

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Thales Luiz Kern

**ESTUDO DA ADERÊNCIA DE ADESIVO EPÓXI PARA O REFORÇO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Santa Cruz do Sul

2017

Thales Luiz Kern

**ESTUDO DA ADERÊNCIA DE ADESIVO EPÓXI PARA O REFORÇO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M. Sc. Christian Donin

Santa Cruz do Sul

2017

Thales Luiz Kern

**ESTUDO DA ADERÊNCIA DE ADESIVO EPÓXI PARA O REFORÇO DE
ESTRUTURAS DE CONCRETO**

Trabalho de conclusão apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade de Santa Cruz do Sul para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. M. Sc. Christian Donin

Prof. M.Sc. Christian Donin
Professor Orientador - UNISC

Prof. Dr. Eduardo Rizzatti
Professor Examinador - UFSM

Prof. M.Sc. Henrique Luiz Rupp
Professor Examinador - UNISC

Santa Cruz do Sul

2017

Dedico este trabalho à Deus, à minha família e
a todos que me apoiaram nessa jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por me conceder saúde, sem isso não seria possível concluir essa jornada.

À minha família, meus pais Darci Luiz Kern e Ingrid Deufel Kern, por terem me dado a oportunidade de cursar a graduação e buscar conhecimento, por terem me dado todo o suporte possível durante essa jornada, pelo carinho e afeto, pela compreensão nos momentos difíceis, a meu irmão Deivid Ismael Kern, um exemplo de bom profissional, pelo incentivo e apoio na busca da qualificação profissional.

Agradeço aos meus amigos Fernando Luís Schmidt, Cristiano Leo Schmidt e Douglas Rickmann, que nos momentos difíceis me prestaram muito apoio, e também ao amigo e colega Jeferson Rathke por dividir conhecimento, virar inúmeras madrugadas realizando os trabalhos acadêmicos e pelos momentos de descontração.

Um agradecimento especial ao professor e orientador deste trabalho, Christan Donin, pelos valiosos ensinamentos, pela disposição em auxiliar, comprometimento, paciência e dedicação, o agradecimento se estende para além deste trabalho, sendo exemplo para este orientando.

Aos demais professores do Curso de Engenharia Civil, por repassarem o conhecimento de forma clara, sempre priorizando a qualidade no ensino, aos laboratoristas, que permaneceram no laboratório até depois da hora para realização dos ensaios.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo de aderência entre interfaces de concreto com concreto e interfaces de aço com concreto utilizando adesivo epóxi para reforço estrutural. O trabalho visa apresentar dados experimentais de cisalhamento puro entre as interfaces citadas e um ensaio complementar apresentando dados de ancoragem de barras ao concreto utilizando adesivo epóxi, o que é de extrema importância para a área de reforço estrutural e patologias das estruturas, pois são escassos os referenciais teóricos e normativos sobre a área. Os ensaios foram realizados com protótipos de três resistências à compressão distintas e com isso foi possível analisar graficamente as tensões de cisalhamento em função da resistência à compressão do concreto. No final do trabalho, os resultados são discutidos e comparados com os valores sugeridos nas bibliografias e nas normas, e fica evidente que os valores são superiores aos valores sugeridos, mostrando-se significativamente a favor da segurança para realizar dimensionamentos de reforço de estruturas de concreto.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Viga reforçada com chapa de aço.....	26
Figura 2 Reforço de um pilar por meio de cantoneiras metálicas	27
Figura 3 - Reforço à flexão sem buxa	30
Figura 4 - Reforço à flexão com a utilização de buchas	31
Figura 5 - Reforço ao esforço cortante sem bucha metálica.....	31
Figura 6 - Reforço ao esforço cortante com buchas metálicas.....	32
Figura 7 - Resultados obtidos na pesquisa.....	35
Figura 8 - Engrenamento ao longo da fissura.....	36
Figura 9 - Relação entre as tensões tangencial e normal devido ao engrenamento	37
Figura 10 - Protótipo 1	39
Figura 11 - Protótipo 2.....	39
Figura 12 - Testemunho	40
Figura 13 – Montagem das Formas	41
Figura 14 - Chapa de aço ASTM A36	44
Figura 15 - Adesivo epóxi.....	45
Figura 16 - Concretagem dos blocos	46
Figura 17 - Preparo das superfícies de concreto	47
Figura 18 - Preparo das superfícies de aço	48
Figura 19 - Pesagem e mistura da resina	49
Figura 20 - Aplicação da resina no concreto.....	50
Figura 21 – Protótipo Concreto/Concreto	50
Figura 22 - Protótipo Aço/Concreto	51
Figura 23 - Capeamento dos protótipos	51
Figura 24 - Máquina de ensaios.....	52
Figura 25 - Método de ensaio do protótipo 1	53
Figura 26 - Método de ensaio dos testemunhos	53
Figura 27 – Protótipo1 posicionado na máquina.....	54
Figura 28 -Método de ensaio do protótipo 2	54
Figura 29 - Protótipo 2 posicionado na máquina.....	55
Figura 30 - Rompimento do testemunho	59
Figura 31 - Rompimento do protótipo 1 – entre concreto e concreto com adesivo epóxi	60
Figura 32 - Rompimento do protótipo 2 - entre aço e concreto com adesivo epóxi	61
Figura 33 - Protótipo 3.....	63

