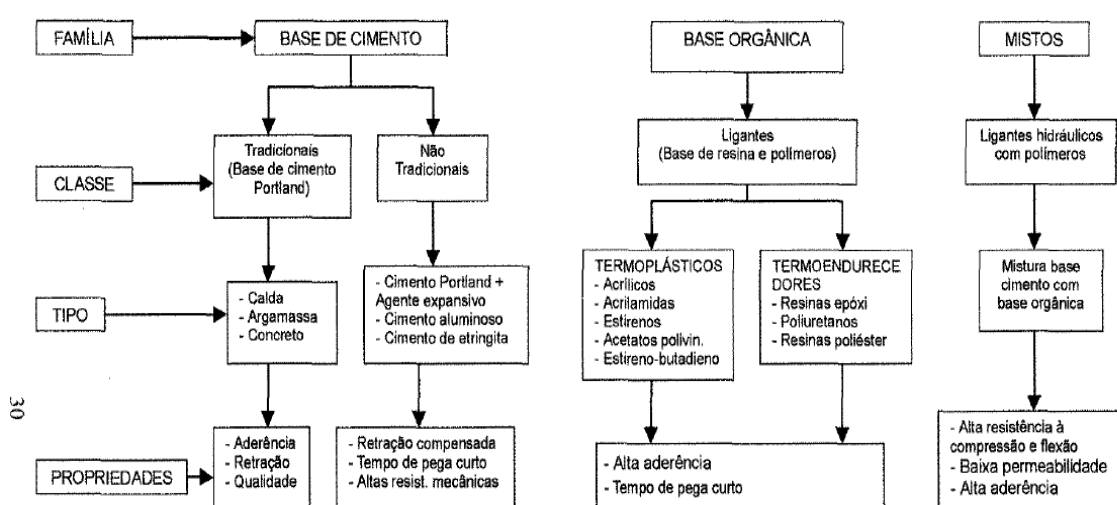


Figura 1- Materiais e Sistemas de Ponte de Aderência (ANDRADE, 1992)

Galleto (2005) destaca que grande parte dos materiais a base de cimento, contém diversos aditivos com a finalidade de melhorar suas características como: retração, exsudação, tempo de pega e consistência.

Ainda Galleto (2005) observa que os materiais de ponte de aderência cuja base é de natureza orgânica são muito variados em composição, onde os mais comuns são os de base de resinas epóxi, resinas poliéster, base poliuretano, base acrílica e outros. Os que precisam ser dissolvidos em água de amassamento passam a serem materiais mistos.

Os adesivos são produtos utilizados para colar materiais a elementos estruturais já existentes. Um exemplo é um adesivo de base epóxi que geralmente é fornecido em dois componentes: monômero e catalisador. Após misturar os dois componentes, o material permanece viscoso durante certo tempo, denominado “pot-life”, depois endurece e se solidifica, o que lhe proporciona elevada resistência mecânica, assim afirma Sampaio (2010).

2.2.2 Base de cimento

Sampaio (2010) descreve que o cimento pode ser considerado um material com propriedades adesivas e coesivas capaz de unir fragmentos de minerais entre si de modo a formar um sólido compacto. Este conceito alcança uma enorme quantidade de materiais distintos, com poucas características em comum, uma delas é a capacidade aglutinante.

Ainda Sampaio (2010) ao citar Mehta e Monteiro (2008) define que os aglomerantes dos cimentos hidráulicos não só endurecem através de reações com a água, como também formam um produto resistente à água.

Segundo Garcia (1998) o concreto de ligação utilizado deve apresentar resistência no mínimo igual ao do concreto existente, com granulometria e diâmetro máximo do agregado, condizentes com o serviço.

Já para Mehta e Monteiro (2008) o cimento Portland anidro não acumula areia nem agregado graúdo, ele porém absorve a propriedade adesiva quando hidratado com água. Isto acontece porque a reação química do cimento com a água, comumente chamada de hidratação do cimento, gera materiais que possuem características de pega e endurecimento.

Sampaio (2010) ao citar Neville (1997) descreve a existência de duas formas de reação entre os materiais do cimento e a água:

- Através da incorporação direta de algumas moléculas de água pelo cimento, chamado de hidratação;
- Através da hidrólise, ou seja, quebra e dissolução de determinados componentes do cimento, como, por exemplo, o gesso que disponibiliza íons sulfato ao sistema.

Sampaio (2010) lembra que é usual, utilizar o termo hidratação do cimento em ambas as reações, tanto a hidratação como a hidrólise.

Para se fazer uma nata de cimento, Souza e Ripper (1998) destacam que a pasta deve ficar homogênea, devendo atingir, depois de pronta, a consistência de uma tinta espessa, em média utiliza-se um fator água/cimento de em torno de 0,40.

2.2.3 Base orgânica

Segundo Galletto (2005) a palavra polímero vem do grego poli (muitos) e mero (unidades repetidas), em outras palavras, o polímero é uma macromolécula composta por muitas (dezenas de milhares) unidades de repetições denominadas meros.

Já Souza e Ripper (1998) ressaltam que os polímeros são uma associação molecular, que através de um processo químico, onde possuem catalisadores, que são responsáveis pela sua formação, pelos inibidores, responsáveis pelo controle da velocidade da transformação, e pelos aceleradores, que aceleram o processo.

Galleto (2005) explica que polímeros são classificados em termoplásticos, termofixos (ou termoendurecidos) e elastômeros no vista das propriedades físicas. Rosen (1993) ao ser citado por Galleto (2005) define como termoplásticos aqueles que, mesmo na sua forma pronta, pode ser repetidamente amolecidos e endurecidos, respectivamente pelo aumento e diminuição da temperatura, retomando as suas propriedades normais e, geralmente, não requerem agente de cura, define também que os polímeros termofixos (ou termoendurecidos) são formados por cadeias com diversas ligações químicas, fato este que adquire características rígidas ao material. Para ele os termofixos são insolúveis e infusíveis no seu estado final. A resina termoplástica pode ser transformada em termofixa pela inserção de agentes de ligação cruzada, aumentando rigidez do polímero. Estes materiais são líquidos em alguma etapa do processo, porém, ao efetuar a cura por calor, catalisador ou algum outro meio físico-químico, não conseguem ser amolecidos novamente pela ação do calor.

De acordo com Sampaio (2010) os polímeros podem ser usados na fabricação de concretos convencionais, por inserção ao cimento e ao próprio concreto, tanto durante a mistura, quanto depois dela. Existem diversos polímeros que podem ser utilizados, porém segundo Souza e Ripper (1998) os mais utilizados no Brasil são as resinas epoxídicas, derivadas do petróleo, provenientes da combinação de epocloridina e do bifenol. Levando em consideração a proporção utilizada de cada um destes componentes, é possível a obtenção de resinas com características distintas, onde se destaca a mudança de densidade e peso molecular.

A resina é uma substância amorfa, insolúvel em água, mas solúvel em alguns tipos de solventes orgânicos, em temperatura ambiente é sólida, porém ao ser aquecida se transforma em um líquido muito viscoso. As resinas termoplásticas como poliestireno, polibutadieno, acetatos e propinatos de polivinila segundo Galletto (2005) são muito utilizados sob a forma de emulsões, inseridos nas argamassas e concretos de cimento, ou como aglomerantes. Já os polímeros termoestáveis, obtidos por poliadição (resina epóxi) ou por policondensação (resina poliéster), são muitas vezes usados como aglomerantes.

Galletto (2005) aponta que todas as resinas naturais são solúveis e fusíveis, e que os polímeros sintéticos que obedecem as condições acima apontadas são também chamados de resinas estáticas.

Dentre as resinas utilizadas como ponte de aderência se destaca a epóxi e a acrílica.

2.2.3.1 Resinas epoxídicas

Sampaio (2010) explica que o adesivo epóxi é uma espécie de material denominada de polímero, onde dentro da classe de polímero é classificado como resina epoxídica. São resinas sintéticas derivadas da indústria petroquímica e fazem parte da família dos polímeros termofixos.

Galletto (2005) cita que as resinas epoxídicas possuem diversas propriedades como: excelente adesividade; resistência química a muitos ácidos, álcalis e solventes; elevada resistência mecânica e dureza; boa durabilidade e baixa retração.

A ASTM C 881(1990) recomenda uma série de considerações a respeito das resinas epoxídicas, que auxilia na escolha e caracterização da resina. Nesta classificação destacam-se os tipos, o grau, a classe e a cor de cada resina. Ainda prescreve os cuidados na manipulação da resina, os métodos dos ensaios

necessários, a avaliação da qualidade do produto e as condições de aceitação e rejeição da resina.

Os tipos de resina podem ser definidos segundo a ASTM C 881 (1990) como sendo:

- TIPO I: para aplicação em estruturas não portantes na ligação entre concretos endurecidos;
- TIPO II: para aplicação em estruturas não portantes na ligação entre concreto fresco e concreto endurecido;
- TIPO III: para aplicação como ligante entre materiais antiderrapantes e concretos endurecidos e como ligantes em argamassas ou concretos epoxídicos usados em superfícies sujeitas a movimentações térmicas ou mecânicas;
- TIPO IV: para aplicação em estruturas portantes na ligação entre concretos endurecidos e outros materiais e como ligante para argamassas epoxídicas e concretos;
- TIPO V: para aplicação em estruturas portantes na ligação entre concreto fresco e concreto endurecido;
- TIPO VI: para ligação e selagem de elementos pré-fabricados com cordoalhas internas e para o levantamento tramo-a-tramo de elementos com pretensão temporária;
- TIPO VII: para aplicação como selante não estrutural para elementos pré-fabricados quando se faz o levantamento tramo-a-tramo sem pretensão temporária.

O grau de resina pode ser definido segundo a ASTM C 881 (1990) em função das características de viscosidade e consistência, já a classe da resina pode ser definida em função das faixas de temperatura em serviços, enquanto a classificação por cor é somente para saber se a resina pode ou não ser colorida.

Para Mailvaganam (1997) a resina epoxídica proporciona endurecimento rápido e desenvolve uma alta resistência final em curto espaço de tempo sob temperatura ambiente; ainda ressalta que a velocidade de

endurecimento depende acima de tudo da temperatura e do tipo de formulação do sistema de resina, porém lembra que, como outros materiais orgânicos, a resina epoxídica tem uma baixa resistência ao calor, onde não é aconselhável seu uso para fins estruturais onde exista risco de fogo ou altas temperaturas (ASTM C881-78).

Galleto (2005) ao estudar diversos autores listou algumas propriedades da resina epóxi:

- *Viscosidade*: Pode ser alta, representa dificuldade na mistura, ou baixa, onde pode ser absorvida pelo concreto, os valores recomendados variam de 2 a 10 Pa.s; enquanto comercialmente no Brasil, encontram-se valores de 0,15 à 15 Pa.s, à temperatura de 25°C.

- *Tempo de utilização (Gel time\Pot life)*: é o intervalo de tempo transcorrido desde o instante da mistura do endurecedor com a resina até o instante em que o adesivo começa a endurecer deixando de ser trabalhável

- *Resistencia a compressão*: devido ao fato das resinas epoxídicas serem muito mais resistentes que o concreto convencional, essa propriedade não é relevante para a ligação desse tipo de material.

- *Módulo de elasticidade*: quanto mais se assemelharem o modulo de elasticidade da ponte de aderência ao concreto, menores serão as deformações na interface transversal.

