

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**PEDRO FURTADO NETO**

**ESTUDO COMPARATIVO DE PONTES DE ADERÊNCIA PARA  
RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO**

**CURITIBA**

**2022**

**PEDRO FURTADO NETO**

**ESTUDO COMPARATIVO DE PONTES DE ADERÊNCIA PARA  
RECUPERAÇÃO DE ESTRUTURAS EM CONCRETO**

**Comparative study of adherence bridges for recovery of concrete  
structures**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof. Dr. Arthur Medeiros

**CURITIBA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**PEDRO FURTADO NETO**

**ESTUDO COMPARATIVO DE PONTES DE ADERÊNCIA PARA RECUPERAÇÃO  
DE ESTRUTURAS EM CONCRETO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação:02/06/2022

---

Orientador – Prof. Dr. Arthur Medeiros  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Prof. Dr. Wellington Mazer  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Eng. Mateus Pelegrinello  
DIPROTEC / MC Bauchemie Brasil

**CURITIBA  
2022**

## RESUMO

A eficácia dos produtos com função de ponte de aderência ainda é bastante discutida no meio da construção civil quando se trata de processo de recuperação de estruturas de concreto. Acredita-se que há uma negligência no estudo de seleção de materiais para utilização das pontes de ligação. Considerando esse cenário, torna-se essencial o aprimoramento e enriquecimento do conhecimento acerca do desempenho de tais produtos. O presente estudo tem como objetivo estabelecer comparações de desempenho entre dois produtos com função de ponte de aderência (de base epoxídica e de base mineral), assim como verificar a capacidade de aderência de dois tipos de argamassas de reparo estrutural na presença e na ausência de pontes de ligação, variando o tratamento mecânico a que a superfície do substrato é submetida. A metodologia do estudo consistiu na realização de ensaios de compressão axial de corpos de prova compostos de dois tipos de combinação de materiais (substrato de concreto e argamassa de reparo estrutural na ausência de ponte de aderência e substrato de concreto e argamassa de reparo estrutural na presença de ponte de aderência). Devido à realização de uma interface inclinada em 45° entre o substrato de concreto e o reparo de argamassa, no momento da aplicação de carga axial de ensaio, surge uma tensão de ruptura diretamente relacionada à capacidade de aderência entre os materiais. Foram utilizados dois tipos de substratos em concreto, um deles feito de concreto convencional e o outro de concreto autoadensável, com tratamentos mecânicos diferentes, o que possibilitou níveis de aderência distintos entre o substrato e o reparo. Observou-se que a utilização de pontes de ligação aplicadas separadamente ou já incluídas na argamassa de reparo não contribuiu diretamente para o desempenho de aderência entre os materiais. Também foi possível observar que o tratamento da superfície do substrato influencia diretamente no resultado do reparo, uma vez que corpos de prova cujas superfícies não receberam o tratamento mecânico de abrasão apresentaram maior ocorrência de rompimentos cisalhados, proporcionando o descolamento entre o substrato e o reparo.

Palavras-chave: argamassa; epoxi; mineral; aderência; ponte.

## ABSTRACT

The efficiency of the products with the role of adherence bridge is still very debated in the civil construction sector when it comes to the process of structural repair of the concrete. It is possible to say that there is negligence regarding the material selection study when it comes to adherence bridges applications. Considering the actual circumstances, it is essential to enhance and enrich the knowledge about such materials. The objective of the present study is to establish performance comparisons between two types of adherence bridges (epoxy and mineral), as well to measure the bonding capacity of two kinds of structural repair mortars both in the presence and absence of adherence bridges. The methodology consists of making axial compression tests in samples made of two combinations of materials (concrete substrate and structural repair mortar with and without adherence bridges being applied on the interface). Due to making a sloping interface with the angle of 45 degrees between the concrete substrate and the repair material (mortar and bridge), when charging the sample with an axial force, a rupture tension directly related to the bonding capacity between the materials appears. To produce the substrate, two kinds of concrete were used (conventional and self-compacting concrete) and also two types of mechanical treatments, what made possible different levels of adherence between the concrete and the repair material. It was possible to notice that the adherence bridges applied separately or already included in the structural repair mortar did not contribute directly to the bonding performance between the materials. It was also noticed that the mechanical treatment applied to the concrete surface affects directly the bonding capacity between the materials, since the samples which surface didn't receive a mechanical treatment (abrasion) presented bigger frequency of oblique shear ruptures, providing the detachment between the concrete substrate and the repair material.

Keywords: mortars; epoxi; mineral; adherence; bridge;

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ângulo e tensões superficiais de líquidos.....	15
Figura 2 – Prensa eletrônica utilizada nos ensaios de cisalhamento oblíquo.....	20
Figura 3 – Formas de ruptura cisalhada de corpos de prova cilíndricos.....	21
Figura 4 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de cisalhamento oblíquo. ....	23
Figura 5 – Base em concreto para aplicação de reparo. ....	24
Figura 6 – Base em concreto para aplicação de reparo. ....	24
Figura 7 – Corpo de prova composto por substrato de concreto e argamassa de reparo (Arg1-SemPA).....	26
Figura 8 – Corpo de prova composto de concreto, argamassa de reparo estrutural e ponte epoxídica (Arg1-PAEpóxi).....	26
Figura 9 – Corpo de prova composto de concreto e argamassa de reparo estrutural e ponte mineral (Arg-PAMineral). ....	26
Figura 10 – Corpo de prova composto de concreto e argamassa estrutural que dispensa o uso de pontes de aderência (Arg2-DispensaPA). ....	27
Figura 11 – Gráfico de tensões e características de ruptura de corpos de prova. ....	31
Figura 12 – Ruptura não cisalhada de corpo de prova.....	31
Figura 13 – Ruptura cisalhada de corpo de prova.....	32
Figura 14 – Gráfico de tensões e características de ruptura de corpos de prova. ....	35
Figura 15 – Gráfico de média das Tensões de Cisalhamento Oblíquo.....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de corpos de prova para cada etapa de ensaio de cisalhamento oblíquo. ....	22
Tabela 2 – Traço de concreto autoadensável. ....	23
Tabela 3 – Análise de Variância. ....	28
Tabela 4 – Ensaio de corpos de prova para cisalhamento oblíquo. ....	30
Tabela 5 – Estatísticas básicas da primeira etapa de ensaios. ....	32
Tabela 6 – Análise de Variância ANOVA Tensões de ruptura da primeira etapa de ensaios. ....	33
Tabela 7 – Ensaio de corpos de prova para cisalhamento oblíquo. ....	34
Tabela 8 – Estatísticas básicas da segunda etapa de ensaios. ....	35
Tabela 9 – Análise de Variância ANOVA Tensões de ruptura da segunda etapa de ensaios. ....	36
Tabela 10 – Ensaio de corpos de prova para cisalhamento oblíquo. ....	37
Tabela 11 – Estatísticas básicas e de médias de tensões de cisalhamento oblíquo. ....	38
Tabela 12 – Estatísticas básicas e de médias de tensões de cisalhamento oblíquo. ....	38

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>9</b>
1.1.1	Objetivo Geral .....	9
1.1.2	Objetivo Específico .....	9
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Concreto</b> .....	<b>11</b>
2.1.1	Durabilidade e Vida Útil do Concreto .....	11
<b>2.2</b>	<b>Reparo Estrutural</b> .....	<b>12</b>
2.2.1	Preparação da Superfície do Substrato .....	13
<b>2.3</b>	<b>Aderência</b> .....	<b>14</b>
<b>2.4</b>	<b>Pontes de Aderência</b> .....	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização de Pontes de Ligação</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2</b>	<b>Caracterização de Argamassas de Reparo Estrutura</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>Escolha do Ensaio</b> .....	<b>20</b>
3.3.1	Ensaio de Cisalhamento Oblíquo .....	20
3.3.2	Etapas .....	21
3.3.3	Molde de Substrato dos Corpos de Prova .....	22
3.3.4	Preparação de Superfície .....	25
3.3.5	Aplicação do Reparo.....	25
3.3.6	Cálculo da Tensão Aplicada .....	27
<b>3.4</b>	<b>Análise Estatística dos Dados</b> .....	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Primeira Etapa de Ensaios</b> .....	<b>29</b>
<b>4.2</b>	<b>Segunda Etapa de Ensaios</b> .....	<b>33</b>
4.2.1	Cálculo de Tensão Aplicada na Interface Inclinada.....	36
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>39</b>
<b>6</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>40</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>41</b>



## 1 INTRODUÇÃO

O desgaste de uma estrutura de concreto consequente de seu envelhecimento é inevitável (ARAÚJO, 2002). Segundo Pires (2013), é comum encontrar edificações que apresentam desempenho abaixo do ideal estimado pelo cálculo de vida útil devido, principalmente, à falta de manutenção. O autor também afirma que a correta execução de manutenção prorroga a vida útil e mantém o desempenho da edificação.

Segundo Souza e Ripper (1998), a patologia das edificações em concreto armado aborda todo o processo de surgimento das manifestações patológicas, como origem, ocorrência e sistema de degradação das edificações. Os autores também afirmam que manifestações patológicas como as corrosões podem ser prevenidas com um cobrimento adequado das armaduras, impedindo a penetração de agentes corrosivos e o dano à vida útil do concreto armado. De acordo com Garcia-Alonso et.al. (2007), atividades destinadas à recuperação de estruturas em concreto armado representam mais de um terço do volume de trabalho no setor da construção civil.