Figura 34 - Método de ensaio do protótipo 3	63
Figura 35 – Preparação do protótipo 3	64
Figura 36 - Colagem dos protótipos	64
Figura 37 - Ensaio de arrancamento.....	65
Figura 38 - Fissura no bloco	66
Figura 39 - Falha de aderência da resina no Traço C.....	70
Figura 40 - Cisalhamento do concreto no Traço B	70
Figura 41 - Cisalhamento do concreto no Traço A.....	71
Figura 42 - Ruptura dos protótipos Aço/Concreto.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais vantagens e desvantagens das fibras FRP	29
Tabela 2 - Pilares e suas intervenções	34
Tabela 3 - Resistências à compressão média	58
Tabela 4 - Resistências ao cisalhamento dos testemunhos	58
Tabela 5 - Resistências ao cisalhamento Concreto/Concreto-epóxi.....	59
Tabela 6 - Resistências ao cisalhamento Aço/Concreto-epóxi.....	60
Tabela 7 - Tensões de arrancamento de barras	65
Tabela 8 - Comparativo Concreto/Concreto-epóxi.....	68
Tabela 9 - Modos de ruptura	69
Tabela 10 - Dados estatísticos aderência concreto/concreto	71
Tabela 11- Comparativo Concreto/aço - NBR6118:2014	73
Tabela 12 - Dados estatístico aderência aço/concreto	75

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico comparativo entre protótipos	62
Gráfico 2 - Curva tensão de cisalhamento/Resistência do concreto	67
Gráfico 3 - Comparativo Tensões concreto-concreto/Resistência do concreto NBR 6118:2014.....	69
Gráfico 4 - gráfico comparativo cisalhamento concreto/aço - NBR 6118:2014.....	73
Gráfico 5 - Gráfico comparativo geral	77