- *Coefficiente de dilatação térmica*: quanto maior a diferença entre os coeficientes do concreto e da resina, maiores as tensões surgidas na camada superficial do concreto por causa das variações de temperatura. A ASTM, no entanto, fixa apenas a temperatura de deformação ao calor e não prevê exigências quanto à compatibilidade térmica entre resina e concreto.

Souza e Ripper (1998) reforçam que as propriedades das resinas epoxídicas vão desde a ausência quase que total de retração durante o processo de cura, até a garantia da integridade da superfície de ligação. Porém, conforme outros autores comentam, apresenta coeficiente de dilatação térmica muito

superior ao do concreto e, desta forma, os procedimentos aplicados em concretos submetidos a variações acentuadas de temperatura podem estar sujeitos ao surgimento de fissuras e deslocamentos relativos, devido a diferença entre as deformações de cada material.

Para Galletto (2005) ao se aplicar uma ponte de aderência usando resinas epoxídicas uma série de cuidados devem ser tomados: primeiramente a superfície do concreto a ser aplicado deve se encontrar limpa, isenta de poeira, graxa e partículas soltas, após a limpeza deve-se garantir a isenção de umidade, pois qualquer resquício de água pode comprometer a eficácia da ponte. Após o tratamento da superfície pode-se aplicar o adesivo, para isso prepara-se o adesivo que, em geral é bi-componente (endurecedor +resina) misturando-se bem os componentes até que o produto se torne homogêneo. O material a ser colado deverá ser colado ter contato com adesivo epoxídico ainda mole, o fabricante indica o tempo de manuseio do produto na sua embalagem, que via de regra pode sofrer alteração mediante a variação da temperatura do ambiente, assim pode reduzir ou aumentar o tempo previsto.

2.2.3.2 Resinas acrílicas

De acordo com Mailvaganam (1997) as resinas acrílicas são formadas por polímeros e copolímeros de éster acrílico e ácidos de metacrilato, cujas características vão de elastômeros a plásticos duros.

As resinas acrílicas são estáveis quando aplicados na mistura de água e cimento, isso permite que seja usado em conjunto com eles, as resinas podem modificar o cimento de três formas segundo Galletto (2005):

- preparo de uma pasta de cimento, onde 50% da água de mistura é substituída pela resina acrílica;
- mistura de água e resina na proporção 1:1, aplicado diretamente ao substrato a ser colado;

- substituição total ou parcial da água de amassamento pela resina acrílica no concreto fresco (concreto novo) a ser aplicado sobre o concreto endurecido.

Galletto (2005) lembra que quando misturado ao cimento, o adesivo a base de resina acrílica cria uma película aderente responsável pela colagem dos dois concretos em casos de reparo.

Através de ensaios laboratoriais, Mailvaganam (1997) explica que pode ser constatada a ineficiência da aplicação diretamente ao substrato da resina diluída em água, isso por não se formara película aderente, causando uma aderência ineficiente.

Ao utilizar como ponte de aderência a resina acrílica é preciso que antes haja um preparo da superfície do concreto, primeiro ela deve ser limpa, isenta de poeira, graxa e partículas soltas, mas, diferente da superfície a receber epóxi, ao invés de seca, ela deve ser saturada com água, tomando-se o cuidado para não deixar empoçamentos.

2.3. METODOLOGIA DE APLICAÇÃO

2.3.1.1. Procedimentos de preparo do substrato

São vários os métodos utilizados para obtenção de uma superfície rugosa na junta de aderência, desde escarificação manual feita por talhadeira e marreta leve, jato de areia e até hidrojateamento. (COURAND, 2000)

Helene (1992), explica que o preparo do substrato pode ser entendido como o conjunto dos procedimentos efetuados antes da limpeza superficial e da aplicação propriamente dita dos materiais e produtos de correção, ou seja, são tratamentos prévios da superfície dos componentes estruturais.

Helene (1992) e Souza (1998) aponta que o procedimento de preparação e limpeza do substrato são tão importantes que são responsáveis por 50% do sucesso da recuperação ou reforço. A tabela 2 demonstra os procedimentos de preparo.

Procedimento	Procedimento mais adequado para tratamento de			
	Concreto com superfície		Aço com superfície	
	seca	úmida	seca	úmida
Escarificação manual	adequado	adequado	inadequado	inadequado
Disco de desbaste	aceitável	adequado	aceitável	aceitável
Escarificação mecânica	adequado	adequado	inadequado	inadequado
Demolição	adequado	adequado	inadequado	inadequado
Lixamento manual	inadequado	aceitável	adequado	aceitável
Lixamento elétrico	adequado	aceitável	adequado	aceitável
Escovamento manual	adequado	aceitável	adequado	aceitável
Pistola de agulha	inadequado	inadequado	adequado	adequado
Jato de areia seco ou úmido	adequado	adequado	adequado	aceitável
Disco de corte	aceitável	adequado	adequado	adequado
Queima controlada	adequado	inadequado	inadequado	inadequado
Remoção de graxa e óleo impregnados	inadequado	adequado	inadequado	adequado
Máquina de desbaste superficial	aceitável	adequado	inadequado	inadequado

Tabela 2- Procedimentos de preparo do substrato. HELENE (1992)

Galletto (2005) recomenda que para se obter uma correta especificação da superfície o primeiro passo é determinar a condições desejada da superfície.

Esta determinação é feita pela união entre os concretos a ser utilizado, vai depender também da qualidade do concreto e das exigências elásticas da união.

ACI-303 (1997), classifica o tratamento de superfícies pela profundidade de tratamento definida como “média” para jato de areia (suficiente para expor de forma geral o agregado graúdo, com profundidade máxima de exposição de aproximadamente 6 mm) parece realista e bastante fácil de se obter com escarificação manual ou mecânica, principalmente se feita logo após a desfôrma do corpo de prova.

O comitê ACI-303 (1997) apresenta as seguintes caracterizações:

“Brush” – remove a matriz de cimento e expõe o agregado fino;

“Light” – suficiente para expor o agregado fino com exposição casual do agregado graúdo;

“Medium” – expõe de forma geral o agregado graúdo;

“Heavy” – expõe o agregado graúdo até um terço de seu diâmetro.

2.3.1.2. Problemas da má preparação

Santana (2004), descreve que para a avaliação de técnicas de reparo estrutural, a interface deve ser áspera, com o agregado exposto. O uso de superfícies obtidas por corte não são adequados por serem exageradamente lisas e não representar efetivamente situações reais de reparo, ou, até mesmo, o caso de juntas de concreto pré-moldado. Dessa forma, o teste pode fornecer resultados desfavoráveis para determinado tipo de tratamento da junta já que a superfície de teste não representa uma situação real.

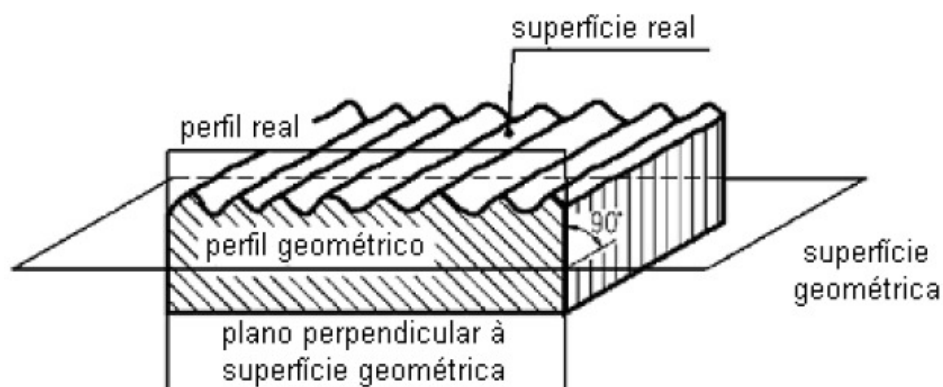
Fagury (2002), cita que em situações de recuperação de estruturas, é muito importante que o profissional ou a equipe envolvida tenham o conhecimento de que existem alguns fatores que afetam a durabilidade dos materiais de reparo, e interferem na compatibilidade entre o material de reparo e

o substrato. Esta compatibilidade pode ser definida com os fatores das propriedades física, química, eletroquímicas e dimensionais na junta de ligação, entre o substrato e o material de reparo, que irão garantir que diante de solicitações de tensões provocadas por variação de volume, ou sob efeitos de deterioração de agentes externos, o material utilizado como reparo irá manter-se estável.

2.4. RUGOSIDADE

Pretto (2007), cita que no Brasil, os conceitos de rugosidade superficial são definidos pela norma NBR ISSO 4287/2002 – Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: método do perfil dos termos, definições e parâmetros da rugosidade. Ainda descreve Pretto (2007) que esta norma define o sistema de avaliação, termos do conceito relativos à rugosidade de superfície, procedimentos de avaliação usado por meio de instrumentos apalpadores elétricos e classificação da rugosidade por meio de parâmetro padronizados.

A figura 1 apresenta a representação da superfície geométrica, e do perfil geométrico real, a tabela 3 apresenta as definições das superfícies e dos perfis obtidos a partir delas.



Perfil real, cortado por um plano perpendicular

Figura 2. Perfil real, cortado por um plano perpendicular (ROSA, 2007)

	Geométrico (a)	Real	Efetivo (a)
Superfície	Superfície ideal prescrita no projeto, na qual não existem erros de forma e acabamento. Por exemplo: superfícies plana, cilíndrica etc., que sejam, por definição, perfeitas. Na realidade, isso não existe; trata-se apenas de uma referência.	Superfície que limita o corpo e o separa do meio que o envolve. É a superfície que resulta do método empregado na sua produção. Por exemplo: torneamento, retífica, ataque químico etc. Superfície que se pode ver e tocar.	Superfície avaliada pela técnica de medição, com forma aproximada da superfície real de uma peça. É a superfície apresentada e analisada pelo aparelho de medição. Existem diferentes sistemas e condições de medição que resultam diferentes superfícies efetivas.
Perfil	Intersecção da superfície geométrica com um plano perpendicular. Por exemplo: uma superfície plana perfeita, cortada por um plano perpendicular, originará um perfil geométrico que será uma linha reta.	Intersecção da superfície real com um plano perpendicular. Neste caso, o plano perpendicular (imaginário) cortará a superfície que resultou do método empregado que gerou a rugosidade e originará uma linha irregular	Imagem aproximada do perfil real, obtido por um meio de avaliação ou medição. Por exemplo: o perfil apresentado por um registro gráfico, sem qualquer filtragem e com as limitações atuais da eletrônica.

Tabela 3. Superfícies e perfis: definições PRETTO (2007)

A figura 3 apresenta uma superfície e seu perfil efetivo, mostrando os elementos que compõem a textura superficial.