Dentro das alternativas de recuperação superficial de uma estrutura de concreto, encontra-se a utilização de argamassas de reparo estrutural. Segundo Schueremans et al., (2011), critérios para desempenho como retração, compatibilidade, função e durabilidade são essenciais para a escolha da argamassa de reparo. Os autores também afirmam que é necessária uma abordagem global para definição da compatibilidade da argamassa com o substrato de aplicação, analisando-se características físico-químicas e estéticas. Segundo Helene (1992), a aplicação da argamassa de reparo consiste na ideia de que o reparo atribuirá à estrutura suas propriedades originais e a interface de contato entre a argamassa e o concreto apresentará, no mínimo, a mesma resistência do substrato original quando saudável.

Segundo Zimlich (2017), para se melhorar a aderência entre o substrato e o reparo, é possível utilizar um material com função de ponte de aderência cujas características são a alta resistência mecânica e a composição polimérica. O autor também apresenta as pontes de aderência epoxídicas como exemplo e afirma ser um dos materiais mais utilizados para essa função devido a sua alta resistência e compatibilidade com aço e concreto.

Neste trabalho, pretende-se analisar a eficácia de dois tipos de ponte de aderência (composição epoxídica e composição mineral) e comparar seu desempenho por meio de ensaios de cisalhamento oblíquo, assim como analisar a capacidade de aderência de dois tipos de argamassa de reparo na presença e na ausência de produtos de ponte de ligação e tratamento de superfície do substrato de concreto.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo do presente trabalho é comparar o desempenho de aderência em ensaios de cisalhamento oblíquo de produtos com função de ponte de aderência de diferentes composições e diferentes tratamentos de substrato.

Para atingir tal objetivo, serão comparados resultados obtidos em laboratório quanto a testes de cisalhamento oblíquo de corpos de prova com diferentes combinações compostas por um substrato de concreto, um produto com função de ponte de aderência, uma argamassa de reparo estrutural e um método de tratamento mecânico de superfície de substrato.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Comparar o desempenho em cisalhamento oblíquo de corpos de prova submetidos a três tratamentos de interface diferentes, usando pontes de aderência epoxídica, mineral e na ausência de ponte de aderência;
- Comparar o desempenho de aderência entre argamassas de reparo estrutural que possuem ponte de ligação em sua composição e argamassas de reparo estrutural que não possuem ponte de ligação.
- Verificar a eficácia dos produtos de ponte de aderência;
- Comparar o desempenho de aderência em cisalhamento oblíquo em corpos de prova cujas interfaces receberam tratamento mecânico (abrasão) com o desempenho de aderência de corpos de prova que não receberam tratamento abrasivo na superfície do substrato;

## 1.2 Justificativa

O estudo aprofundado da seleção de materiais para a função de ponte de aderência é muitas vezes negligenciado, causando frequentes descolamentos prematuros. Essa utilização arbitrária dos produtos traz atrasos, retrabalhos, prejuízos e até mesmo riscos à estrutura. O presente estudo visa aprimorar o entendimento acerca dos produtos de ponte de ligação, expondo seu comportamento sob diferentes circunstâncias e combinações no momento da execução do reparo estrutural, além de verificar sua eficácia.

No que se refere ao tratamento de preparação da superfície do concreto para o recebimento de pontes de ligação e posterior aplicação de argamassa de reparo, também é possível constatar a falta de cuidado e a minimização da importância do procedimento em obras de reparo estrutural. Muitas vezes o substrato de concreto não recebe o tratamento abrasivo e a limpeza adequada, resultando em uma menor aderência entre os materiais, o que torna o reparo menos eficiente. Faz-se extremamente necessária a demonstração e comparação de ensaios expondo a diferença de desempenho de aderência de corpos de prova com tratamentos de superfície distintos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Concreto

Trata-se do compósito mais utilizado no setor da construção civil. Apresenta flexibilidade no que se refere às suas formas de modelagem, boa resistência à água e custo relativamente baixo. Consiste em um material composto, se tratando de um meio aglomerante, onde se encontram partículas de agregados. Um de seus componentes, o cimento, é caracterizado com um material pulverizado que apresenta propriedades aglomerantes quando colocado na presença de água. (MEHTA E MONTEIRO, 2014). Neville (1997) afirma que o processo de produção do cimento Portland envolve, de maneira geral, a trituração, mistura, queima, fusão e resfriamento da matéria prima. Também relata que as classificações relativas ao cimento Portland variam de acordo com propriedades físicas e químicas, como índice de resistência a agentes nocivos, velocidade de endurecimento e capacidade de liberação de calor.

Os agregados, segundo a NBR 7211 (ABNT, 2019), devem ser compostos por minerais duros, estáveis e compactos, estando livres de substâncias que prejudiquem a hidratação e endurecimento do cimento e proteção da armadura.

#### 2.1.1 Durabilidade e Vida Útil do Concreto

De acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2014), a vida útil do concreto é compreendida como o período de tempo em que as características da estrutura se mantêm constantes, atendendo critérios de projeto.

A durabilidade de uma estrutura em concreto consiste na sua capacidade de resistência a ações ambientais definidas no momento do projeto. O planejamento da estrutura deve contemplar a conservação da segurança, e a aptidão de serviço garantida até sua vida útil prevista segundo NBR 6118 (ABNT, 2014). Segundo Lotterman (2013), trata-se do resultado obtido devido à interação entre a maneira de utilização, os fatores ambientais e a própria estrutura em concreto, sendo um fator determinante para a definições de patologias.

De acordo com Relvas (2003), estruturas em concreto, inevitavelmente, estão sujeitas à um envelhecimento natural, trazendo consigo uma gradativa deterioração e conseqüente perda de suas propriedades. Tal deterioração pode se

apresentar de várias maneiras. Os sintomas mais comuns em estruturas de concreto são: deslocamentos muito grandes, fissuras, alteração de coloração e eflorescências, armaduras corroídas e segregação dos componentes do concreto. Geralmente, estas manifestações patológicas tendem a aparecer de maneira característica e estatisticamente verificada. (HELENE, 1992). Com estruturas em concreto projetadas sem comprometimento com a alta durabilidade, o aparecimento de manifestações patológicas se torna mais frequente, aumentando assim a necessidade de manutenções (PACHECO-TORGAL e LABRINTCHA, 2012).

A falta de uniformidade do concreto causada pela separação de seus componentes se chama segregação. Dentre os tipos de segregação existentes, encontra-se a exsudação (fenômeno caracterizado pela subida da água de amassamento anteriormente à pega). A ocorrência deste fenômeno permite maior porosidade em estruturas de concreto, o que diminui sua resistência mecânica superficial, propiciando falhas e ataques de agentes agressivos (MEHTA e MONTEIRO, 20014).

## **2.2 Reparo Estrutural**

Nota-se crescente o desenvolvimento de técnicas e produtos para a recuperação de estruturas em concreto. (GLASS, 2009 apud HERBSTER e MOREIRAHARB, 2011).

Segundo Emmons e Vaysburd (1995), o reparo estrutural é composto por três partes: o substrato de concreto, o material de reparo e a interface entre os dois materiais, também chamada de zona de transição.

De acordo com Colen *et al.* (2019), uma vez constatado o dano da estrutura e verificada a necessidade de reforço, diversas maneiras de recuperação podem ser aplicadas. Uma das possíveis soluções se encontra na utilização de argamassas de reparo estrutural. Abordando esse tema, Pereira (2012) diferencia as argamassas de reparo das argamassas comuns, afirmando que há diferença nos tipos de solicitações a que as argamassas são submetidas. Também atenta para sua necessidade de maior desempenho adesivo. Segundo Decter e Keeley (1997), o material a ser utilizado no reparo deve apresentar baixa porosidade uma vez que a região a ser preenchida é mais vulnerável a ataques. Para o sucesso no reparo da estrutura, faz-se necessária a remoção completa do concreto danificado e substituição com argamassas de reparo (KRAMAR, ŠAJNA e DUCMAN, 2016).

Segundo Helene (1992), uma argamassa de reparo pertence a um grupo especial de argamassas que apresenta alta capacidade de adaptar-se a uma estrutura com substrato em concreto com presença de manifestações patológicas e que, quando endurecida, deve apresentar características similares às do substrato, solidarizando a estrutura. Também afirma que, para o reparo de elementos estruturais, a argamassa deve apresentar altas resistências iniciais, capacidade de aderência elevada e pouca permeabilidade. Dessa maneira, segundo Van Balen *et al.* (2005), a compatibilidade com a estrutura é o fator determinante para a escolha de uma argamassa de reparo, evitando o acontecimento de efeitos negativos devido à aplicação do material. Segundo Emmonds e Vaysburd (1995), reparos estruturais sem sucesso ou durabilidade tem como principal causa a negligência sobre o desempenho global da estrutura, focando a penas na fase de reparo.

### 2.2.1 Preparação da Superfície do Substrato

De acordo com Bissonnette *et al.* (2013), a preparação da interface entre concreto antigo e concreto novo é essencial para a realização de uma ligação de qualidade entre os materiais.

A preparação da superfície para aplicação de uma argamassa pode ser determinante para seu desempenho. Consequentemente, negligenciar esse processo deve, muito provavelmente, acarretar numa má união entre os materiais (HELENE E PEREIRA, 2007). Tal preparação consiste em tratamentos de superfície da estrutura que são feitos anteriores à aplicação de um material colante. De acordo com Helene (1992), alguns procedimentos para preparo de superfície estão dispostos no quadro 1.