Lista de Símbolos

A_s^{eq} – Área de aço equivalente

A_s^i – Área de aço existente

A_s^r - Área de aço de reforço

b_s – Largura da chapa de reforço

d^{eq} – Altura do útil equivalente

d^i – Altura do útil existente

d^r – Largura da chapa de reforço cortante

F_{sd} – Força normal de cálculo

f_{syd}^i – Resistência de cálculo da armadura equivalente

f_{syd}^r – Resistência de cálculo da armadura de reforço

M_{rd} – Momento resistente de cálculo

t_s – Espessura da chapa de reforço

t_g – Espessura da resina de colagem

V_{cd} – Cortante resistido pelo concreto

V_{rd} – Cortante resistente de cálculo

V_{sd} – Cortante solicitante de cálculo

V_{wd} – Cortante resistido pelo estribo

τ – Tensão de cálculo

$\gamma_{n,V}$ – Coeficiente de monutilismo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 Apresentação	15
2. Justificativa	16
3 Objetivos	17
3.1 Objetivo geral	17
3.2 Objetivos específicos	17
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
4.1 Patologias	18
4.2 Materiais de reforço	19
4.2.1 Argamassas	19
4.2.1.1 Argamassas de base mineral (cimentícias)	19
4.2.1.2 Argamassas de base resina epóxi	20
4.2.1.3 Argamassas de base resina poliéster	20
4.2.1.4 Argamassas de base resina furânica	21
4.2.1.5 Argamassas de base resina fenólica	21
4.2.2 Resina epóxi	21
4.2.3 Grautes	22
4.2.4 Demais adesivos	23
4.2.5 Materiais para Injeção	23
4.2.6 Chapas Metálicas	23
4.2.7 Perfis metálicos	24
4.2.8 Fibra de Carbono	24
4.3 Métodos de reforço usuais	25
4.3.1 Chapas e perfis colados	25
4.3.2 Fibras coladas	28
4.4 Considerações de cálculo e projeto	30

4.5 Pesquisas realizadas	34
5. Metodologia	38
5.1. Programa experimental.....	38
5.1.1 Definição dos protótipos	38
5.1.2 Confeção das formas	40
5.1.3 Caracterização dos materiais.....	41
5.1.3.1 Concreto.....	42
5.1.4 Programa experimental.....	45
5.1.4.1 Concretagem	45
5.1.4.2. Desmoldagem e cura	46
5.1.4.3. Preparo das superfícies.....	47
5.1.4.4 Aplicação do adesivo epóxi	48
5.1.5. Equipamento de ensaio	52
6. Resultados	58
6.1. Resultados experimentais	58
6.2. Síntese dos resultados	61
6.3. Ensaio complementares	62
6.4. Resultados dos ensaios complementares	65
7. Análise dos resultados	68
7.1. Análise dos blocos de interfaces de concreto com adesivo epóxi.....	68
7.2. Análise dos blocos de interfaces de concreto e aço com adesivo epóxi	73
8. Conclusão e considerações finais.....	78
9. REFERENCIAS.....	79

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento do mercado da Engenharia Civil, os problemas patológicos relacionados à área vêm aumentando, a evolução dos materiais e a existência de softwares para a elaboração de projetos estruturais, busca diminuir os erros de projetos e conseqüentemente o surgimento de patologias estruturais.

Com o passar do tempo, e estruturas sem a devida manutenção, apresentam sintomas patológicos que precisam de algum tipo de intervenção, seja ela destrutiva ou não, buscando evitar o desconforto para os usuários ou até possíveis tragédias.

Essa pesquisa busca estudar os materiais para reforço estrutural, assim como a interação desses materiais com o concreto, buscando resultados experimentais, e a comparação desses resultados com as normas e com a bibliografia.

1.1 Apresentação

A Engenharia Civil é a mais antiga das Engenharias. Há milhares de anos, o homem vem desenvolvendo técnicas e aperfeiçoando materiais para, assim, aprimorar a tecnologia da construção. Com o passar do tempo e com o surgimento de teorias físicas e matemáticas, foram desenvolvidos modelos de cálculo para garantir a estabilidade e o equilíbrio das estruturas.

Com o conhecimento da resistência dos materiais e o aprimoramento tecnológico dos materiais, surgiram estruturas cada vez maiores e mais complexas, visto que sua estabilidade é garantida em projeto.

O conceito de estabilidade de estruturas busca garantir o correto dimensionamento dos elementos estruturais para determinadas cargas. Porém, deve ser levado em conta a durabilidade estrutural, pois é inevitável o surgimento de patologias com o passar do tempo.

Por isso, é de grande importância entender e analisar os sintomas patológicos, assim como entender e saber utilizar os materiais para reparo e reforço estrutural.