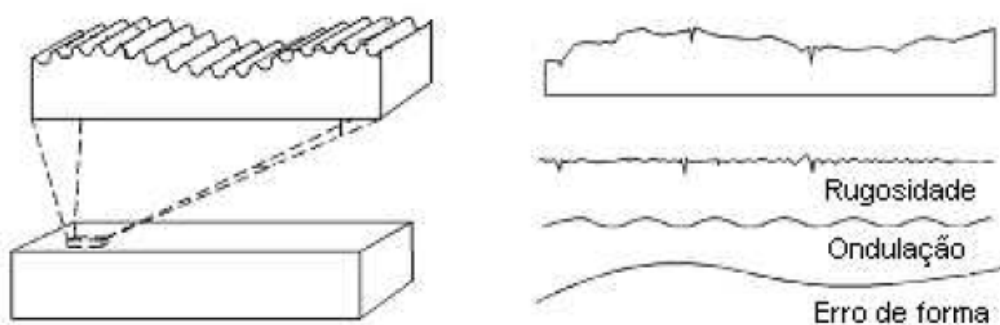


Figura 3. Elementos que compõem um perfil de uma superfície (ROSA,2007)

Bélair (2005) aponta que a rugosidade de superfícies de concreto após a filtragem é possível distinguir a microrugosidade da macrorugosidade. Logo, o perfil completo é a composição do perfil da forma (ondulação) e o perfil macro. O perfil de forma representa as irregularidades do acabamento ou da inclinação

da superfície. O estudo da rugosidade do concreto e a sua influência na aderência da camada subsequente, os parâmetros devem ser avaliados a partir do perfil macro conforme figura 4.

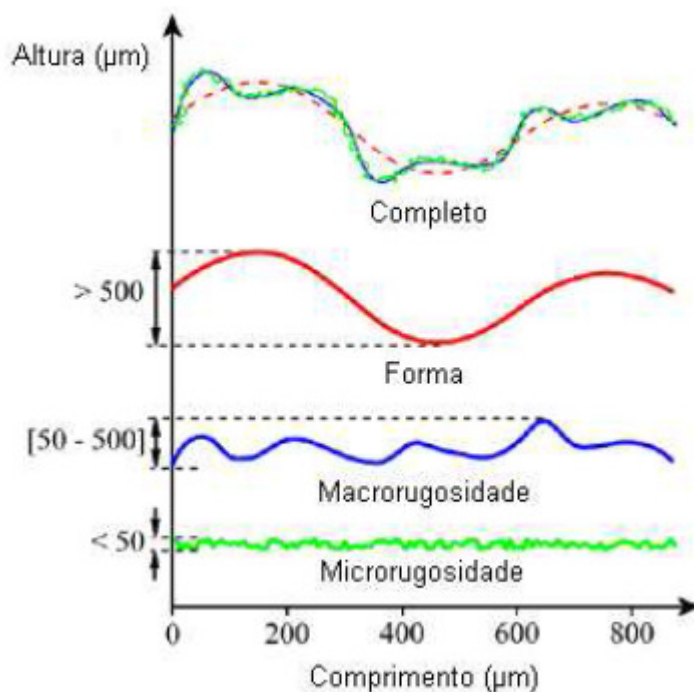


Figura 4. Decomposição de um perfil de superfície (BELAIR,2005)

De acordo com a norma, perfil é a interseção da superfície com um plano perpendicular a ela. O perfil, assim como a superfície da qual foi obtido. A figura 2 apresenta a representação da superfície geométrica, e do perfil geométrico real, a tabela 3 apresenta as definições das superfícies e dos perfis obtidos a partir delas.

Santos (2006) explica a classificação das superfícies do concreto, comenta que a rugosidade é avaliada geralmente somente qualitativamente, observando a superfície do substrato e classificando-a de muito lisa a muito áspera, de acordo com a EUROCODE 2. Já o ACI 318 apresenta duas categorias de rugosidade e BS 8110 considera somente o equipamento que deve ser usado para criar a rugosidade desejada.

Galecki et al.,2001, 2006 destaca que não há nenhum método para se medir eficazmente a rugosidade do concreto. A verificação da rugosidade pode ser feita apenas da comparação de superfícies de concretos com os perfis modelos plásticos dos padrões fornecidos pelo International Concrete Repair Institute (ICRI). os padrões são de rugosidade do concreto são identificado com 9 perfis diferentes conforme ilustrado na figura 5.

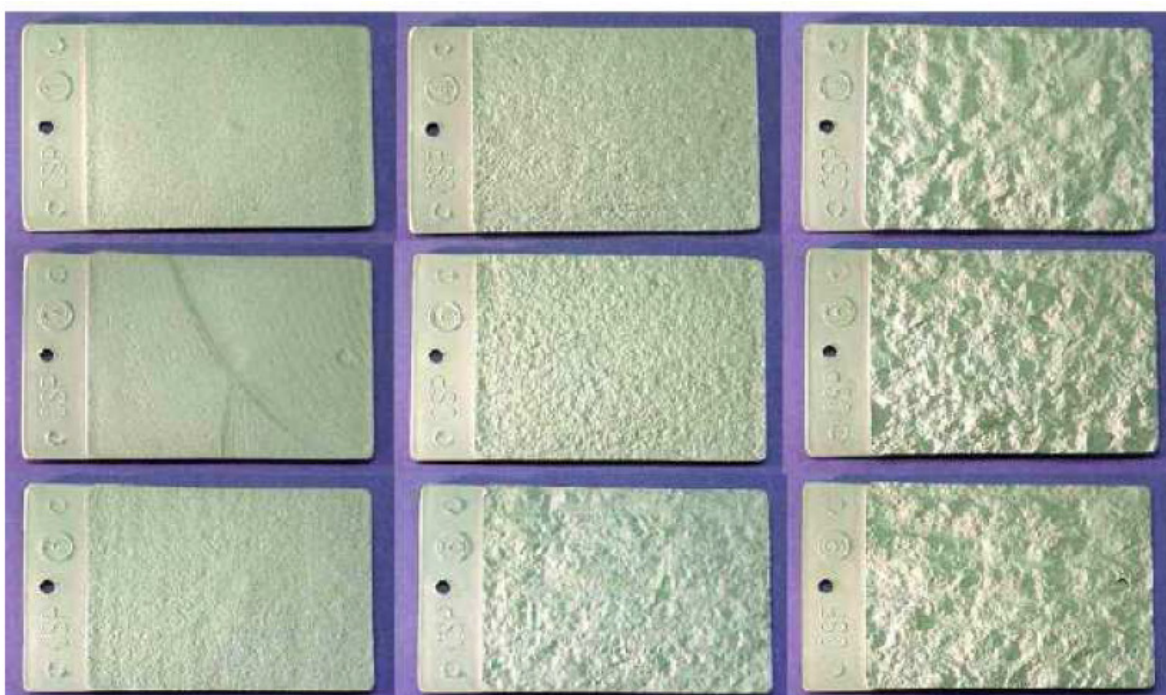


Figura 5. Modelos plásticos dos perfis de superfície do concreto (GALECKI et al.,2001, 2006)

Já Bélair (2005) explica que a maior dificuldade em usar os padrões dos modelos de plásticos é saber exatamente a que modelo dos perfis de superfície de concreto corresponde. Na pratica, não é sempre fácil determinar a que superfície corresponde porque a percepção das formas do olho humano tem seu limites.

Ainda Bélair (2005) citou diversas técnicas usadas para a medição da rugosidade possível de serem utilizadas na superfícies de concreto, o perfilômetro mecânico e o método macroscópico com o uso de “areia”. Bélair (2005) e Perez (2005) apontaram o método de triangulação a laser, que projeta

um feixe na superfície do objeto, com o contato do feixe com a superfície é coletado por uma câmera de dispositivo de transferência de carga (DTC). Com o deslocamento do objeto se obtém-se um perfil com a profundidade real, assim é obtida a distância em cada ponto do contato do feixe com a superfície e a linha de referência. Outro método citado é o moiré de Project. É um método ótico cujo o princípio geral consiste em projetar uma rede de “franjas” (alternância de faixas protegidas e desobstruídas) na sua superfície a ser caracterizada. Quando a rede das franjas se encontra com a superfície, torna-se deformada e a imagem é então coletada por uma câmera DTC. A geometria da superfície é obtida pela imagem processada digitalmente. Em sua pesquisa com superfície é obtida por uma imagem processada da superfície através de um software de análise.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Foi feita uma análise da relação entre o tipo do material aplicado como ponte de aderência, e da rugosidade da superfície do CAD, com a resistência obtida em testes de tração por compressão diametral e compressão simples após a colagem dos corpos de prova previamente cortados ao meio.

Foi dosado concreto de alto desempenho a fim de moldar 40 corpos de prova de 10cm por 20cm, utilizando os seguintes materiais: água, cimento CP-V-ARI, brita 1, areia para regularização, areia média, aditivo superplastificante e sílica de casca de arroz.

Os corpos de prova foram separados em grupos de 4 CP's para cada teste, conforme a lista abaixo:

- 4 corpos de prova para testar tração com ponte de aderência cimentícia e superfície lisa.
- 4 corpos de prova para testar tração com ponte de aderência cimentícia e superfície rugosa.

- 4 corpos de prova para testar compressão com ponte de aderência cimentícia e superfície lisa.
- 4 corpos de prova para testar compressão com ponte de aderência cimentícia e superfície rugosa.
- 4 corpos de prova para testar tração com ponte de aderência epoxídica e superfície lisa.
- 4 corpos de prova para testar tração com ponte de aderência epoxídica e superfície rugosa.
- 4 corpos de prova para testar compressão com ponte de aderência epoxídica e superfície lisa.
- 4 corpos de prova para testar compressão com ponte de aderência epoxídica e superfície rugosa.
- 4 corpos de prova para testar tração do CAD normal
- 4 corpos de prova para testar compressão do CAD normal

Todos os CP's foram moldados utilizando o mesmo traço de concreto e os mesmos materiais.

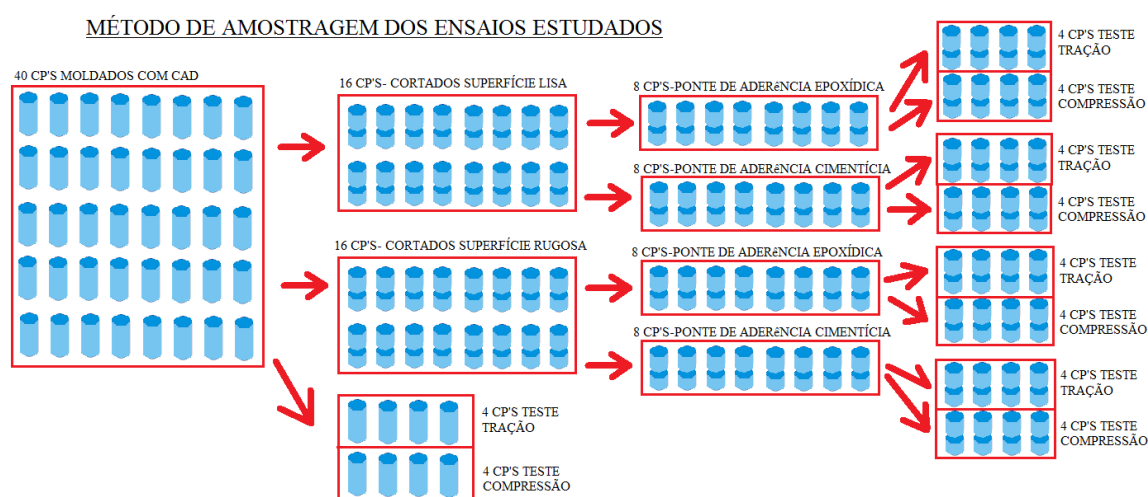


Figura 6 -Método de amostragem dos ensaios

3.1. ESTUDO DE CASO:

Todos os corpos de prova ficaram 28 dias em tanque com água para cura, aos 28 dias foram cortados 32 corpos de prova ao meio na parte diametral, ficando 8 corpos sem cortar à fim de testar suas resistências sem a ponte de aderência.