**Quadro 1 – Métodos de preparação de substrato**

PROCEDIMENTO	PROCEDIMENTO MAIS ADEQUADO PARA TRATAMENTO DE CONCRETO COM SUPERFÍCIE	
	SECA	ÚMIDA
Escarificação manual	Adequado	Adequado
Disco de desbaste	Aceitável	Adequado
Escarificação mecânica	Adequado	Adequado
Demolição	Adequado	Adequado
Lixamento manual	Inadequado	Aceitável
Lixamento elétrico	Adequado	Aceitável
Escovação manual	Adequado	Aceitável
Pistola de agulha	Inadequado	Inadequado
Jato de areia seco ou úmido	Adequado	Adequado
Disco de corte	Aceitável	Adequado
Queima controlada	Adequado	Inadequado
Remoção de graxa e óleo impregnados	Inadequado	Adequado
Máquina de desbaste superficial	Aceitável	Adequado

**Fonte: Helene (1992).**

Os tratamentos superficiais do concreto são feitos com o intuito de promover um intertravamento mecânico. Dessa maneira, o método mais comumente utilizado é o de promover o aumento da rugosidade superficial através da abrasão. Entretanto, deve-se atentar para o fato de que métodos de abrasão muito agressivos podem ser prejudiciais ao desempenho de aderência, principalmente em concretos com resistências a compressão menores que 30MPa, uma vez que podem causar microfissuras no substrato (COURARD *et al.* 2013).

### 2.3 Aderência

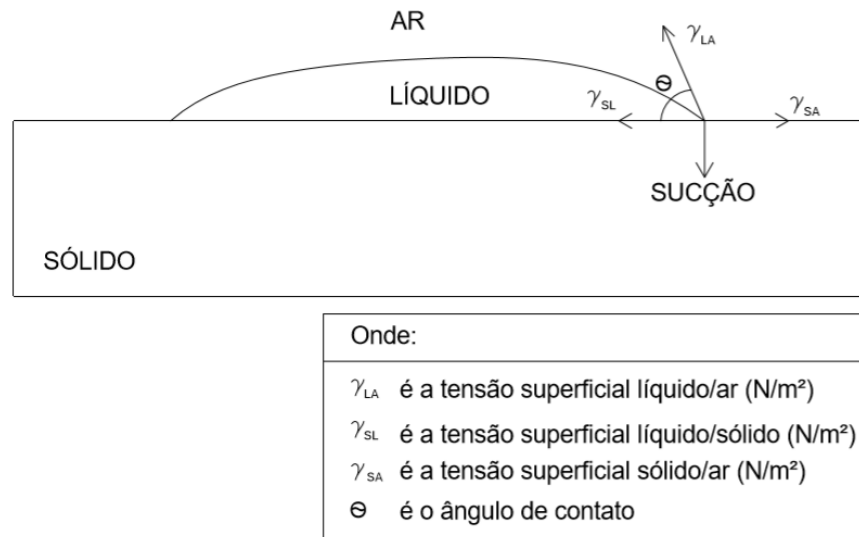
Segundo Souza e Ripper (1998), a diminuição na capacidade de aderência pode acontecer na interface entre concretos de idades distintas, assim como no contato entre concreto e aço. Tal fenômeno pode trazer danos e comprometer a saúde da estrutura.

Para eficácia da aderência da argamassa em um substrato, deve-se analisar criteriosamente as condições ambientais, esforços a que a estrutura está submetida e possibilidade de variações de resultados (AUSTIN *et al.* 1995). Segundo Moreno Junior e Selmo (2007), tratando-se de sistemas de reparo, a propriedade da aderência se faz fundamental em todos os casos, uma vez que o funcionamento ideal do reparo depende totalmente do desempenho de aderência.

O mecanismo de aderência da argamassa acontece, essencialmente, de maneira mecânica, devido à penetração de aglomerantes nos espaços vazios do substrato (SCARTEZINI *et al.*, 2001). Moreno Junior e Selmo (2007), ao analisar tal mecanismo, afirmam que existe um desenvolvimento dividido em duas etapas distintas e correlacionadas. A primeira etapa é entendida como a adesão inicial e ocorre em estado fresco. Essa adesão acontece com o primeiro contato da argamassa com o substrato poroso. A segunda etapa é classificada como a aderência propriamente dita, que acontece com o endurecimento da argamassa.

De acordo com Rosello (1976) *apud* Carasek (1996), as características da argamassa estão diretamente relacionadas ao desempenho de adesão inicial, ainda com a pasta em estado fresco. Segundo os autores, o entendimento acerca da teoria das ligações interfaciais possibilitaria uma melhor compreensão sobre a influência das características da argamassa na adesão inicial. De acordo com Houwink e Salomon (1973) *apud* Carasek (1996), afirma-se existir uma relação da adesão com a energia de ligação interfacial entre o substrato e a argamassa fresca, variando de acordo com tensões superficiais e ângulos formados entre os materiais, como apresentado na figura 1.

**Figura 1 – Ângulo e tensões superficiais de líquidos**



**Fonte: Houwink (1973) *apud* Carasek (1996).**

De acordo com Adamson (1990), sucção representada na figura acima é responsável pelo equilíbrio do sistema através da ação da capilaridade. Segundo ao autor, esse fenômeno ocorre em interfaces relativamente móveis, buscando o



estado de equilíbrio. Também é constatado que as forças de capilaridade dependem diretamente da reologia da pasta de argamassa assim como da porosidade do substrato, sendo uma etapa fundamental da adesão inicial.

De acordo do Li e Li (2011), a compatibilidade dimensional entre substrato e reparo é caracterizada pela capacidade de difusão de tensões do material de reparo sem que haja seu descolamento ou aparecimento de fissuras.

No que se refere à aderência em estado endurecido, a ancoragem da argamassa à base de substrato ocorre devido à penetração da água de amassamento, que contém constituintes dos aglomerantes, em poros do substrato. Com o passar do tempo, o hidróxido de cálcio e os géis de silicato do cimento tendem a precipitar, promovendo a ancoragem da argamassa de reparo. (ROSELLO, 1976 *apud* CARASEK, 1996). Kampf (1963) *apud* Carasek (1996), através de ensaios unindo placas de vidro com argamassas, afirmaram a existência de ligações polares covalentes entre o cimento e o substrato, sendo responsáveis por aproximadamente 10% da aderência total.

## 2.4 Pontes de Aderência

Conforme Beushausen e Alexander (2008), com a interrupção da concretagem de elementos estruturais e a posterior complementação com um concreto de diferente idade, fissuras podem surgir, assim como falhas de aderência na interface de contato. Tais falhas, segundo Doria *et al.* (2015), podem ser causadas por motivos variados, como a preparação inadequada do substrato, processo de cura procedido de maneira equivocada e até fatores ambientais. Segundo a NBR 14931 (ABNT, 2004), é possível fazer a utilização de produtos com o intuito de melhorar a aderência entre concretos de idades diferentes. Porém, deve-se tomar cuidado para não causar qualquer tipo de dano ao concreto e tornar possível a comprovação de que o desempenho é, no mínimo, igual ao da interface original sem a aplicação da ponte. A norma também recomenda a verificação quanto ao comportamento do produto na presença de fogo.

Segundo Bissonnette *et al.* (2013), a utilização de pontes de aderência tem sido uma prática cada vez mais comum, visando assegurar uma colagem mais eficaz entre o substrato e a argamassa de reparo. Mesmo assim, os estudos publicados até então não apresentaram conclusões convincentes sobre a eficácia da ponte de aderência. Isso se deve, provavelmente, a problemas de compatibilidade

ocasionados pela introdução de um terceiro material nos sistemas de reparo de estruturas. Atenta-se, também, para a possibilidade de a ponte de aderência atuar como um ponto de menor resistência do conjunto, se permitido que seque antes da aplicação da argamassa de reparo (ACPA, 1990, *apud* BISSONNETTE *et al.*, 2013).

Bissonnette (2013) também afirma que a utilização da ponte de aderência apresenta uma potencial vantagem, não necessariamente devido a um aumento significativo da aderência, mas, principalmente, a uma superfície mais uniforme e pronta para o recebimento de uma argamassa de reparo. Isso se faz verdade a partir do momento que a ponte de aderência foi aplicada corretamente, o que já foi provado ser algo difícil de se colocar em prática em alguns casos.

Segundo Cánovas (1988), ninhos de concretagem, fissuras e descolamentos são manifestações patológicas que podem ser corrigidas através do uso de materiais à base de epóxi, uma vez que apresenta boa capacidade adesiva e resistência além de ser um material durável e apresentar boa compatibilidade com o concreto. Adesivos à base de epóxi apresentam um catalisador e um monômero que mantém a trabalhabilidade momentaneamente do material, tornando-o sólido e conferindo elevada resistência passado pouco tempo (SOUZA e RIPPER, 1998).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização de Pontes de Ligação

Para a realização do presente estudo, serão utilizados dois produtos de composições diferentes com função de ponte de aderência disponíveis no mercado, sendo uma ponte de base epoxídica e a outra de base mineral, as quais foram atribuídos os códigos PAEpóxi e PAMineral, respectivamente.

De acordo com Pires *et al.* (2012), a resina epóxi é um polímero termofixo que apresenta propriedades singulares, como resistência à tração, resistência química, à umidade e corrosão e boas propriedades adesivas e térmicas. Tal material é a base para a produção da ponte epoxídica, sendo essa classificada como adesivo estrutural, bi componente, apresentando viscosidade intermediária. O produto tem aparência fluida, porém não é autonivelante. Suas aplicações são variadas, podendo ser utilizado em colagens estruturais (concreto – concreto, concreto – aço), ancoragens, fixações de chumbadores, reforços estruturais e ponte de aderência entre concreto e argamassa de reparo. Devido à sua fluidez, apresenta facilidade de impregnação e fácil trabalhabilidade, além de ser impermeável e altamente resistente a esforços mecânicos. A ficha técnica do produto também apresenta conformidade com a NBR 14050 (ABNT, 1998), relativa a sistemas de revestimento de alto desempenho, apresentando aderência maior que 10MPa. A NBR 13278 (ABNT, 2005) e a NBR 7215 (ABNT, 1996) são as demais normas atendidas pelo produto, relativas a valores, respectivamente, de densidade (1,6kg/L) e resistência à compressão no sétimo dia (maior que 60MPa).