2. Justificativa

O presente trabalho busca contribuições e soluções para a área de Patologias e Estruturas, por se tratar de uma área de extrema importância, que apresenta crescente demanda pelo aprimoramento dos materiais e técnicas, visando soluções de aprimoramento e alternativas para reforços de elementos estruturais.

Nesse contexto, buscou-se analisar o comportamento de materiais para reforço estrutural, a interação dos mesmos entre si, de modo que esse estudo possa contribuir para a comunidade científica e para o aprimoramento dos materiais e das técnicas de reforço.

É de suma importância o aperfeiçoamento de profissionais nessa área, tendo em vista a crescente demanda de obras, e junto com as mesmas, o surgimento de inúmeras patologias, a maioria delas geradas por falhas no projeto, na execução ou por falta de acompanhamento, é necessário que o profissional tenha conhecimento e preparo para solucionar problemas relacionados a área, de modo que possa garantir a segurança de usuários e evitar possíveis tragédias.

3 Objetivos

3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo estudar e analisar os materiais para reforço e reparo estrutural, assim como compreender a interação e analisar a aderência desses materiais com estruturas de concreto.

3.2 Objetivos específicos

- Estudar e analisar os métodos de reforço estrutural e o comportamento de adesivos epóxi para reforço estrutural;
- Definir os protótipos de concreto a serem utilizados, com três resistências características distintas, para análise experimental.
- Executar ensaios experimentais, com aplicação de cargas nos protótipos de concretos para que os mesmos cheguem a ruptura por cisalhamento e por tração.
- Executar um ensaio complementar de arrancamento de barra reta e analisar a tensão de aderência, comparando os resultados com os valores sugeridos pela norma.
- Analisar e compreender o comportamento da tensão de aderência, no cisalhamento e na tração, de adesivo epóxi em superfícies de concreto com resistências características distintas, assim como a interação de superfícies de aço com concreto.
- Analisar e discutir os resultados experimentais comparando-os entre si, e com os valores sugeridos pelas normas e bibliografias.
- Pesquisar o comportamento da resina epóxi como ponte aderente entre aço e concreto, e a tensão de aderência no cisalhamento.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Patologias

A construção de estruturas vem sendo estudada e aperfeiçoada pelo homem desde que as civilizações eram muito primitivas. A necessidade de aperfeiçoamento e inovações veio junto com o crescimento das civilizações.

A compreensão sobre o comportamento dos materiais e estruturas, era obtida através do estudo de erros ou acidentes acontecidos, ou até observando a durabilidade das estruturas.

Dentro do conceito da durabilidade, é que entra a deterioração estrutural, que pode ser gerado por vários fatores, desde o envelhecimento do elemento até acidentes, falta de manutenção, erros de projeto, emprego incorreto de materiais, entre outros.

A criação de normas e regulamentos para projeto e execução de estruturas, que limita fissuração, deformações, capacidade resistente, entre outros, foi um critério revolucionário dentro da engenharia estrutural, além disto a estrutura deve ter uma correta manutenção para evitar o surgimento precoce de patologias.

Podemos designar patologias o estudo das origens, manifestações, mecanismos de ocorrência das falhas e degradação de estruturas. (SOUZA e RIPPER, 1998).

Uma combinação de exposição aos efeitos agressivos do meio ambiente, em conjunto com detalhes estruturais mal construídos, negligência dos problemas de durabilidade, erros de construção e subestimação da importância da manutenção pode levar a danos graves do concreto armado. (BONIC et al., 2015).

Helene (1992), destaca que, os problemas patológicos só se manifestam após o início da execução propriamente dita, a última etapa da fase de produção, e normalmente ocorrem com maior incidência na etapa de uso.

Estruturas com manifestações patológicas, necessitam de reparo ou reforço, ao projetar estruturas novas de concreto armado, pode-se contar com normas técnicas e diversos livros pertinentes ao tema, já no caso de projetar reforços e reparos de estruturas danificadas, o referencial teórico é escasso e normas técnicas referentes ao assunto são quase inexistentes.