Metade dos corpos de prova cortados foram apicoados, ficando as superfícies onde seriam colados rugosas, ou seja, a região de colagem destes ficaram entre superfícies rugosas, enquanto o restante ficou superfície lisa com lisa.

Após o corte e apicoamento dos devidos corpos de prova foi utilizado dois tipos de ponte de aderência para colá-los, sendo um de base cimentícia e outro de base epoxídica.

Após 28 dias de cura de ambos os tipos de ponte de aderência todos os CP's foram rompidos, uma metade foi por teste de compressão e a outra metade por tração por compressão diametral conforme figura 6.

3.2. PROCEDIMENTO DE PREPARO DO CONCRETO DE ALTO DESEMPENHO

Para a preparação do CAD necessitamos de equipamento e materiais específicos conforme descritos nos itens a seguir 3.1 e 3.2, os materiais e seus volumes foram retirados de tabela de traço para CAD conforme tabela 4, o qual tínhamos como expectativa atingir um concreto com resistência superior a 60MPa aos 28 dias.

Nível	CP (Kg)	SA (Kg)	Total Água (Kg)	Agreg. Graúdo (Kg)	Agreg. Miúdo (Kg)	Peso Total (Kg)	Rel. A/A
A	434	38	175	1041	689	2376	0,37
B	476	41	160	1059	672	2407	0,31
C	518	45	145	1076	655	2438	0,26
D	546	47	135	1093	637	2458	0,23
E	587	51	120	1111	620	2489	0,19

Tabela 4. Traço de CAD (METHA e AITCIN, 1990)

Com esta tabela de referência foi possível dosar um concreto de alto desempenho, posteriormente utilizado para moldar os corpos de prova para se realizar os testes de ponte de aderência necessária entre eles.

3.1.1 Materiais aplicados no CAD

3.1.1.1 Cimento Portland

Para este experimento foi utilizado o cimento CP-V ARI RS indicado para concreto de alto desempenho, devido sua alta resistência inicial, conforme figura 7.



Figura 7- Cimento CP-V e Sílica

3.1.1.2 Sílica de casca de arroz

Para este experimento foi utilizado como aditivo mineral a sílica de casca de arroz, devido a finura dos grãos e a facilidade de encontrar esse material no mercado, já que a microsíllica, a sílica ativa e o metacaulin são mais difíceis de serem adquiridos. A sílica adotada foi a ilustrada na figura 7.

3.1.1.3 Agregado graúdo

Para este ensaio foi escolhida brita 1 conforme figura 8, extraída da jazida da CALTEC, com origem calcária, conforme anexo que descreve suas características químicas e físicas.



Figura 8- Brita 1

3.1.1.4 Agregado miúdo

Foram utilizadas para este ensaio dois tipos de agregados miúdos, ambos demonstrados na figura 9, os quais foram secados em temperatura ambiente. O primeiro trata-se de pó de pedra, cuja base mineral é a mesma da brita 1 utilizada, o laudo da pó de pedra que contém as características granulométricas está em anexo.

O outro agregado miúdo é a areia fina, cujo objetivo da sua utilização foi a de corrigir a falta de materiais com baixa granulometria e massa específica, prevenindo a alta quantidade de ar incorporado.



Figura 9- Pó de pedra e areia fina

3.1.1.5 Água

Para a dosagem do concreto foi utilizada a água fornecida pela companhia paranaense de abastecimento de água (Sanepar), contudo a qualidade e composição química são controladas pela central de concreto.

3.1.1.6 Aditivo químico

Foi utilizado um superplastificante sintético baseado na tecnologia de polímeros policarboxilatos conforme a figura 10, sua densidade é de $1,07\text{g/cm}^3$ sua dosagem recomendada é de 0,2 a 5% sobre o peso do cimento. No experimento foi utilizado 2%, para reduzir o consumo de água e aumentar a trabalhabilidade para um concreto auto adensável.



Figura 10- Aditivo superplastificante

3.1.2 Equipamentos utilizados

3.1.2.1 Balanças

Foi utilizado duas balanças, uma de precisão de até 5kg para medir materiais com baixo volume conforme figura 11, e outra de 5kg a 60kg conforme figura 12 para materiais com maiores volumes, o sistema de medida dos materiais adotado foi kilograma.



Figura 11- Balança de precisão



Figura12- Balança de plataforma eletrônica

3.1.2.2 Misturador mecânico

Foi utilizado um misturador mecânico para a dosagem do CAD conforme figura 13, sua alimentação elétrica de 220V e sua capacidade de 120L, como o volume necessário era de 314 L, excedendo a capacidade máxima do misturador, foi dividido a dosagem em etapas com o volume do traço ajustado para cada etapa.



Figura 13 - Misturador mecânico de concreto

3.1.2.3 Moldes de corpo de provas

Foram utilizados moldes metálicos de dimensão 10cm de diâmetro e 20cm de altura conforme figura 14, estes moldes foram previamente umedecidos com óleo diesel para facilitar a desmoldagem dos CP's posteriormente.



Figura 14- Moldes metálicos para concreto

3.1.3 Metodologia de dosagem

O traço da tabela 1 é para 1m^3 de concreto, como o volume máximo de trabalho da misturadora era em torno de 70 litros, adotamos um volume de 38 litros por etapa, ajustando e separando o volume de cada material em questão.

Não existe uma regra geral da ordem dos materiais a serem inseridos na misturadora, neste experimento seguimos a seguinte ordem: agregados miúdos, depois uma parte do agregado graúdo, cimento e a sílica, depois a água, o restante do agregado graúdo e finalmente aditivo químico, conforme ilustra a figura 15.



Figura 15 - Materiais em mistura

Após misturado todos os materiais foi realizado o flow test para verificar a trabalhabilidade do concreto conforme figura 16, desta maneira pode-se verificar que o concreto é alto adensável.



Figura 16- Flow test

Após realizado o flow test obteve-se um resultado de 80cm, devido ao uso do aditivo superplastificante. Depois foram moldados os corpos de prova, inserindo o concreto nos moldes, adensando com auxílio de uma barra metálica para evitar vazios, a aplicação ocorreu em uma única camada. Foi repetido o mesmo traço e mesmo procedimento para preencher os 40 moldes conforme figura 17.



Figura 17- CP's recém moldados

Após moldados os corpos de prova, os mesmos permaneceram 24 horas dentro dos moldes, após este prazo foram desmoldados todos os CP'S e imergidos em tanque com água, onde permaneceram por mais 27 dias em processo de cura.

3.3. PROCEDIMENTO DE ADAPTAÇÃO DOS CP'S PARA OS ENSAIOS

O processo de preparação dos corpos de prova para os ensaios seguiu a seguintes sequencia: corte dos CP's, preparo do substrato, aplicação da ponte de aderência, estocagem para cura da ponte de aderência e retificação da superfície dos CP's. Este processo de preparação foi iniciado a partir dos 28º dia de cura do CAD.

3.2.1 Cortes dos CP's

Dentre os 40 corpos de prova moldados, 32 deles foram separados, numerados e levados a uma indústria de peças pré-moldadas de concreto, onde através de um equipamento de corte de laje foi possível efetuar o corte dos CP's. Esse corte foi no centro resultando em duas metades de CP, com 10cm de diâmetro e 10cm de altura cada, ambos os lados dos CP's foram identificados por números, pois posteriormente cada metade foi colada à sua respectiva, conforme ilustra a figura 18.



Figura 18- CP's cortados

3.2.2 Preparo do substrato

Dentre os 32 corpos de prova cortados, 16 deles foram separados para a preparação de superfície. Foi realizado a escarificação manual. Desta forma o agregado graúdo fica exposto sem a presença considerável de pasta em torno dos agregados. Este procedimento foi feito através de uma talhadeira e uma marreta pequena conforme ilustra a figura 19, onde foi tomado medidas preventivas nos golpes para evitar que as arestas lascassem, obteve-se uma superfície rugosa com agregado exposto conforme figura 20, porém este método acabou afetando a integridade interna do CP pelas tensões geradas. Isso foi realizado nas duas metades de cada CP no lado onde seriam colados. Após feito este trabalho na superfície todos os corpos de prova foram limpados com uma pincel, com o objetivo de retirar qualquer partícula de poeira existente.



Figura 19- Método de escarificação manual



Figura 20- Superfície rugosa

3.2.3 Aplicação da ponte de aderência

Nesta experimento optou-se por verificar dois tipos de ponte de aderência distintos, sendo um à base de epóxi e outro à base de cimento.

A ponte de aderência cimentícia foi aplicada em 8 CP's lisos (sem escarificação) e 8 CP's rugosos (com escarificação), para isto foi utilizado os moldes metálicos igualmente utilizados no processo de fabricação dos CP's, neste moldes foram inseridos metade de cada CP, depois uma camada pasta de cimento e depois a outra metade do CP respectivo, optou-se por fazer desta forma devido a fluidez do material cimentício empregado.

A ponte de aderência epoxídica, diferentemente da cimentícia, foi realizada sem utilizar o moldes metálicos, onde apenas foi aplicada uma fina camada de material epoxídico em cada fase de colagem do CP, depois foram sobrepostas uma a outra, onde o peso próprio do CP foi utilizado para comprimir a região colada. Este procedimento foi realizado também em 8 CP's lisos (sem escarificação) e 8 CP's rugosos (com escarificação), os CP's estavam um pouco úmidos, pois devido ao tempo não pode ser secado como deveria.

Ambas as pontes de aderência foram aplicados no mesmo dia. O preparo de cada material foi conforme recomendação do fabricante, sendo que o de base cimentícia foi inserido água na sua mistura, enquanto o epoxídico foi misturado os dois componentes do material (A+B). Abaixo a figura 21 mostra a aparência dos CP's colados, a esquerda com ponte de aderência cimentícia e a direita com ponte de aderência epoxídica.



Figura 21 - Corpos de prova com ponte de aderência aplicada

3.2.4 Retificação da superfície dos CP's.

Ao fazer a colagem dos CP's verificou-se irregularidade na superfície do concreto, porque ao moldar os CP's a superfície superior ficou irregular devido a inclinação do piso aonde foi condicionada e também de saliências do agregado graúdo. Tecnicamente esta diferença em um corpo de prova compromete seu resultado em ensaios como o de compressão, devido a concentração de esforços em pontos sobressalientes. Os corpos de prova tiveram que ser retificados conforme figura 22. Este procedimento foi realizado em todos os corpos de prova que foram separados para testes por compressão, os CP's para tração não foram regularizados uma vez que o ensaio não exige este cuidado.



Figura 22- Retífica de corpos de prova

3.3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO E TRAÇÃO

Os 40 corpos de prova foram submetidos a ensaios de resistência, a compressão e a de tração por compressão diametral.

A amostragem de cada ensaio foi definida como 4 para cada tipo de teste sugerido. Ambos ensaios são definidos por normas sendo elas:

-Determinação da resistência a compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto – NBR 5739/2007, conforme figura 23.

-Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de concreto – NBR 7222/2010, conforme figura 24.