Para aplicação do produto, recomenda-se a preparação do substrato, de maneira a torná-lo limpo, seco e livre de partículas soltas, natas de cimento ou óleos. Atenta-se para a uma resistência mínima de arranque do substrato exigida de 1,5 MPa e a necessidade de uma superfície rugosa para aplicação da ponte de aderência.

A segunda ponte de aderência é um revestimento mineral que pode ser utilizado como proteção anticorrosiva e como ponte de ligação para reparos em substrato de concreto. Trata-se de um produto monocomponente que conta com cimento Portland e variados aditivos em sua composição. Recomenda-se sua

aplicação em pontes de aderência entre concreto e argamassa de reparo, proteção de armaduras e reparos comuns de elementos estruturais. Pode-se verificar, ao consultar sua ficha técnica, o atendimento à norma europeia de adesão EN 1504 – parte 3 (2008), sendo relativa a reparos estruturais e não estruturais e classificada como R3. Outra norma atendida pelo produto é a NBR 13278 (ABNT, 2005), apresentando densidade de 2,10kg/L.

A aplicação da ponte de aderência mineral deve ser feita sobre substrato limpo e umedecido, porém sem a existência de filme d'água na superfície. Recomenda-se livrar a interface de poeiras, óleos, quaisquer outras partículas soltas e agentes contaminantes. Assim como para a ponte de aderência epoxídica, o substrato deve apresentar uma resistência ao arrancamento de no mínimo 1,5MPa.

### **3.2 Caracterização de Argamassas de Reparo Estrutura**

Após a utilização da ponte de aderência, serão aplicados dois tipos de argamassas de reparo estrutural disponíveis no mercado, sendo a principal diferença entre esses produtos, de acordo com o fabricante, a necessidade de utilização de pontes de ligação.

A primeira argamassa está identificada no presente estudo com o código “Arg1” e apresenta uma composição polimérica cimentícia, sendo destinada a reparos estruturais em concretos. Trata-se de um produto monocomponente que conta com aditivos, agregados e fibras sintéticas. Recomenda-se sua aplicação em reparos estruturais de concreto, reconstituição de superfícies e utilização de obras de infraestrutura em geral. O produto apresenta boa trabalhabilidade e bom desempenho de resistência mecânica. A argamassa apresenta densidade de 2,10kg/L e um teor de ar incorporado de 6,5% (ABNT NBR 13278, 2005), resistência a compressão após as primeiras cinco horas maior que 0,9MPa (ABNT NBR 7215, 1996) e aderência após 28 dias maior que 1,9 MPa (ABNT NBR 15258, 2005). A NBR 8522 (ABNT, 2008), relativa ao módulo de deformação do material e a NBR 13279 (ABNT, 2005), relativa à resistência à tração na flexão após o primeiro dia de aplicação são as demais normas atendidas pela argamassa em questão.

A segunda argamassa está identificada no presente estudo como código “Arg2” e segundo o fabricante, dispensa o uso de ponte de ligação no substrato pois já apresenta boa capacidade de resistência de aderência. Sua composição é semelhante à da primeira argamassa, sendo composta por polímeros cimentícios,

fibras sintéticas, aditivos e agregados. Também apresenta propriedades e aplicações semelhantes às apresentadas para a argamassa anterior. A diferenciação se dá ao comparar as resistências à compressão e à tração na flexão entre as duas argamassas, sendo a “Argamassa B” mais resistente em ambos quesitos, atendendo a NBR 7215 (ABNT, 1996) e NBR 13279 (ABNT, 2005). O produto apresenta uma densidade de 2,15kg/L e um teor de ar incorporado de 6,0% (ABNT NBR 13278, 2005).

### 3.3 Escolha do Ensaio

Momayez *et al.* (2005), através de estudo comparativo, estabeleceram que, para análise do desempenho de aderência entre dois concretos de diferentes idades, o ensaio de cisalhamento oblíquo apresenta maior confiabilidade quando comparado ao de cisalhamento vertical ou mesmo o *pull off test*. Os autores atestam que há maior facilidade na execução do ensaio oblíquo e seus resultados apresentam menor variabilidade. Tal ensaio consiste na aplicação de uma carga axial no corpo de prova, provocando um cisalhamento oblíquo.

#### 3.3.1 Ensaio de Cisalhamento Oblíquo

Os ensaios devem respeitar a NBR 5739 (2018), referente à ensaios de compressão de corpos de prova de cilíndricos de concreto. A máquina que realiza os ensaios deve obedecer a critérios estabelecidos pela NBR NM ISO 7500-1 (ABNT, 2016). Para realização dos ensaios, utilizou-se uma prensa eletrônica, como representado na figura 2.

**Figura 2 – Prensa eletrônica utilizada nos ensaios de cisalhamento oblíquo.**

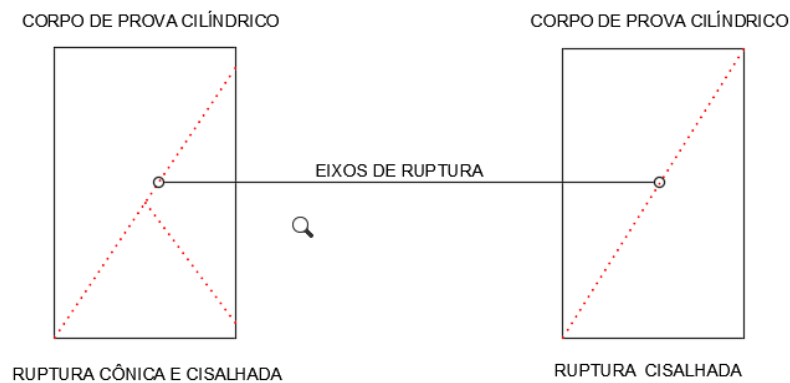


**Fonte: o autor (2022).**

De acordo com Austin *et al.* (1999) *apud* Galletto e Pinto Jr. (2005), ao exercer compressão axial em um corpo de prova em que há uma separação angular entre dois materiais, surge uma tensão de ruptura que está diretamente ligada à aderência na interface dos materiais.

Dessa maneira, a ruptura do ensaio pode acontecer de duas formas. A primeira destas consiste na ruptura do concreto, para o caso de a ponte de aderência ter exercido uma ligação eficiente entre os materiais. A segunda consiste na ruptura na própria interface diagonal entre os materiais, devido a uma adesão insuficiente promovida pela ponte de aderência (GARCIA, 1998). Segundo a NBR 5739 (2018), um rompimento do corpo de prova por cisalhamento pode ser observado nas ilustrações da figura 3.

**Figura 3 – Formas de ruptura cisalhada de corpos de prova cilíndricos**



**Fonte: ABNT NBR 5739 (2018).**

### 3.3.2 Etapas

Para processos de molde e ensaio dos corpos de prova, foram seguidas as seguintes etapas:

- Concretagem com molde inclinado em  $45^\circ$  da primeira metade do corpo de prova cilíndrico, composta por concreto convencional para substrato, formando superfície inclinada de mesmo ângulo;
- Preparação mecânica (abrasão) usando escova de aço e limpeza da superfície para aplicação da ponte de aderência;

- Aplicação de ponte de aderência (se previsto na combinação do corpo de prova) na interface de 45° seguida da aplicação da argamassa de reparo, completando o corpo de prova;
- Realização de ensaio de cisalhamento oblíquo após 28 dias da aplicação da argamassa de reparo estrutural;
- Repetição das etapas anteriores fazendo o uso de concreto auto adensável para o substrato e promovendo apenas a limpeza da superfície, sem tratamento mecânico, visando menor capacidade de aderência do concreto e facilitando o rompimento cisalhado;
- Cálculo das tensões de ensaio e análise de influência do tratamento de superfície e desempenho de pontes e argamassas;

### 3.3.3 Molde de Substrato dos Corpos de Prova

Foram realizadas duas etapas de ensaios, cada uma com 24 corpos de prova e com substratos de concreto de traços distintos. Os 24 corpos de prova são divididos em quatro composições de materiais, considerando um substrato de concreto, uma ponte de aderência e uma argamassa de reparo estrutural por combinação, como pode ser observado na tabela 1 e no quadro 2.

**Tabela 1 – Quantidade de corpos de prova para cada etapa de ensaio de cisalhamento oblíquo.**

Item	Composições de Corpos de prova	Quantidade
1	Substrato em concreto e argamassa de reparo que se indica o uso de ponte de aderência (Arg1-SemPA)	6
2	Substrato em concreto, ponte de aderência epóxi e argamassa de reparo que se indica o uso de ponte de aderência (Arg1-PAEpóxi)	6
3	Substrato em concreto, ponte de aderência mineral e argamassa de reparo que se indica o uso de ponte de aderência (Arg1-PAMineral)	6
4	Substrato em concreto e argamassa de reparo que dispensa o uso de ponte de aderência (Arg2-DispensaPA)	6

**Fonte: o autor, 2022.**

**Quadro 2 – Códigos de identificação de combinações de corpos de prova.**

Código	Argamassa	Ponte de aderência
Arg1-SemPA	Argamassa de reparo 1	Sem
Arg1-PAEpóxi	Argamassa de reparo 1	Base epóxi
Arg1-PAMineral	Argamassa de reparo 1	Base mineral
Arg2-DispensaPA	Argamassa de reparo 2	Dispensa ponte de aderência

**Fonte: o autor, 2022.**

Para a primeira etapa de ensaios, utilizou-se um concreto de traço 1,0 : 1,8 : 2,4, com relação água-cimento de 0,4 e fck de 35MPa, visando a simulação de um

concreto produzido em obra. Foram produzidas 24 unidades de corpos de prova. Para o controle das propriedades do concreto, foi procedido o ensaio de abatimento de tronco de cone de acordo com a NBR NM 67 (ABNT, 1998), estabelecendo um valor padrão de abatimento de 80mm.