4.2 Materiais de reforço

Segundo Souza e Ripper (1998), os motivos pelos quais são necessários trabalhos de reforço em uma estrutura de concreto ou em um ou mais de seus elementos estruturais são os seguintes: correção de falhas de projeto ou de execução; aumento da capacidade portante da estrutura, para permitir modificações em seu uso; regeneração da capacidade portante, diminuída em virtude de acidentes (choques incêndios, etc.) ou de desgaste ou deterioração; e modificação da concepção estrutural, como o corte de uma viga, por exemplo, por necessidade arquitetônica ou de utilização.

Portanto, de acordo com a necessidade e com o tipo de patologia, pode-se descrever alguns materiais de reforço, como: Argamassas; Resinas Epóxi; Grouts; Adesivos; Materiais Para Injeção; Chapas Metálicas; Perfis Metálicos; e Fibras de Carbono.

4.2.1 Argamassas

Conforme Souza e Ripper (1998), em trabalhos de recuperação ou de reforço de estruturas em que o volume de material a ser utilizado é pequeno, pode ser conveniente utilizar argamassas pré-misturadas com polímeros. Existe uma grande variedade de argamassas, sendo elas: argamassas de base mineral (cimento); argamassas de base resina epóxi; argamassas de base resina poliéster; argamassas de base resina furânica; e argamassas de base resina fenólica.

4.2.1.1 Argamassas de base mineral (cimentícias)

De acordo com Souza e Ripper (1998), são argamassas que não apresentam retração, possuem alta resistência química e não são corrosíveis e possuem pH

alcalino. Ainda conforme o autor, se apresentam na forma de dois componentes, que são misturados na hora da aplicação, seguindo instruções do fabricante. Podemos ter ainda argamassas de base cimentícias com adição de resina acrílica, que são divididas em duas variedades:

- Argamassas tixotrópicas, que podem ser aplicadas em superfícies com qualquer inclinação pois não escorrem, e possuem ainda em sua composição uma adição de poliamidas.
- Argamassas autonivelantes, de alta fluidez, utilizadas em superfícies horizontais.

4.2.1.2 Argamassas de base resina epóxi

São argamassas obtidas de agregados miúdos e um ligante de polímero, que conforme Souza e Ripper (1998), é uma argamassa excelente para reparos de elementos estruturais, porém, por ser uma argamassa com custo elevado, seu uso fica limitado à falhas localizadas e de pequenas dimensões. No mercado, as argamassas de base resina epóxi são fornecidas em três componentes: resina, catalizador e areia de quartzo.

Souza e Ripper destacam ainda que pelo alto poder de aderência da resina epóxi ao concreto e ao aço, essa argamassa pode ser utilizada para reparos superficiais, ancoragem de chumbadores, cobrimento de barras adicionais, e, por ser tixotrópica, pode ser aplicada até na vertical.

4.2.1.3 Argamassas de base resina poliéster

São argamassas que apresentam um tempo de cura curto, e, conforme Souza e Ripper (1998) possuem boa resistência inicial com baixa retração, boa impermeabilidade e elevada capacidade de aderência ao substrato. Possuem custo elevado, e são constituídas pela resina em solução, catalizador e fílers inertes com modificadores em sua formulação.

Helene (1992), destaca que estes tipos de argamassa têm resistência química e mecânica e têm ótima resistência à maioria dos ácidos, porém não resistem a produtos cáusticos e alvejantes.

4.2.1.4 Argamassas de base resina furânica

De acordo com Helene (1992), as argamassas de base furânica são constituídas por resina líquida, catalisador e fíler (sílica, carbono, barita ou coque pulverizado). São resistentes a ácidos não oxidantes, álcalis, muitos solventes, sais, gases, óleos, graxas e detergentes. Podem ainda serem utilizadas em temperaturas de até 200°C.