Figura 23- Prensa hidráulica para teste de compressão

Para os ensaios de tração foram utilizados os corpos de prova sem retificação de superfície, para este ensaio utilizou-se uma prensa de 100 toneladas conforme figura 24, já para ensaiar os corpos de prova foram necessários suportes metálicos, a norma recomenda que o suporte deve ser de madeira, porém este ensaio foi realizado com os materiais de apoio metálicos.



Figura 24 Prensa hidráulica para ensaio de compressão diametral

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O tempo de cura do CAD foi de 28 dias após a moldagem, o tempo de cura das pontes de aderência foi de 34 dias, o tempo total desde a dosagem até o rompimento foi de 52 dias.

Aos 52 dias foi realizado o rompimento de todos os corpos de prova, as tipos de ruptura e os resultados de resistência foram coletados. A seção 4.1 representa os dados obtidos, enquanto a seção 4.2 apresenta a análise dos resultados comparando cada método empregado, informando as vantagens e desvantagens de cada um.

4.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para identificar cada tipo de corpo de prova foi criado uma nomenclatura, classificadas conforme tabela 5.

SIGLAS	SIGLAS	DESCRIÇÃO
E L T	Epoxídica Liso Tração	Teste tração em superfície lisa com ponte de aderência epoxídica
E R T	Epoxídica Rugoso Tração	Teste tração em superfície rugosa com ponte de aderência epoxídica
C L T	Cimentício Liso Tração	Teste tração em superfície lisa com ponte de aderência cimentícia
C R T	Cimentício Rugoso Tração	Teste tração em superfície rugosa com ponte de aderência cimentícia
E L C	Epoxídica Liso Compressão	Teste compressão em superfície lisa com ponte de aderência epoxídica
E R C	Epoxídica Rugoso Compressão	Teste compressão em superfície rugosa com ponte de aderência epoxídica
C L C	Cimentício Liso Compressão	Teste compressão em superfície lisa com ponte de aderência cimentícia
C R C	Cimentício Rugoso Compressão	Teste compressão em superfície rugosa com ponte de aderência cimentícia
REFT	Referência Tração	Corpo de Prova de Referência para teste de tração
REFC	Referência Compressão	Corpo de Prova de Referência para teste de compressão

Tabela 5- Identificação de siglas adotadas nos ensaios

Os resultados foram divididos em três quesitos, primeiro resistência dos ensaios, segundo o tipo de ruptura e por ultimo algumas características relevantes.

4.1.1 Resultados de Resistências

No gráfico 1, comparou-se a resistência à compressão nos corpos de prova constituídos por CAD. Já o gráfico 2 compara a resistência do mesmo tipo de CAD mas agora à tração por compressão diametral.

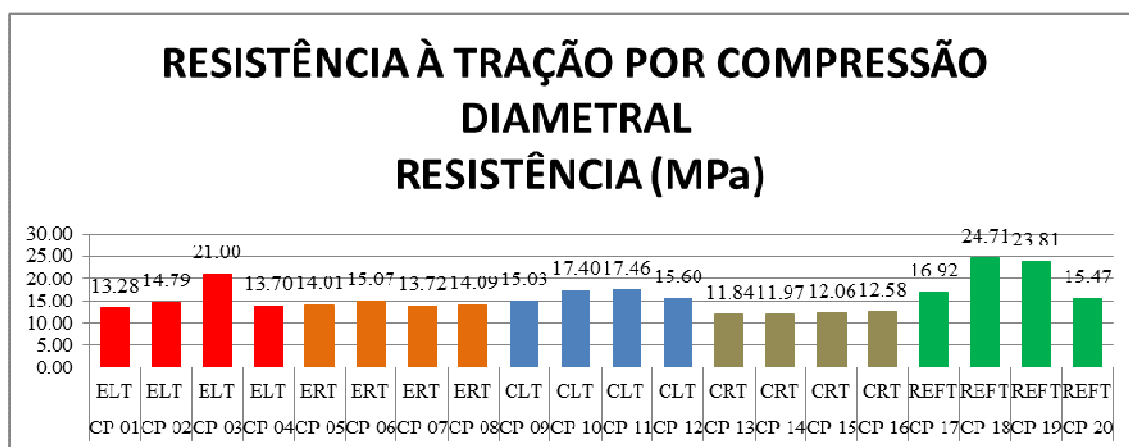


Gráfico 1- Resistência à compressão aos 52 dias

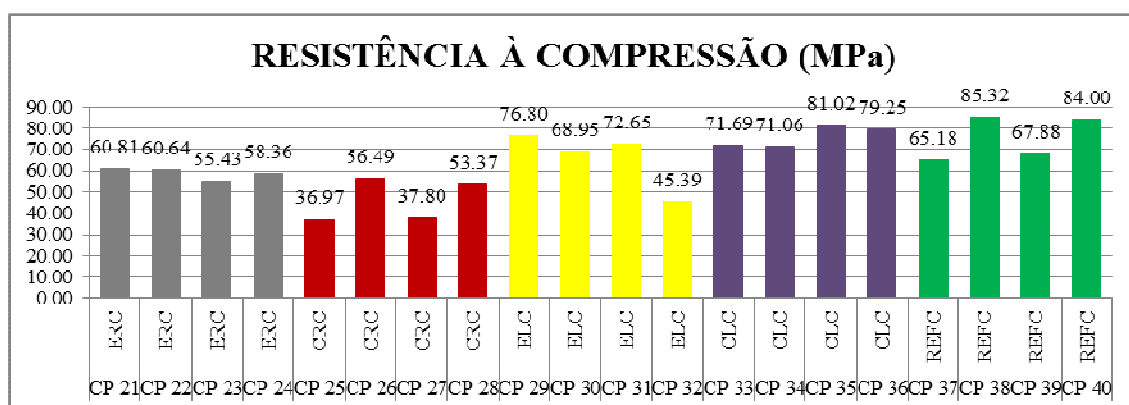


Gráfico 2- Resistência à tração por compressão diametral aos 52 dias

É possível observar que no gráfico 1 alguns resultados eram esperados como por exemplo a maior resistência obtida ser a de um CP sem ponte de aderência. O gráfico 1 mostra que a ponte de aderência cimentícia foi a mais eficiente quando aplicado em superfície lisa, inversamente com o resultado obtida em superfície rugosa, onde obteve os piores resultados de resistência, isso

porque o corpo de prova ao ser realizado o apicoamento acabou gerando tensões no CP, que prejudicou no resultado final. A amplitude encontrada no gráfico 1 é de 48,35 MPa, o ensaio que mais se aproximou do REFC foi um CP de CLC.

O gráfico 2 trata dos resultados do outro ensaio realizado, o de tração por compressão diametral, é possível observar o CP de ELT foi o que obteve a resistência mais próxima do REFT, que por sua vez atingiu a maior resistência, 24,71MPa.

Ainda no gráfico 2, obteve-se outros dados importantes ambos os tipos de ponte de aderência tiveram valores semelhantes, porém com vantagem das ponte de aderência epoxídica que com a umidade existente no concreto afetou o resultado. Ao contrário do que se esperava o menor resultado foi em CRT ao invés de uma CLT.

4.1.1.1 Comparação da resistência tração por compressão diametral em superfície lisa

Nesta comparação foi possível observar qual ponte de aderência obteve melhor resultado em superfície lisa.

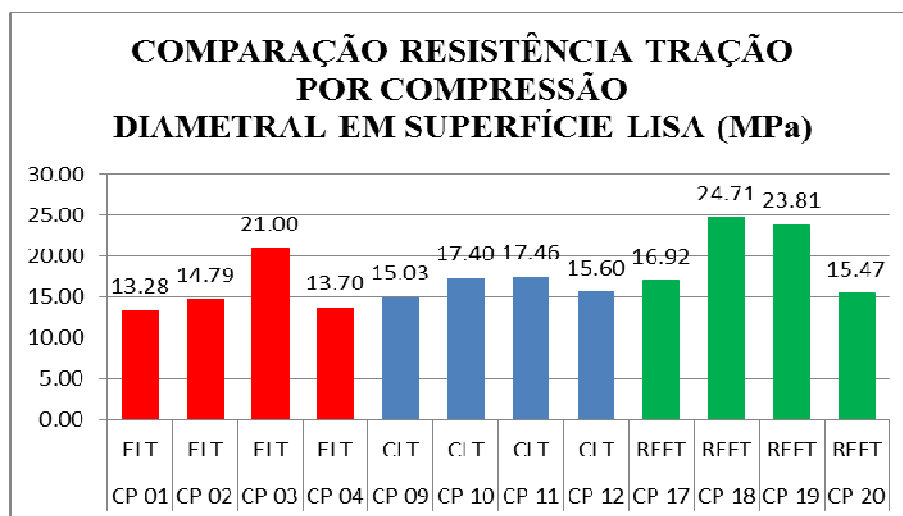


Gráfico 3- Resistência à tração por compressão diametral aos 52 dias – superfície lisa

Os ensaios de CLT obtiveram uma menor amplitude, se comparado aos ELT, os CP's de ELT apresentaram tanto a maior como a menor resistência nos ensaios.

O gráfico 3 ilustra também que os ensaios REFT devido a sua alta amplitude, pôde em alguns CP's ser superado pelos ensaios ELT e CLT, isto pode ter ocorrido por irregularidades nos moldes metálicos que foram utilizados.

Os ensaios em ELT na média obtiveram as resistências mais próximas às atingidas pelos REFT, cerca de apenas 15 % abaixo nesta comparação. Ambos ensaios tiveram perdas percentuais médianas porém as duas ainda suportaram grandes esforços de tração por compressão diametral.

4.1.1.2 Comparação da resistência compressão em superfície lisa

Diferentemente dos ensaios a tração por compressão diametral, o ensaio por compressão em superfície lisa era um dos que se esperava a maior aproximação dos resultados entre CP's de REFC e CP's com a ponte de aderência. Devido o pequeno volume de ponte de aderência necessária para superfície lisa era esperado que a transferência de esforços entre a parte superior e inferior do CP's fosse homogênea.

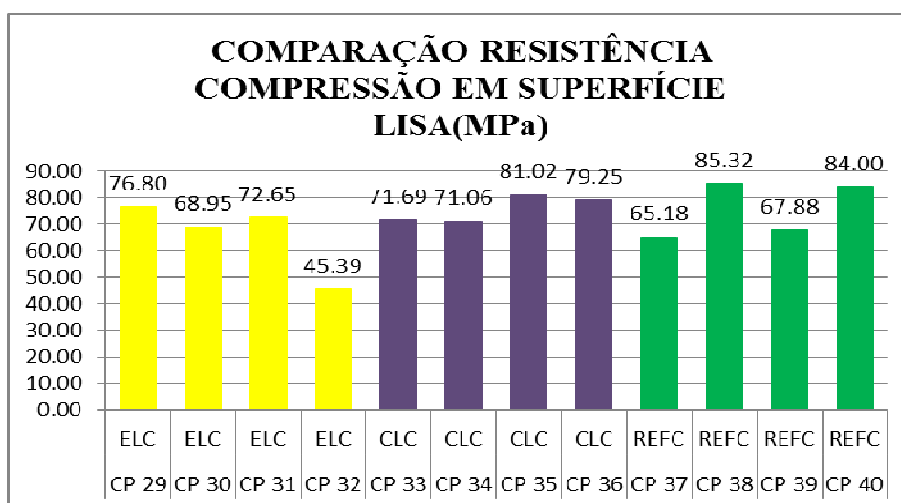


Gráfico 4- Resistência à compressão aos 52 dias – superfície lisa

O gráfico 4 mostra que os melhores resultados foram atingidos nos CLC, alta resistência e baixa amplitude mostraram que o CLC foi apto a receber a caracterização de ponte de aderência eficiente para este ensaio.