Para a segunda etapa de ensaios de ensaios, optou-se pela utilização de concreto autoadensável, produzindo-se mais 24 unidades de corpos de prova. O traço utilizado está representado na tabela 2. Realizado o ensaio de espalhamento de acordo com a NBR 15823 (ABNT, 2017), obteve-se um diâmetro médio de 63cm.

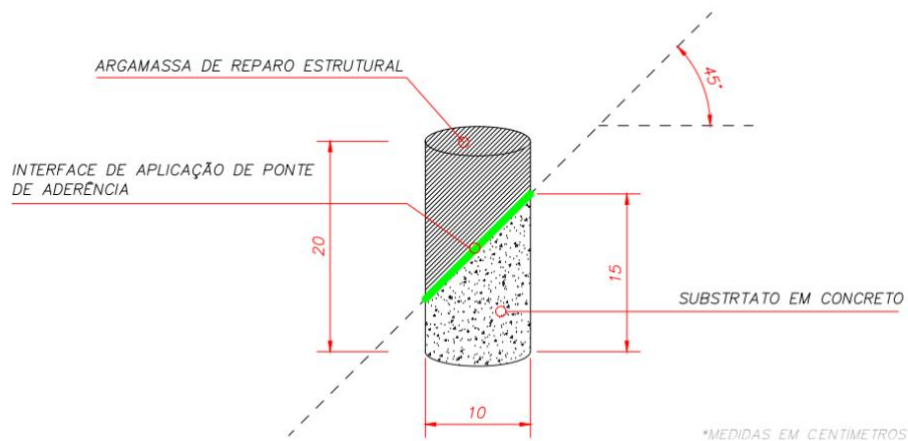
**Tabela 2 – Traço de concreto autoadensável.**

Traço em massa (kg)	Cimento	Areia Fina	Areia Artificial	Brita 0	Água	Aditivo
	1	0,99	1,15	1,81	0,32	0,0045
Consumo (kg/m <sup>3</sup> )	456,25	451	523,75	827,25	144,25	2,05
a/c	0,366					

Fonte: o autor, 2022.

As dimensões dos corpos de prova para ensaio de cisalhamento oblíquo estão representadas da Figura 4. Nas Figuras 5 e 6 é possível visualizar a base em concreto do corpo de prova que será utilizada como substrato para aplicação de ponte de ligação e argamassa de reparo.

**Figura 4 – Dimensões do corpo de prova para ensaio de cisalhamento oblíquo.**



Fonte: o autor, 2022.



**Figura 5 – Base em concreto para aplicação de reparo.**



**Fonte: o autor, 2022.**

**Figura 6 – Base em concreto para aplicação de reparo.**



**Fonte: o autor, 2022.**

Os corpos de prova são cilíndricos, apresentando base circular de diâmetro 100mm e com altura de 200mm. Como é possível observar na figura 4, os corpos apresentam uma divisão interna, respeitando um ângulo de 45°, sendo compostos por dois ou três materiais, (concreto e argamassa de reparo ou concreto, argamassa de reparo e ponte de aderência). Visando a realização da interface

inclinada entre os materiais, optou-se por inclinar o molde metálico em 45° no momento da concretagem do substrato.

### 3.3.4 Preparação de Superfície

Para melhor desempenho da ponte de aderência, a superfície precisa estar livre de poeiras, óleos, agentes contaminantes ou qualquer outro tipo de partícula solta. Visando garantir o desempenho total da ponte de ligação, o processo de mistura, tanto de concreto de substrato, quanto da argamassa de reparo, deve ser procedido de maneira a evitar qualquer tipo de contaminação por óleos ou materiais indesejados.

Para tornar a superfície própria para aplicação da argamassa de reparo e da ponte de aderência, foi feita a escovação da interface dos corpos de prova pertencentes à primeira etapa de ensaios usando uma escova de aço comum, promovendo rugosidades na topografia e aumentando sua capacidade de aderência. A remoção da poeira gerada pela escovação foi feita com uso de espanador, expulsando a poeira da superfície.

Atenta-se que, para a utilização da ponte de aderência de base mineral, faz-se necessário a umidificação da superfície, cuidando para que não se forme um filme d'água. Em contrapartida, para a utilização da ponte epoxídica, a superfície deve estar totalmente seca.

### 3.3.5 Aplicação do Reparo

De acordo com a ficha técnica dos produtos, foi realizado o processo de aplicação dos materiais de reparo. Atenta-se novamente para o fato que o estudo conta com dois tipos de argamassa de reparo estrutural. Uma destas já conta com ponte de aderência em sua composição, portanto dispensa o uso de ponte no momento de sua aplicação. Em contrapartida, a outra argamassa utilizada no estudo não apresenta pontes de ligação em sua composição. Por esse motivo, optou-se por sua utilização tanto na presença de ponte de ligação quanto na ausência do material, de modo a comparar seu desempenho de aderência.

Os corpos de prova moldados por completo, com a presença de substrato em concreto e materiais de reparo podem ser observados nas Figuras, 7, 8, 9 e 10.

**Figura 7 – Corpo de prova composto por substrato de concreto e argamassa de reparo (Arg1-SemPA).**



Fonte: o autor.

**Figura 8 – Corpo de prova composto de concreto, argamassa de reparo estrutural e ponte epoxídica (Arg1-PAEpóxi).**



Fonte: o autor.

**Figura 9 – Corpo de prova composto de concreto e argamassa de reparo estrutural e ponte mineral (Arg-PAMineral).**



Fonte: o autor.

**Figura 10 – Corpo de prova composto de concreto e argamassa estrutural que dispensa o uso de pontes de aderência (Arg2-DispensaPA).**



Fonte: o autor, 2022.

### 3.3.6 Cálculo da Tensão Aplicada

Com os valores de carga aplicadas nos corpos de provas, no momento da ruptura, utilizando equação 1, obtém-se a tensão de cisalhamento oblíquo aplicada:

$$\tau = \frac{P \cdot \cos 45^\circ \cdot \sin 45^\circ}{A} \quad (1)$$

Onde:

A é a área da base do corpo de prova;

P é a carga axial aplicada no instante da ruptura;

A equação 1 também pode ser definida da seguinte maneira:

$$\tau = \tau_a * \cos 45^\circ * \sin 45^\circ \quad (2)$$

Onde:

$\tau_a$  é a tensão de rompimento de ensaio de compressão axial sobre o corpo de prova.

### 3.4 Análise Estatística dos Dados

A verificação da existência de diferenças reais entre os tratamentos, composições e métodos adotados neste trabalho foi feita mediante a Análise da Variância (ANOVA), que é o processo de decomposição da variação total nas componentes explicadas e não explicadas ou residuais. Esta decomposição segue a disposição apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Análise de Variância.

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Função F de Snedecor
Explicada	$\sum(Y_{est} - Y_{med})^2$	$k$	$\frac{\sum(Y_{est} - Y_{med})^2}{k}$	
Não Explicada	$\sum(Y - Y_{est})^2$	$(n - k - 1)$	$\frac{\sum(Y - Y_{est})^2}{n - k - 1}$	$\frac{\sum(Y_{est} - Y_{med})^2}{k} \cdot \frac{\sum(Y - Y_{est})^2}{n - k - 1}$
Total	$\sum(Y - Y_{med})^2$	$(n - 1)$		

Fonte: Lima (2013).

Neste trabalho, para determinação da Análise de Variância foi utilizado o *software Statgraphics® Centurion XVI*.

Uma vez que as variâncias apresentassem diferenças significativas, é importante determinar quais grupos de médias, em particular, são importantes. Para tal análise utilizou-se, neste trabalho, o procedimento denominado *Multiple Range Test*, através do teste de *Tukey-Kramer*, mediante o uso do mesmo *software*.

## **4 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Neste capítulo são apresentados os resultados referentes aos ensaios de cisalhamento oblíquo devido à compressão axial dos corpos de prova de diferentes composições. Procurou-se, além de estabelecer a comparação de desempenho entre os dois tipos de pontes de aderência e entre as duas argamassas de reparo estrutural, comprovar a eficácia do tratamento mecânico da superfície do substrato no processo de preparação para posterior aplicação do reparo.

### **4.1 Primeira Etapa de Ensaio**

A primeira etapa de ensaios de cisalhamento oblíquo apresentou os resultados registrados na tabela 4. Nesta tabela estão representados os códigos referentes às composições dos corpos de prova, a tensão de rompimento de ensaio, a média das tensões de rompimento entre os corpos de prova de mesma composição e a característica de ruptura (ruptura em cisalhamento oblíquo na interface dos materiais ou ruptura não cisalhada).