4.2.1.5 Argamassas de base resina fenólica

São argamassas que, segundo Souza e Ripper (1998), possuem um tempo reduzido para aplicação e necessitam ser mantidas sob refrigeração, são compostas de resinas, sendo elas fenolformaldeídos, e catalisador necessariamente ácido. Não resistem ao ataque de oxidantes fortes, álcalis fortes, nem a temperaturas maiores que 175°C.

4.2.2 Resina epóxi

Segundo Cánovas (1988), as resinas epóxi são resinas sintéticas que resultam da combinação da Epicloridrina com o Bifenol, e que se caracterizam pela presença, em sua molécula, de um grupo de epóxi em cada extremo de sua cadeia.

A resina epóxi é uma das resinas mais utilizadas para reparos e reforços, Cánovas (1988) destaca que as resinas epóxi são muito empregadas pelas seguintes razões:

- Possuem retração química praticamente desprezível;
- Sua retração térmica é muito pequena;
- Sua reatividade pode ser regulada dentro de amplas margens;
- São compatíveis com a umidade;

- Apresentam aderência excelente frente ao concreto e ao aço;
- Possuem excelente resistência mecânica;
- Sua rede reticular é totalmente estável frente às intempéries e aos meios agressivos;
- Apresentam a particularidade de poder formar, por reticulação, uma rede mais ou menos flexível.

Cánovas (1988) destaca ainda que as aplicações mais frequentes das resinas epóxi são: injeção de fissuras e trincas; união de aço a concreto em reforços; união de concreto de diferentes idades em reforços; adesivos para unir argamassas ou concreto em reparações; revestimentos anticorrosivos e selagens, em proteções.

Algumas propriedades das resinas, segundo Cánovas (1988) são:

- Resistência à tração de 30 até 90 MPa;
- Resistência à compressão entre 120 e 210 MPa;
- Tempo variável para adquirir resistência entre 0,5 até 10 horas, e a máxima resistência aos 7 dias;
- Retração muito menor que a do concreto;
- Módulo de elasticidade variável entre 15 e 30 GPa;
- Adesão Excelente ao concreto rompendo sempre o concreto por tração.

4.2.3 Grautes

De acordo com Helene (1992), o graute é um material fluido e auto adensável no estado recém misturado, formulado para preencher cavidades e subsequentemente tornar-se aderente, resistente e sem retração no estado endurecido.

Grautes podem ser amplamente utilizados em reparos de falhas de elementos estruturais, segundo Souza e Ripper (1998) os grautes podem ser de base mineral ou de base epóxi, sendo o primeiro constituído por cimento, agregados miúdos, quartzos, aditivo superplastificante e aditivo expensor (pó de alumínio), que possibilita o produto ter uma alta fluidez, e permite aplicação em locais de difícil acesso. O grautes de base epóxi, ainda segundo os autores, é um composto de epóxi-poliámidas, fornecido em

dois componentes que quando misturados, resultam em um produto de grande fluidez, baixa viscosidade e apresenta excelentes resistências mecânicas, químicas e abrasivas.

4.2.4 Demais adesivos

De acordo com Helene (1992), adesivos são materiais usados como ponte de aderência entre dois outros, sendo em geral um deles a superfície do concreto velho, também chamada de substrato.

Souza e Ripper (1998) destacam que os adesivos pode ser a base de epóxi, PVA ou acrílico. Conforme os autores, os adesivos a base de epóxi, são fornecidos em monômero e catalisador, que devidamente misturados, permanecem viscosos durante um certo tempo e depois endurecem e se solidificam, adquirindo elevada resistência mecânica. Já os adesivos a base de PVA é utilizado em tintas, revestimentos, membranas impermeabilizantes, no preparo do chapisco e confecção de argamassas, pois quando diluídos na água de amassamento, proporcionam melhor aderência sobre aos substratos. Já os adesivos de base acrílica, ainda conforme os autores, são utilizados na construção civil sob a forma de placas transparentes semelhantes ao vidro, painéis de revestimento de paredes, em tintas, impermeabilizações e como adesivos, com aplicação semelhante à do PVA.