Os CP's ELC também obtiveram um bom resultado, porém com exceção de um CP que atingiu uma resistência inferior ao esperado, a média apresentou resistência cerca de 10% abaixo dos CP's de REFC, muito próxima a média dos resultados dos CLC.

É possível verificar que para ensaios a compressão, quando aplicado pequenos volumes dos materiais de ponte de aderência o comportamento de transferência de esforços não tem prejuízo significativo.

4.1.1.3 Comparação da resistência tração por compressão diametral em superfície rugosa

Este sem dúvida foi o ensaio onde os CP's com ponte de aderência atingiram os resultados mais distantes dos CP's REFT, neste caso a superfície rugosa aparentemente fragilizou os CP's, criando maior atuação da ponte de aderência ao sofrer aplicação de cargas diametraais.

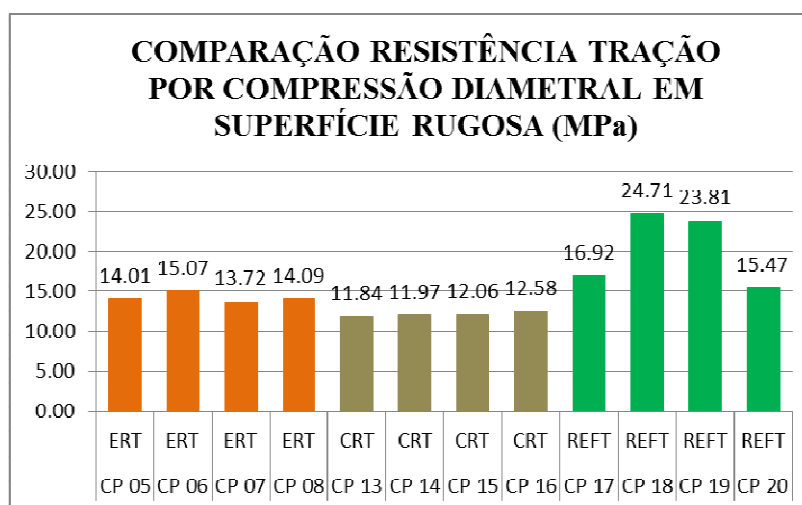


Gráfico 5- Resistência à tração por compressão diametral aos 52 dias – superfície rugosa

Ao analisar o gráfico 5 encontra-se as menores amplitudes de testes encontradas, tanto os ERT como os CRT tiveram suas amostras com resultados muito próximos entre si, mesmo tendo a superfície rugosa com pouca padronização na execução.

Os resultados melhores foram atingidos pelos ERT, cerca de 17 % acima dos CRT, porém 40% abaixo dos REFT, fato este que justifica uma deficiência notável nestas pontes de aderência em ensaios que requerem maior solicitação da resistência a esforços mecânicos das mesmas.

4.1.1.4 Comparação da resistência compressão em superfície rugosa

A resistência a compressão em superfície lisas foram satisfatórios, em superfícies rugosas pode-se observar que todos os ensaios tiveram dificuldades em atingir a resistência de 60 MPa, que era a meta de resistência adotado neste experimento, abaixo o gráfico 6 mostra como ficou os resultados.

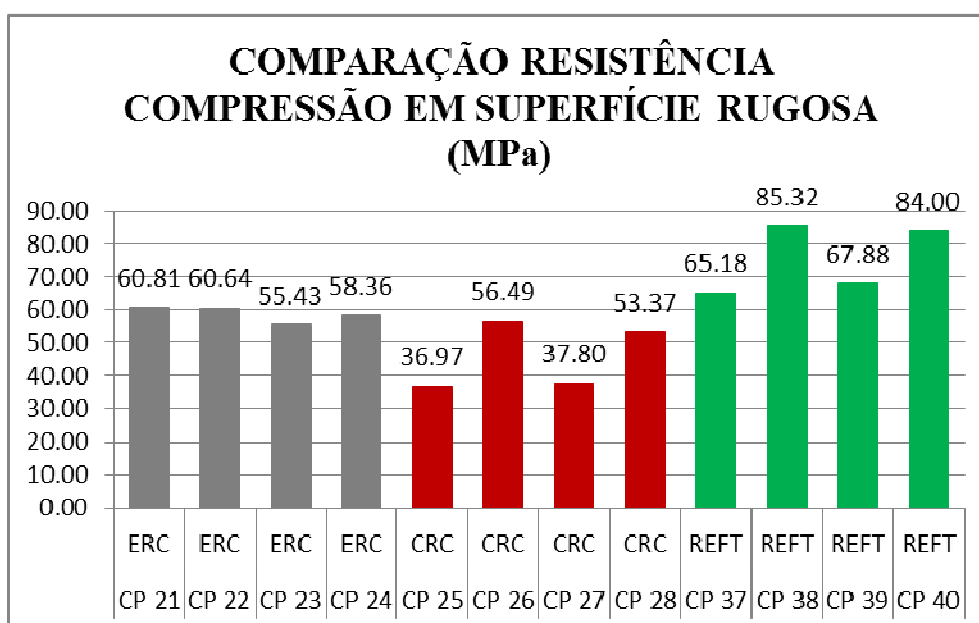


Gráfico 6- Resistência à compressão aos 52 dias – superfície rugosa

Vale ressaltar que o ERC segundo o gráfico 6 teve amplitude baixa, também neste caso teve um melhor comportamento que o CRC, que acabou apresentando ensaios com resistência muito baixa para o CAD.

A diferença da resistência do REFT para CRC foi alta, isso não quer dizer que o CRC não seja eficaz mas que talvez a resistência do material não seja equivalente à resistência do CAD.

O CRC teve a amostra com menor resistência, cerca da metade atingida na média pelos REFT. Os ensaios de REFT em compressão acabaram tendo grande variação, fato inesperado pela cuidado na regularização da superfície e também por se tratar de traços moldados com mesmo CAD.

4.1.1.5 Comparação da resistência tração por compressão diametral em ponte de aderência epoxídica

O ensaio de tração por compressão diametral comparando epoxídica e cimentícia apresentou grande variação, pois naquele ensaio havia grande solicitação da ponte de aderência. Na comparação entre liso e rugoso da ponte de aderência epoxídica como podemos verificar no gráfico 7 teve uma variação muito pequena entre os resultados. Com excessão do CP 03 que atingiu uma resistência discrepante, é possível dizer que neste ensaio a superfície sendo lisa ou rugosa não interfere significativamente na resistência. Ambas tiveram mesmo desempenho no teste.

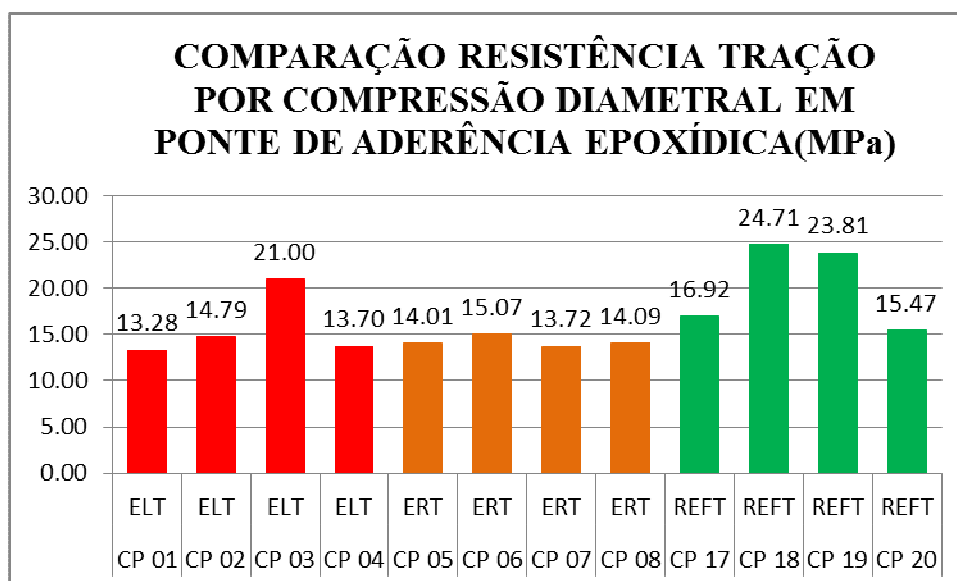


Gráfico 7- Resistência à tração por compressão diametral aos 52 dias – ponte de aderência epoxídica

Comparando todos os resultados de ELT e ERT com os REFT, é possível observar uma boa perda de resistência, algo em torno de 20%, fato que demonstra a fragilidade no CP ao fazer uma união entre concretos de alto desempenho.

4.1.1.6 Comparação da resistência compressão em ponte de aderência epoxídica

A ponte de aderência epoxídica novamente trouxe uma única amostra com valor discrepante, aconteceu com o CP 32 que apresentou resistência muito inferior aos ELC rompidos.

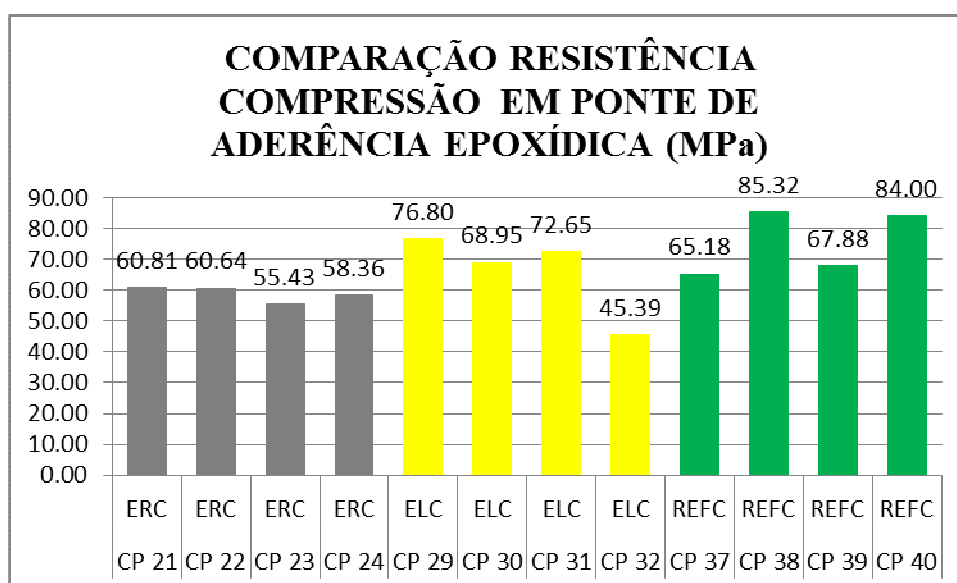


Gráfico 8- Resistência à compressão aos 52 dias – ponte de aderência epoxídica

Analisando o gráfico 8 nitidamente os ELC foram ligeiramente melhores em resistência que os ERC, novamente salienta-se que com o ensaio rugoso exige-se maior volume de material de ponte aderência, fato este que pode dar um resultado inferior devido a resistência mecânica do CAD ser superior a dos materiais de reparo.