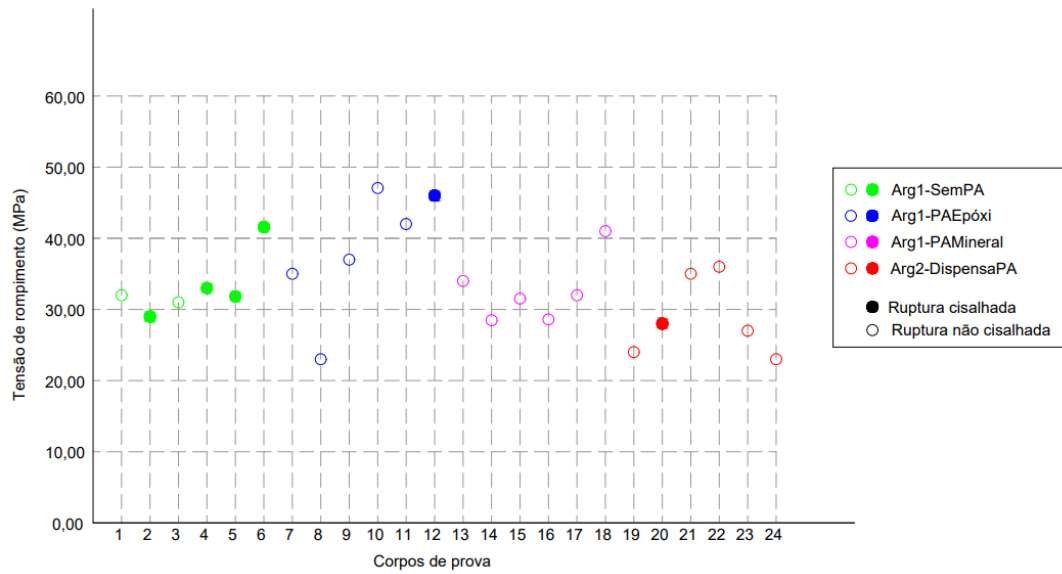
**Tabela 4 – Ensaio de corpos de prova para cisalhamento oblíquo.**

CP	CÓDIGO	TENSÃO DE ENSAIO (MPa)	MÉDIA (MPa)	RUPTURA
1	Arg1-SemPA	32,40		NÃO CISALHADA
2	Arg1-SemPA	29,35		CISALHADA
3	Arg1-SemPA	30,81	33,25	NÃO CISALHADA
4	Arg1-SemPA	33,46		CISALHADA
5	Arg1-SemPA	31,81		CISALHADA
6	Arg1-SemPA	41,69		CISALHADA
7	Arg1-PAEpóxi	34,89		NÃO CISALHADA
8	Arg1-PAEpóxi	23,22		NÃO CISALHADA
9	Arg1-PAEpóxi	37,39	38,51	NÃO CISALHADA
10	Arg1-PAEpóxi	47,58		NÃO CISALHADA
11	Arg1-PAEpóxi	41,82		NÃO CISALHADA
12	Arg1-PAEpóxi	46,10		CISALHADA
13	Arg1-PAMineral	34,19		NÃO CISALHADA
14	Arg1-PAMineral	28,63		NÃO CISALHADA
15	Arg1-PAMineral	31,44	32,86	NÃO CISALHADA
16	Arg1-PAMineral	28,73		NÃO CISALHADA
17	Arg1-PAMineral	32,76		NÃO CISALHADA
18	Arg1-PAMineral	41,38		NÃO CISALHADA
19	Arg2-DispensaPA	24,92		NÃO CISALHADA
20	Arg2-DispensaPA	27,82		CISALHADA
21	Arg2-DispensaPA	34,8	29,93	NÃO CISALHADA
22	Arg2-DispensaPA	35,71		NÃO CISALHADA
23	Arg2-DispensaPA	27,22		NÃO CISALHADA
24	Arg2-DispensaPA	23,13		NÃO CISALHADA

**Fonte: o autor, 2022.**

Os resultados de ensaio foram agrupados na figura 11.

**Figura 11 – Gráfico de tensões e características de ruptura de corpos de prova.**



**Fonte: o autor, 2022.**

Nas Figuras 12 e 13 apresentadas abaixo, é possível visualizar as duas formas de ruptura descritas na tabela 3.

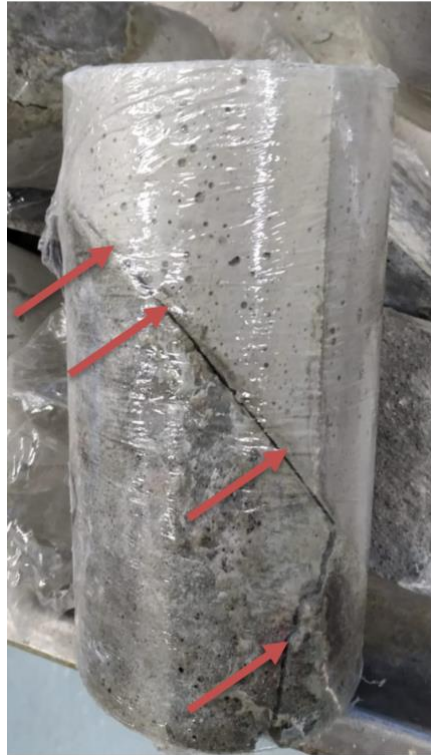
**Figura 12 – Ruptura não cisalhada de corpo de prova.**



**Fonte: o autor, 2022.**



**Figura 13 – Ruptura cisalhada de corpo de prova**



Fonte: o autor, 2022.

Os resultados de estatísticas básicas estão representados na tabela 5, obtidos com o procedimento *Multiple Range Test*, através de *Tukey-Kramer*, utilizando o software *Statgraphics® Centurion XVI*. Utilizando-se o mesmo software, foi obtida a Análise de Variância ANOVA, que está representada na tabela 6.

**Tabela 5 – Estatísticas básicas da primeira etapa de ensaios.**

Tratamento	Exemplares	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. De Variação
Arg1-SemPA	6	31,59 A	7,16432	22,68%
Arg1-PAEpóxi	6	38,50 A	8,93276	23,20%
Arg1-PAMineral	6	32,86 A	4,7188	14,36%
Arg2-DispensaPA	6	28,93 A	5,18269	17,91%
Total	24	32,97 A	7,20525	21,85%

**Nota: De acordo com o resultado do teste Tukey-Kramer, letras diferentes na coluna das médias indicam diferenças estatísticas significativas a um nível de confiança de 95%.**

Fonte: o autor (2022).

**Tabela 6 – Análise de Variância ANOVA Tensões de ruptura da primeira etapa de ensaios**

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrados Médios	Função F (Fischer-Snedecor)	P-Valor
Explicada	292,814	3	97,6048	2,17	0,1238
Não Explicada	901,246	20	45,0623		
Total	1194,06	23			

**Nota: Como o P-Valor da função F resultou em um valor MAIOR que 0,05 (5%), isto significa que NÃO existem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos adotados a um nível de confiança de no mínimo 95%.**

**Fonte: o autor, 2022.**

Nota-se que, embora exista uma diferença numérica entre as médias apresentadas na tabela 5, ao se proceder a análise estatística *Tukey-Kramer*, não existem diferenças estatísticas significativas entre as quatro composições de corpos de prova a um nível de confiança de no mínimo 95%.

#### **4.2 Segunda Etapa de Ensaio**

Devido à pequena ocorrência de rompimentos de ensaio por cisalhamento oblíquo na primeira etapa de ensaios (aproximadamente 26% dos corpos de prova), optou-se pela repetição dos ensaios utilizando-se um substrato de concreto autoadensável. Promoveu-se apenas a limpeza de poeiras e demais impurezas da superfície oblíqua antes da aplicação de pontes de aderência e argamassas de reparo, não realizando o tratamento mecânico de abrasão. Esta medida foi tomada com a finalidade de facilitar a ocorrência de rompimentos cisalhados oblíquos, possibilitando o cálculo de desempenho de aderência das pontes com maior número de corpos de prova na amostra.

A segunda etapa de ensaios de cisalhamento oblíquo apresentou os resultados registrados na tabela 7. Nesta estão representados os códigos referentes às composições dos corpos de prova, a tensão de rompimento de ensaio, a média das tensões de rompimento entre as composições e a característica de ruptura (ruptura na interface ou ruptura no reparo ou substrato).

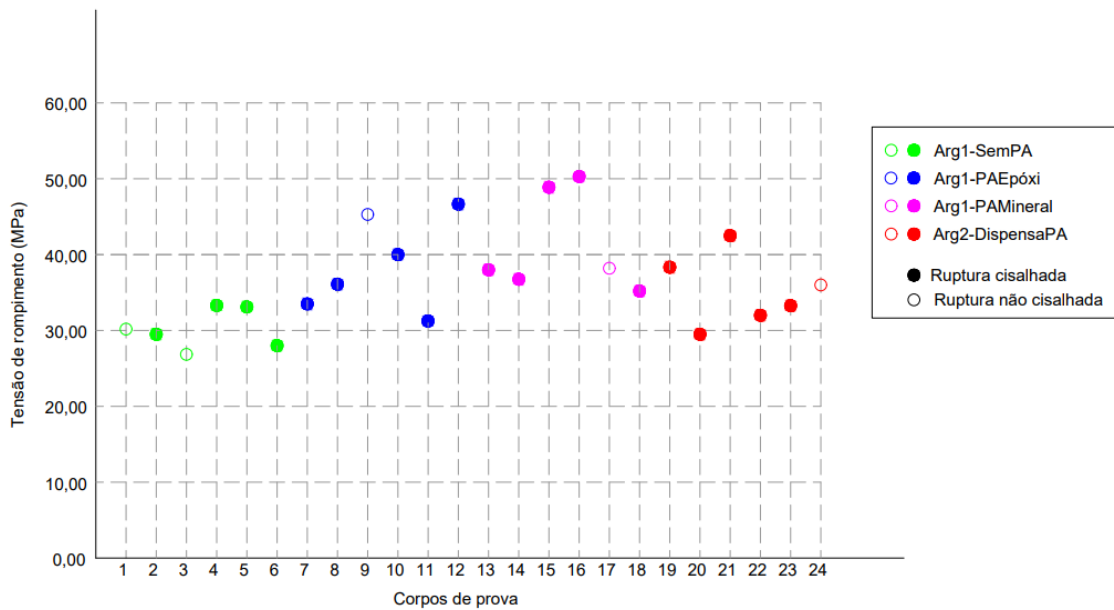
**Tabela 7 – Ensaio de corpos de prova para cisalhamento oblíquo.**