4.2.5 Materiais para Injeção

Geralmente, os materiais de injeção são compostos por resinas de alta fluidez, podendo serem de base acrílica, epoxídica ou poliéster.

4.2.6 Chapas Metálicas

Em elementos estruturais danificados, é possível o reforço ou reparo mediante a colagem de chapas metálicas, utilizando-se de alguma resina como ponte aderente.

De acordo com Cánovas (1988), em toda união mediante colagem de dois materiais, a adesão é a propriedade mais fundamental, e depende da qualidade do adesivo a empregar, o estado da superfície dessas estruturas e as propriedades dessas superfícies.

Souza e Ripper (1998) destacam que a superfície da chapa metálica que ficará em contato com a resina também deve ser objeto de cuidadoso tratamento, para que possa potencializar o máximo de sua capacidade aderente.

Segundo Cánovas (1988), dos três materiais, concreto, aço e massa epóxi, que intervém na união, a massa epóxi tem propriedades mecânicas muito superiores às do concreto e inferiores às do aço, de tal forma que o defeito vai se produzir, sempre, por cortante superficial combinada com tração no concreto.

4.2.7 Perfis metálicos

Perfis metálicos para reforço e reparo estrutural podem ser utilizados tanto em vigas como em lajes, com ou sem o uso de resinas como ponte aderente.

Souza e Ripper (1998) citam que o reforço realizado pela adição de perfis metálicos deve ter sido, em termos histórico, um dos primeiros sistemas de reforço. Ainda segundo os autores, o sistema de encamisamento, sem o uso de resinas, mas simplesmente pela transferência integral da capacidade resistente do concreto para o aço, implicou em uma geração de enganos sérios, pois não se contou com a redistribuição de esforços dos elementos reforçados para os demais adjacentes, acabando por danificar os elementos que eram sãos.

4.2.8 Fibra de Carbono

Segundo Machado (2016) as fibras de carbono são resultantes do tratamento térmico (carbonização) de fibras precursoras orgânicas como o poliacrilonitril (PAN) ou com base no alcatrão derivado do petróleo ou do carvão (PITCH) em um ambiente inerte e, também, através de fibras de rayon. O processo de produção consiste na oxidação dessas fibras precursoras seguido do processamento a elevadas temperaturas (variando de 1.000°C a 1.500°C para as fibras de carbono a até cerca de 3.000°C para as fibras de grafite).

4.3 Métodos de reforço usuais

Os métodos de reforço usuais dependem de muitos fatores que devem ser levados em conta, como a sintomatologia e a cargas que o possível elemento está submetido. Existem diversos métodos de intervenção que podem ser adotados, como adição de chapas e perfis colados e fibras coladas.

4.3.1 Chapas e perfis colados

De acordo com Juvandes (1999) apud Boto (2015), este um método relativamente simples, pois consiste na colagem de chapas ou placas à superfície do concreto por aplicação de resinas epóxi. O autor define ainda que a resina garante a ligação entre o concreto e a chapa, e as forças são transferidas para o concreto por intermédio de tensões tangenciais desenvolvidas ao longo da interface de colagem.

Cánovas (1988) destaca que na união de chapas de aço ao concreto, a adesão é a propriedade mais importante, e depende:

- Da qualidade do adesivo;
- Do estado das superfícies;
- Das propriedades das superfícies.