Um aspecto interessante é que a superfície lisa aparentemente possui maior uniformidade nos CP's do que as rugosas, porém as maiores variações foram observadas nas lisas, no geral as pontes de aderência epoxídica tiveram resultados satisfatórios porém com perda de resistência em ambas superfícies.

4.1.1.7 Comparação da resistência tração por compressão diametral em ponte de aderência cimentícia

Ao analisar a ponte de aderência cimentícia rugosa e lisa observa-se que a superfície lisa teve maior resistência se comparado com a rugosa, pelo fato

de ter menos material na ligação entre os CAD, isto gerou uma diferença percentual de 26% na resistência média.

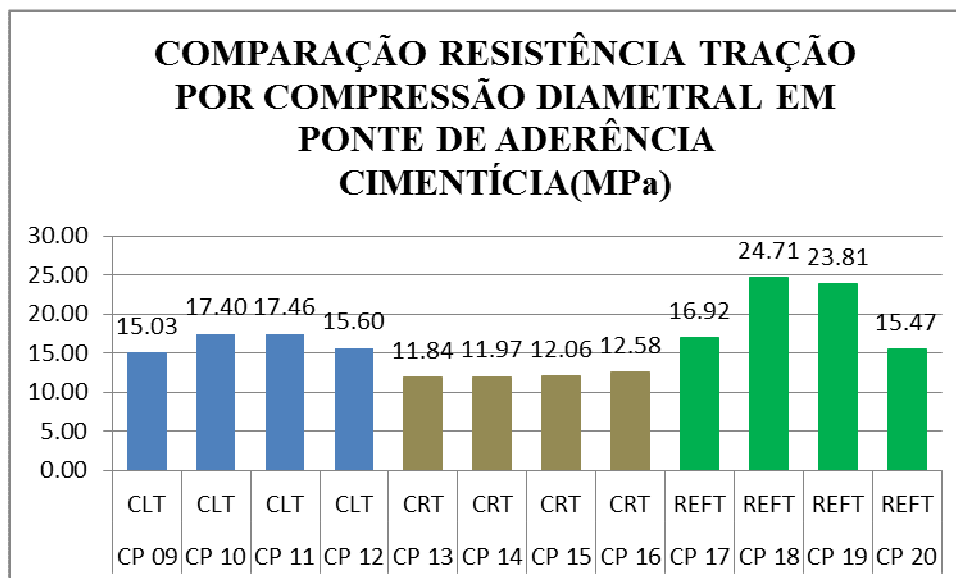


Gráfico 9- Resistência à tração por compressão diametral aos 52 dias – ponte de aderência cimentícia

O gráfico 9 apresenta pouca variação nos resultados, mas nitidamente a ponte de aderência cimentícia foi inferior ao REFT, principalmente o CRT, a ponte de aderência cimentícia não teve um bom desempenho nos ensaios a tração por compressão diametral.

Não se recomenda utilizar ponte de aderência cimentícia com resistência inferior ao concreto CAD, pois embora a superfície possa gerar uma contribuição na adesão por atrito, ainda assim ela pode se descolar do concreto utilizado.

4.1.1.8 Comparação da resistência compressão em ponte de aderência cimentícia

Como citado anteriormente, o excesso de material pode interferir nos resultados da ponte de aderência, ocasionando um valor inferior ao esperado, a

resistência a compressão o comportamento da ponte de aderência cimentícia não foi diferente se comparado aos demais resultados até aqui apresentados.

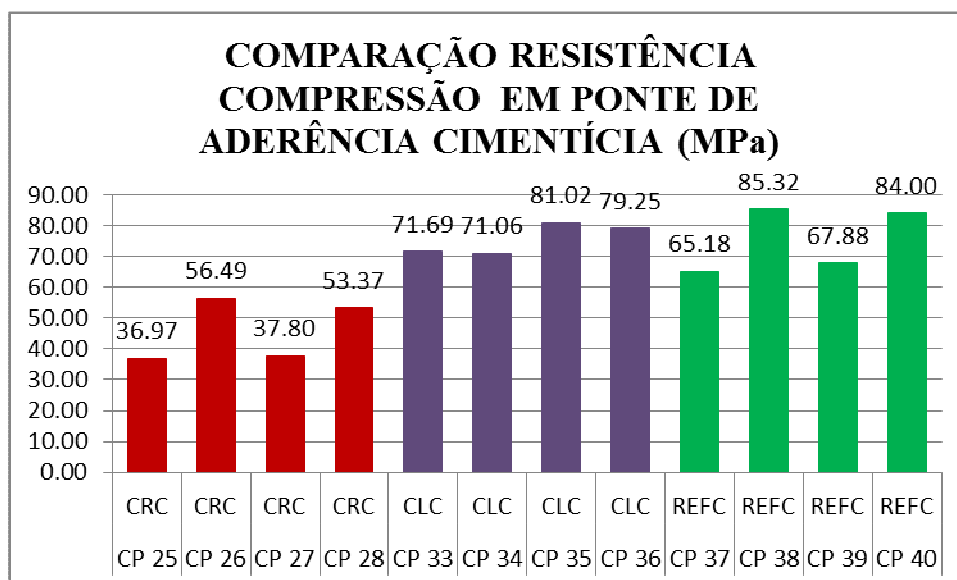


Gráfico 10- Resistência à compressão aos 52 dias – ponte de aderência cimentícia

No gráfico 10 é possível notar que a ponte de aderência cimentícia com a superfície lisa se mostrou muito eficaz no ensaio de compressão, mantendo praticamente a mesma resistência que os REFC, por outro lado os CRC tiveram um valor bem abaixo.

4.1.2 Tipo de ruptura

Ao elaborar os ensaios foram notáveis algumas formas de ruptura, que foi possível identificar o comportamento da superfície da ponte de aderência e do CAD. Para facilitar as interpretações dos dados foi criado uma nomenclatura para cada tipo de ruptura conforme tabela 6.

TIPOS DE RUPTURA	SIGLA	DESCRIÇÃO
RUPTURA NA JUNTA	(J)	RUPTURA POR DESLIZAMENTO NA JUNTA, SEM DANOS AO CONCRETO ADJACENTE
RUPTURA MONOLÍTICA	(M)	RUPTURA SOMENTE NO CONCRETO, SEM DANOS À JUNTA
RUPTURA MISTA	(MJ)	PARTES DA RUPTURA OCORRE NO CONCRETO E PARTE NA JUNTA

Tabela 6- Tipos de ruptura

4.1.2.1 Ruptura dos CP's no ensaio de ELT

Na figura 25 é possível observar que o CP rompeu verticalmente, não houve danos na ponte de aderência, um pouco acima da linha da união dos CAD houve a ruptura horizontal.



Figura 25- Aspecto de ruptura ELT

4.1.2.2 Ruptura dos CP's no ensaio de ERT

Na figura 26 é possível observar que o CP rompeu verticalmente assim com a ELT, não houve danos na ponte de aderência, não houve fissuras horizontais.



Figura 26- Aspecto de ruptura ERT

4.1.2.3 Ruptura dos CP's no ensaio de CLT



Figura 27- Aspecto de ruptura CLT

Ao observar a figura 27 é possível perceber que o CP teve rompimento vertical e horizontal, o rompimento horizontal foi preocupante pois rompeu justamente na interface CAD ponte de aderência. Neste caso a ponte de aderência foi ineficiente.

4.1.2.4 Ruptura dos CP's no ensaio de CRT

A figura 28 mostra o único ensaio com rompimento misto, ou seja, tanto no CAD quanto na junta de ligação, houve também rompimento diametral em todo o CP.



Figura 28- Aspecto de ruptura CRT

4.1.2.5 Ruptura dos CP's no ensaio de REFT

A ruptura do REFT como era de se imaginar foi somente na diametral, este é o rompimento ideal para este tipo de ensaio, onde os esforços são bem distribuídos no CP, a figura 29 ilustra o aspecto visual do CP REFT após o rompimento.



Figura 29- Aspecto de ruptura REFT

4.1.2.6 Ruptura dos CP's no ensaio de ERC

Os ensaios à compressão apresentaram vários tipos de ruptura, o ERC neste ensaio tipo rompimento no sentido vertical em toda a circunferência do CP, a figura 30 ilustra.



Figura 30- Aspecto de ruptura ERT

4.1.2.7 Ruptura dos CP's no ensaio de CRC

O CRC apresentou uma ruptura na região da base cimentícia, aonde foi o ponto mais frágil, notasse na figura 31 que a ruptura esta no meio do CP.



Figura 31- Aspecto de ruptura CRC

4.1.2.8 Ruptura dos CP's no ensaio de ELC

Ao observar a ruptura do CP com base epoxídica na figura 32, notasse uma ruptura acima da colagem entre os concretos, o rompimento aconteceu no CAD.



Figura 32- Aspecto de ruptura ELC

4.1.2.9 Ruptura dos CP's no ensaio de CLC

A base cimentícia aplicada na superfície lisa demonstrou uma boa eficiência, formando uma ruptura no CP de forma cônica, conforme figura 33.



Figura 33- Aspecto de ruptura CLC

4.1.2.10 Ruptura dos CP's no ensaio de REFC

Nos CP's de referencia, o concreto teve uma ruptura na base abaixo do capeamento.



Figura 34- Aspecto de ruptura REFC

Após realizar todas as rupturas foi necessário obter uma comparação significativa que relaciona os tipos de materiais com seus resultados conforme tabela 7.

SIGLAS	SIGLAS	DESCRIÇÃO
E L T	Epoxídica Liso Tração	Teste tração em superfície lisa com ponte de aderência epoxídica
E R T	Epoxídica Rugoso Tração	Teste tração em superfície rugosa com ponte de aderência epoxídica
C L T	Cimentício Liso Tração	Teste tração em superfície lisa com ponte de aderência cimentícia
C R T	Cimentício Rugoso Tração	Teste tração em superfície rugosa com ponte de aderência cimentícia
E L C	Epoxídica Liso Compressão	Teste compressão em superfície lisa com ponte de aderência epoxídica
E R C	Epoxídica Rugoso Compressão	Teste compressão em superfície rugosa com ponte de aderência epoxídica
C L C	Cimentício Liso Compressão	Teste compressão em superfície lisa com ponte de aderência cimentícia
C R C	Cimentício Rugoso Compressão	Teste compressão em superfície rugosa com ponte de aderência cimentícia
REFT	Referência Tração	Corpo de Prova de Referência para teste de tração
REFC	Referência Compressão	Corpo de Prova de Referência para teste de compressão

SIGLAS	RESISTÊNCIA MÁXIMA	RESISTÊNCIA MÉDIA	TIPO DE RUPTURA
E L T	21.00 MPa	15.69 MPa	(M)
E R T	15.07 MPa	14.22 MPa	(M)
C L T	17.40 MPa	16.37 MPa	(J)
C R T	12.58 MPa	12.11 MPa	(MJ)
E L C	76.80 MPa	65.95 MPa	(M)
E R C	60.81 MPa	58.81 MPa	(M)
C L C	81.02 MPa	75.76 MPa	(M)
C R C	56.49 MPa	46.16 MPa	(MJ)
REFT	24.71 MPa	20.23 MPa	-
REFC	85.32 MPa	75.60 MPa	-

Tabela 7- Resultados finais

Os resultados mostram que a diferença entre eles acentua ainda mais a importância de se estudar os efeitos e características das pontes de aderência sobre concretos, neste caso CAD.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nos testes de tração por compressão diametral em superfícies lisas foram melhores quando utilizado ponte de aderência epoxídica, atingindo resistência de até 21 Mpa enquanto o cimentícia atingiu apenas 17,46 Mpa, ou seja uma diferença de 20 %, em superfícies rugosas também foi favorável para a epoxídica, onde atingiu 15,07 MPa, enquanto a cimentícia atingiu apenas 12,58 MPa, uma diferença de 19,8%, essa diferença encontrada entre eles se deu por alguns motivos, alguns deles: resistência da pasta cimentícia abaixo do fck do CAD usado no CP; falha no umedecimento da superfície do CP ao preparar o CP com ponte de aderência cimentícia.