CP	CÓDIGO	RESISTÊNCIA DE ENSAIO (MPa)	MÉDIA (MPa)	RUPTURA
1	Arg1-SemPA	30,18		NÃO CISALHADA
2	Arg1-SemPA	29,55		CISALHADA
3	Arg1-SemPA	26,75	29,87	NÃO CISALHADA
4	Arg1-SemPA	33,30		CISALHADA
5	Arg1-SemPA	33,13		CISALHADA
6	Arg1-SemPA	27,93		CISALHADA
7	Arg1-PAEpóxi	33,52		CISALHADA
8	Arg1-PAEpóxi	36,10		CISALHADA
9	Arg1-PAEpóxi	45,27	38,04	NÃO CISALHADA
10	Arg1-PAEpóxi	39,98		CISALHADA
11	Arg1-PAEpóxi	31,18		CISALHADA
12	Arg1-PAEpóxi	46,68		CISALHADA
13	Arg1-PAMineral	37,88		CISALHADA
14	Arg1-PAMineral	36,74		CISALHADA
15	Arg1-PAMineral	48,80	38,05	CISALHADA
16	Arg1-PAMineral	50,29		CISALHADA
17	Arg1-PAMineral	38,22		NÃO CISALHADA
18	Arg1-PAMineral	35,21		CISALHADA
19	Arg2-DispensaPA	38,22		CISALHADA
20	Arg2-DispensaPA	29,68		CISALHADA
21	Arg2-DispensaPA	42,24	34,68	CISALHADA
22	Arg2-DispensaPA	31,89		CISALHADA
23	Arg2-DispensaPA	33,34		CISALHADA
24	Arg2-DispensaPA	36,02		NÃO CISALHADA

**Fonte: o autor,2022.**

Os resultados de ensaios da segunda etapa foram agrupados na figura 14.

**Figura 14 – Gráfico de tensões e características de ruptura de corpos de prova.**



Fonte: o autor, 2022.

Ao se verificar os tipos de rompimento de ensaio, constata-se, devido à ausência de tratamento mecânico na interface, maior ocorrência de cisalhamentos oblíquos (79% dos corpos de prova).

Os resultados de estatísticas básicas estão representados na tabela 8, obtidos com o procedimento *Multiple Range Test*, através de *Tukey-Kramer*, utilizando o software *Statgraphics® Centurion XVI*. Utilizando-se o mesmo software, foi obtida a Análise de Variância ANOVA, que está representada na tabela 9.

**Tabela 8 – Estatísticas básicas da segunda etapa de ensaios.**

Tratamento	Exemplares	Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Coef. De Variação
Arg1-SemPA	6	30,14 B	2,67027	8,86%
Arg1-PAEpóxi	6	38,79 A	6,30206	16,25%
Arg1-PAMineral	6	41,19 A	6,57361	15,96%
Arg2-DispensaPA	6	35,23 BA	4,56584	12,96%
Total	24	36,34	6,49294	17,87%

**Nota: De acordo com o resultado do teste Tukey-Kramer, letras diferentes na coluna das médias indicam diferenças estatísticas significativas a um nível de confiança de 95%.**

Fonte: o autor, 2022.

**Tabela 9 – Análise de Variância ANOVA Tensões de ruptura da segunda etapa de ensaios.**

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrados Médios	Função F (Fischer-Snedecor)	P-Valor
Explicada	415,111	3	138,37	4,99	0,0096
Não Explicada	554,528	20	27,7264		
Total	969,639	23			

Como o P-Valor da função F resultou em um valor MENOR que 0,05 (5%), isto significa que existem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos adotados a um nível de confiança de no mínimo 95%.

Fonte: o autor, 2022.

Como é possível observar na tabela 8, apesar de se notar uma diferença entre as médias das tensões de rompimento das composições de diferentes corpos de prova, não existe uma diferença estatística entre as médias.

#### 4.2.1 Cálculo de Tensão Aplicada na Interface Inclinada

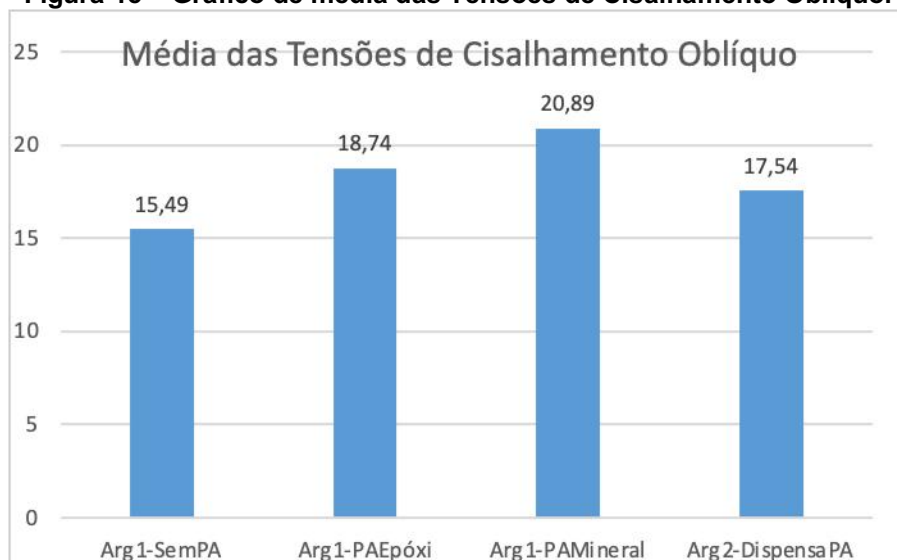
Utilizando-se a equação 1 apresentada anteriormente, foram calculadas as tensões de ruptura exercidas sobre as interfaces entre o substrato de concreto e argamassa de reparo dos corpos de prova em que houveram rupturas por cisalhamento. Os resultados estão representados na tabela 10.

**Tabela 10 – Ensaio de corpos de prova para cisalhamento oblíquo.**

CP	CÓDIGO	TENSÃO ROMPIMENTO COMPR. (MPa)	TENSÃO CIS. OBLÍQUO (MPa)
2	Arg1-SemPA	29,55	14,78
4	Arg1-SemPA	33,30	16,65
5	Arg1-SemPA	33,13	16,57
6	Arg1-SemPA	27,93	13,97
7	Arg1-PAEpóxi	33,52	16,76
8	Arg1-PAEpóxi	36,10	18,05
10	Arg1-PAEpóxi	39,98	19,99
11	Arg1-PAEpóxi	31,18	15,59
12	Arg1-PAEpóxi	46,68	23,34
13	Arg1-PAMineral	37,88	18,94
14	Arg1-PAMineral	36,74	18,37
15	Arg1-PAMineral	48,80	24,4
16	Arg1-PAMineral	50,29	25,15
18	Arg1-PAMineral	35,21	17,61
19	Arg2-DispensaPA	38,22	19,11
20	Arg2-DispensaPA	29,68	14,84
21	Arg2-DispensaPA	42,24	21,12
22	Arg2-DispensaPA	31,89	15,95
23	Arg2-DispensaPA	33,34	16,67

Fonte: o autor, 2022.

As médias de tensões de cisalhamento oblíquo estão representadas na figura 15.

**Figura 15 – Gráfico de média das Tensões de Cisalhamento Oblíquo.**

Fonte: o autor, 2022.

Os resultados de estatísticas básicas estão representados na tabela 11, obtidos com o procedimento *Multiple Range Test*, através de *Tukey-Kramer*, utilizando o software *Statgraphics® Centurion XVI*. Utilizando-se o mesmo software, foi obtida a Análise de Variância ANOVA, que está representada na tabela 12.

**Tabela 11 – Estatísticas básicas e de médias de tensões de cisalhamento oblíquo.**

Tratamento	Exemplares	Média	Desvio Padrão	Coef. De Variação
Arg1-SemPA	4	15,49 A	1,33393	8,61%
Arg1-PAMineral	5	20,89 A	3,58362	17,15%
Arg1-PAEpóxi	5	18,75 A	3,04308	16,23%
Arg2-DispensaPA	5	17,54 A	2,54324	14,50%
Total	19	18,31	3,23806	17,69%

**Nota: De acordo com o resultado do teste Tukey-Kramer, letras diferentes na coluna das médias indicam diferenças estatísticas significativas a um nível de confiança de 95%.**

**Fonte: o autor, 2022.**

**Tabela 12 – Estatísticas básicas e de médias de tensões de cisalhamento oblíquo.**

Fonte da Variação	Soma dos Quadrados	GL	Quadrados Médios	Função F (Fischer-Snedecor)	P-Valor
Explicada	69,1094	3	23,0365	2,89	0,0702
Não Explicada	119,621	15	7,97472		
Total	188,73	18			

**Como o P-Valor da função F resultou em um valor MAIOR que 0,05 (5%), isto significa que NÃO existem diferenças estatísticas significativas entre os tratamentos adotados a um nível de confiança de no mínimo 95%.**

**Fonte: o autor, 2022.**

Como mencionado anteriormente, através do teste de *Tukey-Kramer*, é possível constatar que as médias de ensaio entre as composições de corpos de prova não apresentam diferença estatística significativa. Com a quantidade de corpos de prova utilizada e os resultados de ensaio de cisalhamento, não é possível acusar estatisticamente uma diferença de desempenho entre os materiais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para se atingir o objetivo de comparação de desempenho e constatação da eficácia dos produtos de ponte de ligação, foram realizados tratamentos distintos das interfaces dos substratos de concreto. Foram utilizadas pontes de aderência de base epoxídica e mineral, assim como argamassas de reparo estrutural que, de acordo com seu fabricante, apresentam ou não ponte de ligação em sua composição. Também foi considerado como uma variável o tratamento mecânico da superfície do substrato, sendo realizada ou dispensada a abrasão da interface, promovendo imperfeições e ranhuras na superfície do concreto.

Ao se analisar as médias da primeira e segunda etapas de ensaio realizadas, constatam-se diferenças entre os valores apresentados. Porém, ao se proceder o tratamento de médias e análise estatística dos dados de *Tukey-Kramer* e o método de *Multiple Range Test*, é possível verificar a falta de diferença estatística entre os dados. Desta forma, torna-se impossibilitada a comparação de desempenho entre os materiais, levando-se em conta o ponto de vista estatístico de tratamento de dados.

A segunda etapa de ensaios propicia a análise, além dos desempenhos de pontes e argamassas, da variável de tratamento mecânico de preparação da interface. Nesta etapa, visando maior ocorrência de rompimentos cisalhados, optou-se por não se realizar a abrasão da superfície. Como planejado, tal medida resultou em um aumento significativo de rupturas em cisalhamento quando comparado à primeira etapa de ensaios, o que implica em uma interface com menor capacidade de aderência. Esta constatação evidencia a influência do tratamento de abrasão da superfície do concreto na eficácia do processo de reparo estrutural.



## 6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O estudo do comportamento das pontes de aderência e da escolha de seus materiais quando aplicadas juntamente de argamassas de reparo estrutural ainda pode ser aperfeiçoado e explorado vastamente. Visando este aprimoramento, recomenda-se:

- Diversificar as metodologias de ensaio aplicadas, avaliando, por exemplo, a viabilidade de realização de ensaio de flexão em vigas compostas por concreto, ponte de aderência e material de reparo;
- A fim de enriquecer a análise estatística dos resultados dos ensaios; sugere-se adotar uma amostra com maior número de corpos de prova por ensaio;
- Caso seja necessária a realização de uma interface inclinada de 45° no corpo de prova; recomenda-se a utilização de uma base inclinada de mesmo ângulo para moldes preenchidos com concreto autoadensável, facilitando a realização e controle de angulação;

## REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION. **Guidelines for bonded concrete overlays**. Technical Bulletin TB-007P, Arlington Heights, 1990.

ADAMSON, A.W. **Physical chemistry of surfaces**. Los Angeles: Department of Chemistry, University of Southern California, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14931**: Execução de estruturas em concreto – Procedimento. São Paulo, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 15823**: Concreto autoadensável  
Parte 2: Determinação do espalhamento, do tempo de escoamento e do índice de estabilidade visual - Método do cone de Abrams. São Paulo, 2017.

\_\_\_\_\_. **NBR NM ISSO 7500-1**: Materiais metálicos - Calibração e verificação de máquinas de ensaio estático uniaxial  
Parte 1: Máquinas de ensaio de tração/ compressão - Calibração e verificação do sistema de medição da força. São Paulo, 2016.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. São Paulo, 2018.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. São Paulo, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. São Paulo, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 6118**: Projeto de estruturas em concreto – Procedimento. São Paulo, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 14931**: Execução de estruturas em concreto - procedimento. São Paulo, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 14050**: Sistemas de revestimentos de alto desempenho, à base de resinas epoxídicas e agregados minerais - Projeto, execução e avaliação do desempenho - Procedimento. São Paulo, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 13278**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da densidade de massa e do teor de ar incorporado. São Paulo, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos. São Paulo, 2019.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522**: concreto - Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. São Paulo, 2019.

ARAÚJO, Caroline M. **Reforço de Vigas de Concreto à Flexão e ao Cisalhamento com Tecidos de Fibra de Carbono**. Tese de mestrado – UFRJ. Rio de Janeiro. 140p, 2002.

AUSTIN, S.; ROBINS, P.; PAN, Y. **Tensile bond testing of concrete repairs**. Materials and Structures, 1995.

BEUSHAUSEN, H.; ALEXANDER, M. G. **Bond strength development between concretes of different ages**. Magazine of Concrete Research, v. 60, n. 1, 2008.

BISSONNETTE, B.; COURARD, L.; BEUSHAUSEN, H.; FOWLER, D.; TREVINO, M.; VAYSBURD, A. **Recommendations for the repair, the lining or the strengthening of concrete slabs or pavements with bonded cement-based material overlays**, 2013.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia y terapéutica del hormigon armado**. Editorial Dossat, 1988.

CARASEK, H. **Aderência de argamassas à base de cimento Portland a substratos porosos** – avaliação dos fatores intervenientes e contribuição ao estudo do mecanismo da ligação. São Paulo, 1996.

COLEN, A. G. N.; SILVA, F. M.; OLIVEIRA, H.; MENDES, A.; BORGES, R. **Estudo da utilização de argamassas para reparos e reforços estruturais**. Palmas, 2019.

COURARD, L.; PIETROWSKI, T.; GARBACZ, A. **Near-to-surface properties affecting bond strength in concrete repair**. Cement & Concrete Composites, vol. 46, 2013.

DECTER, M. H.; KEELEY, C. **Durable concrete repair** – importance of the compatibility and low shrinkage. Construction and Building Materials, vol. 11. 1997.

DORIA, M.R.; SALES, A. T.; ANDRADE; N. F. **Aderência aço-concreto e entre concretos de diferentes idades em recuperação de estruturas**. Revista Ibracon de Estruturas e Materiais, Vol. 8, nr. 5, 2015.

EMMONS, P. H. AND VAYSBURD, A. M. **System concept in design and construction of durable concrete repairs**. Construction and Building Materials, 1995.

GALLETTO, A.; PINTO Jr., N.O. **Influência do Ângulo de Inclinação e Rugosidade da Junta de Aderência na Ligação entre Dois Concretos**. In: 47° Congresso Brasileiro do Concreto. IBRACON, 2005.

GARCÍA-ALONSO, M.C.; ESCUDER, M.L.; MIRANDA, J. M.; VEJA, M. I.; CAPILLA, F.; CORREIA, M. J.; SALTA, M.; BENNANI, A.; GONZÁLES, J. A. **Corrosion behavior of new stainless steels reinforcing bars embedded in concrete**. Cement and Concrete Research, 2007.

GARCIA, S. R. A. **Avaliação da Resistencia de Aderência de Materiais para Reparo de Estruturas de Concreto**, Dissertação de Mestrado em Estruturas - Faculdade de Tecnologia, UNB, Brasília, 1998.

HELENE, P.R.L. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto.** São Paulo. Editora Pini, 1992.

HELENE, P. R. L.; PEREIRA, F. **Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón,** Paulo Helene e Fernanda Pereira editores, São Paulo, 2003.

HERBSTER, F.; MOREIRA, F. D. **Autenticidade na conservação do concreto na arquitetura moderna: o caso da FAUUSP.** 7º congresso internacional sobre Patologias e reabilitação de estruturas, 2011.

KRAMAR, S.; ŠAJNA, A.; DUCMAN, V. **Assessment of alkali activated mortars based on different precursors with regard to their suitability for concrete repair.** Construction and Building Materials, 2016.

LI, M.; LI, C. V. **High-early-strength engineered cementitious composites for fast durable concrete repair:** its fol just online journalism. ACI Material Journal. 2011.

LIMA, A. J. M. **Engenharia de Avaliações.** 348p. Apostila dos cursos de graduação em Engenharia Civil e Arquitetura e Urbanismo. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

LOTTERMAN, A. F. **Patologias em estruturas de concreto:** um estudo de caso. Ijuí, 2013.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto microestrutura, propriedades e materiais.** São Paulo. Editora Ibracon, 2014.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto.** Editora Pini, 2º edição. São Paulo, 1997.

MOMAYEZ, A.; EHSANI, M.R.; RAMEZANIANPOUR, A. A.; RAJAIE, H. **Comparison of methods for evaluating bond strength between concrete substrate and repair materials.** Cement and Concrete Research, n.35, 2005.

MORENO JUNIOR, R; SELMO, S. M. de S. **Aderência de argamassas de reparo de estruturas de concreto.** Boletim técnico da escola politécnica da Universidade de São Paulo - USP. São Paulo, 2007.

PEREIRA, E. **Estudo da influência das propriedades de argamassas colantes na resistência de aderência de revestimentos cerâmicos aplicados no assentamento de piso sobre piso.** Curitiba, 2012. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná.

PACHECO-TORGAL F.; LABRINCHA J. A. **Biotech cementitious materials:** Some aspects of innovative approach for concrete with enhanced durability. Constr Build Mater 40:1136-1141, 2013.

PIRES, E. N. et al. **Efeito do tratamento alcalino de fibras de juta no comportamento mecânico de compósitos de matriz epóxi.** Polímeros [online]., 2012.

RELVAS, Fernando José. **Manual de Reforço de Vigas de Concreto Armado à Flexão com Fibra de Carbono**. Curso prático de diagnóstico, reparo, proteção e reforço, Exata Engenharia e Consultoria S/C Ltda. Edição Abece, 2003.

SCARTEZINI, L. M.; JUCÁ, T. R.; LINHARES, H.; TEIXEIRA, F.; ANTONELLI, G.; CASCUDO, O.; CARASEK, H. **Influência do preparo da base na aderência e na permeabilidade à água dos revestimentos de argamassa**. Goiânia, 2001.

SCHUEREMANS, L, CIZER, Ö, JANSSENS, E, SERRÉ, G, AND VAN BALEN, K. **Characterization of repair mortars for the assessment of their compatibility in restoration projects: Research and practice**. Constructions and Building Materials, 2011.

SOUZA, V. C. M. de; RIPPER, T.; **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo – SP : Editora Pini Ltda., 1998.

VAN BALEN, K.; PAPAYIANNI, I.; VAN HEES, R.; BINDA, L.; WALDUM, A. **Introduction to requirements for and functions and properties of repair mortars**. Materials and Structures, 2005.