Os resultados obtidos nos testes de compressão em superfícies lisas foram melhores quando utilizados ponte de aderência cimentícia, atingindo resistência de até 81,02 MPa enquanto o epoxídico atingiu apenas 76,80 MPa, ou seja uma diferença de 5%, ficou muito próximo ao de referência que atingiu 85,32 MPa. Já em superfície rugosas a epoxídica foi melhor na compressão, atingindo 60,81 MPa, já a cimentícia atingiu apenas 56,89 MPa, ou seja, uma diferença de 6,8 %, essa diferença encontrada entre eles se deu por alguns motivos, alguns deles: a rugosidade interferiu nos resultados por ter sido feito de forma manual, uma vez que para obter rugosidade acabou-se danificando em excesso as bordas do CP; o cimentício acabou sendo a melhor ponte de aderência em compressão lisa por ser ter sido aplicado uma fina camada entre os CP's, que resultou numa perda de resistência se comparado aos de referência.

Os resultados obtidos nos testes de tração por compressão diametral em ponte de aderência epoxídica foram melhores em superfícies lisas, o mesmo ocorreu nos cimentícios lisos neste teste, ambos testes com superfície rugosa

foram aplicados em CP apicoados manualmente, isto acabou gerando concentração de esforços que danificaram a superfície, assim o teste de tração em superfície lisa foi mais satisfatórias.

Os resultados obtidos nos testes de compressão em ponte de aderência epoxídica foram melhores em superfícies lisas, o mesmo ocorreu nos cimentícios lisos neste teste, pelos mesmos motivos que foi descrito nos testes de tração por compressão diametral em ambos tipos de superfície.

As rupturas dos ensaios a compressão foram do tipo circular com formas cônicas nos epoxídicos lisos e rugosos, as rupturas foram cônicas nos cimentícios lisos, desta forma foi observado que a carga da prensa foi distribuída uniformemente no CP nas rupturas cônicas., porém os cimentícios rugosos acabaram rompendo na interface de ligação dos concretos demonstrando uma fragilidade no material de ponte de aderência cimentícia.

As rupturas dos ensaios de tração por compressão diametral foram fora da junta de união quando utilizados ponte de aderência epoxídica, isto mostra que a ponte de aderência foi eficiente, porém ao usar ponte de aderência cimentícia a ruptura foi na região de colagem, no teste claramente se destacou o material cimentício, enquanto no rugoso rompeu parte na junta e parte no CP, desta forma observou-se que embora a superfície estando rugosa ainda assim a ligação entre os materiais não foi eficaz, pois descolou na união dos CP's.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se que para futuros trabalhos sejam abordados o mesmo tema porém com mais tipos de ponte de aderência, além de prever maior cuidado no preparo da superfície utilizando outras formas de obter rugosidade.

Também se aconselha estudar a ponte de aderência nos ensaios de flexão, utilizando corpos de prova prismáticos neste caso.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABU-TAIR, A. I., LAVERY, D., NADJAI, A., RIGDEN, S. R., AHMED, T. M. A. **A new method for evaluating the surface roughness of concrete cut for repair or strengthening.** *Construction and Building Materials*, V. 14, 2000, pp. 171-176.

AÏTCIN, P. C. **Concreto de Alto Desempenho.** Trad. Geraldo G. Serra. São Paulo, ed. PINI, 2000, p. 667.

ALMEIDA, I. R. **Concretos de alto Desempenho. A Evolução Tecnológica dos Concretos Tradicionais,** ABCP, 1CD, 1997.

AMARAL FILHO, E. M. **Classificação dos concretos,** ABCP, 1997. 1 CD

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Committe 363 R. State-of-the-artreport on high-strenght concrete. ACI, Detroit, 1991.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS- **ASTM C 881** "Specifiction for Epoxy-Resin-Base Bonding Systems for Concrete". Annual Book of ASTM Standards, 1990.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **ACI 303 R-74.** Control of Cracking in Concrete Structures, **ACI Manual of Concrete Practice, Part 3**, 1982.

ANDRADE, C. **Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras.** São Paulo, Editora Pini, 1992. 104p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **EB-1763 – Aditivos para concreto de cimento Portland.** Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739 – Determinação da resistência a compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto.** Rio de Janeiro,2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222 – Determinação da resistência a tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos de concreto.** Rio de Janeiro,2010.

AUSTIN, S., ROBINS, P. PAN, Y. **Shear bond testing of concrete repairs.** *Cement and Concrete Research*, V. 29, 1999, pp. 1067-1076.

BÉLAIR, N. Jr. **Contribution à la mise au point d' une procedure de caractérisation quantitative des surfaces en béton en vue de travaux de refection.** Maitrise en Génie Civil. Faculté des Sciences et Génies. Université Laval. Québec. Decembre, 2005

BONINI, L. R.; ISA, M. M. **Influência no teor de sílica ativa na Aderência Concreto de Alto Desempenho e Armadura.** In: Congresso Brasileiro de Cimento, 5, 1999, São Paulo. Anais... São Paulo, 1 CD, p. 30-48, nov. 1999

COMITE INTERNATIONAL DU BETON (CEB) **Mechanisms of Load Transfer Between Old and Added Materials**, Bulletin d 'Information n° 162, august 1983.

COMITE INTERNATIONAL DU BETON (CEB) **FIP MODEL CODE 1990**, Bulletin d'Information n° 205 -"Final Draft"- july 1991.

COURARD, L. **Parametric Study for the Creation of the Interface between Concrete and Repair Products.** *Materials and Structures*, vol. 33, january-february 2000.

FAGURY, S. C., LIBÓRIO J. B. L. **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**, CD-ROM dos Anais do 44º IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2002.

FUSCO, Péricles Brasiliense; **tecnologia do concreto estrutural: tópicos aplicados.** 2. Ed. São Paulo: PINI, 2012

GALECKI, G.; Maerz, N.; Nanni, A.; Myers, J. Limitations to the use of waterjets in concrete substrate preparation. 2001 WJTA American Waterjet Conference August 18 – 21, 2001. Paper 35. – University of Missouri-Rolla, U.S.A. Minneapolis, Minnesota. 2001.

GALECKI, G.; Casadei, P.; Maerz, N.;Nanni, A.; Summers, D. The use of high pressure waterjets in concrete substrate preparation for frp applications. Fib Second Congress, June 4-8, Naples, Italy, 2006, Paper 10-88.

GALLETO, Adriana; **Reparo de Estruturas de Concreto: Contribuição ao Estudo da Aderência.** Campinas, SP 2005. Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre pelo programa de pós graduação em Engenharia Civil

GUIMARÃES, Jaqueline Passamani Zubelli; **Estudo experimental das propriedades do concreto de alto desempenho.** Rio de Janeiro. PUC-Rio 2002

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre pelo programa de pós graduação em Engenharia Civil.

HELENE, Paulo. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. São Paulo: Editora PINI, 1992.

IBRACON, Bernardo F. Tutikian, Geraldo Cechella Isaia, Paulo Helene; **Concreto de Alto e Ultra-Alto Desempenho**; Disponível em <http://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2014/07/lc53.pdf>. Acesso em 18 out. 2014

JIANG, L. **The interfacial zone and bond strength between aggregates and cement pastes incorporating high volumes of fly ash**. *Cement & Concrete Composites*, V. 21, 1999, pp. 313-316

LEONARDO, Carlos Roberto de Toledo; **Estudo de Concreto de Alto Desempenho, Visando Aplicação em Reparos Estruturais**. Curitiba. UFPR 2002 Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre pelo programa de pós graduação em Engenharia Civil.

MAILVAGANAM, N. P. **Effective Use of Bonding Agents** - IRC - Institute for Research in Construction, Construction Technology Update nº11, Canada, 1997.

MEHTA, P.K; AİTCIN, P-C., **Principles Underlying Production for High Strenght Performance Concrete**. *Cement, Concrete & Aggregates* v. 12, n.2. 1990.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**. São Paulo: PINI, 1994.

MORENO JR. R., SELMO, S. M. S. **Reparos localizados superficiais em estruturas de concreto – Análise da aderência segundo métodos de ensaio distintos**, CD-ROM dos Anais do 44º IBRACON – Instituto Brasileiro de Concreto, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2002.

NEVILLE, A. M.; J. J. BROOKS; tradução: Ruy Alberto Cremonini; **Tecnologia do concreto**. 2. Ed. Porto Alegre : Bookman, 2013

NEVILLE, A. M. **Propriedades do concreto**. São Paulo: Pini, 1997.

PETRUCCI, E. G.R. **Concreto de cimento Portland**. 10.ed. Atualizada e ver. Por Vladimir Antônio Paulon. Porto Alegre – Rio de Janeiro: Globo, 1983.

PRETTO, Márcia Elisa Jacondino; **Influência da rugosidades gerada pelo tratamento superficial do substrato de concreto na aderência do**

revestimento de argamassa. Porto Alegre/ RS. 2007 Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre pelo programa de pós graduação em Engenharia Civil.

PROKOPSKI, G., HALBINIAK, J. **Interfacial transition zone in cementitious materials.** Cement and Concrete Research, V. 30, 2000, pp 579-583.

RAO, G. A., PRASAD, B. K. R. **Influence of the roughness of aggregate surface on the interface bond strength.** Cement and Concrete Research, V. 32, 2002, pp 253-257.

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 apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre pelo programa de pós graduação em Engenharia Civil; SET-ESSC-USP.

ROSEN, S.L. **Fundamental Principles of Polymeric Materials.** New York, J. Wiley, 1993.

SANTOS, P.; JÚLIO, E.; SILVA, V. D.. **Correlation between concrete-to-concrete bond strength and the roughness of the substrate surface.** Constrution and Building Materials. 2006.

SAMPAIO, Ícaro de Almeida; **Avaliação de Materiais na Ligação Entre Concreto Novo/Concreto Velho,** Fortaleza 2010. Monografia apresentada ao curso de graduação em Engenharia Civil.

SIMPLICIO, M. A. S. Propriedades e Características do Concreto de Alto Desempenho. In: World TecNet: Tecnologia do Concreto nº 00062, UFPB 2003

SOUZA, Vicente Custódio Moreira De; RIPPER, Thomas. **Patologias, recuperação e reforço de estruturas de concreto.** São Paulo: Editora PINI, 1998

WATANABE, Paula Sumie; **concretos especiais – propriedades, materiais e aplicações.** Bauru: UNESP - CAMPUS DE BAURU/SP, 2008. Relatório final de pesquisa

ANEXOS