Segundo Paiva et all (2006) apud Boto (2015), a utilização de elementos metálicos apresenta diversas vantagens no reforço e reparo de estruturas, entre eles:

- Relação favorável entre peso e resistência mecânica;
- Resiste a diferentes tipos de solicitações;
- Capacidade de adaptação aos espaços existentes;
- Elevado grau de pre-fabricação, que permite a realização de operações de montagem relativamente limpa e assegura a entrada imediata “em serviço” da nova estrutura;
- Rapidez e facilidade da execução;
- Diminuta alteração nas dimensões arquitetônicas;

- Não requer mão de obra especializada;

Em relação as desvantagens as principais são:

- Vulnerabilidade da estrutura à corrosão e ao incêndio;
- Manuseamento das chapas metálicas devido ao seu peso;
- Limitação das dimensões das chapas metálicas;

Thábita (2016) em seu trabalho de conclusão de curso, apresentou uma análise teórico experimental sobre reforço à flexão em vigas de concreto armado, utilizando chapa de aço colada com adesivo epóxi, moldando 4 protótipos de viga de concreto, sendo um deles sem a utilização do reforço e três deles utilizando a chapa de aço coladas com resina epóxi. Os resultados apresentados pela autora foram uma média de variação dos protótipos com a utilização do reforço de 47,27% superior ao momento de cálculo da viga, e 8,15% superiores ao momento de ruptura estimado.

Figura 1 - Viga reforçada com chapa de aço

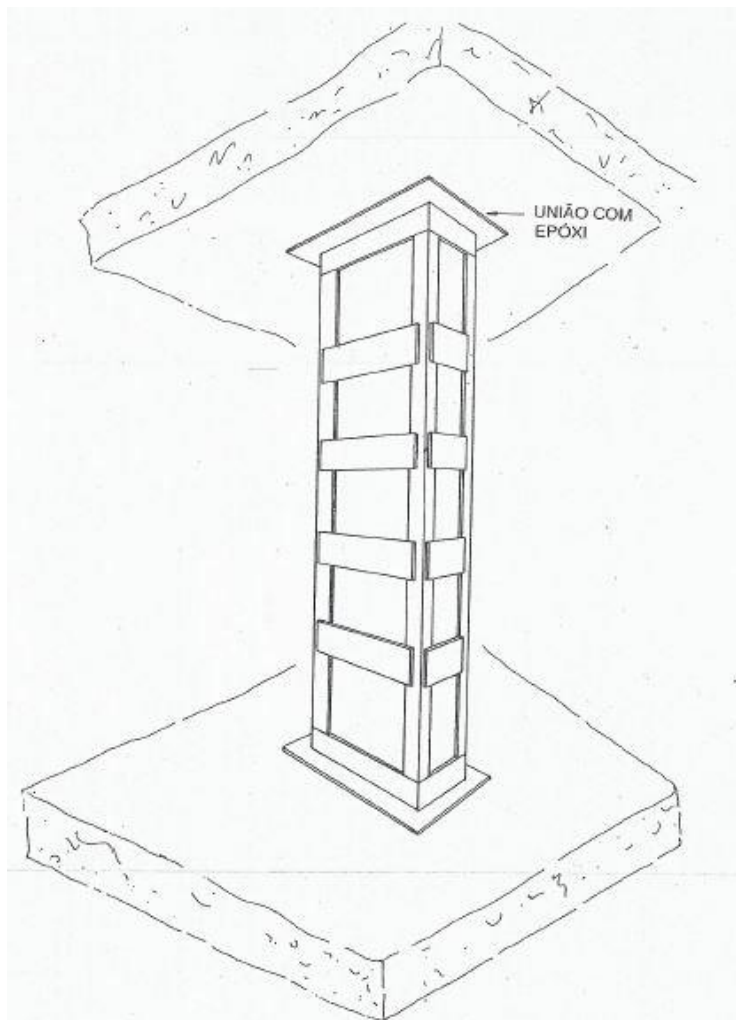


Fonte: Autor, 2016

A utilização de perfis metálicos, de acordo com Cánovas (1988), vem sendo empregada a muito tempo, principalmente no reforço de pilares com capacidade de carga deficiente. O reforço, segundo o autor, é executado frequentemente por meio de cantoneiras, fixadas nos quatro cantos do pilar, e unidas lateralmente por meio de

presilhas soldadas, com as partes superior e inferior terminando em um capitel e base metálica, formados também por cantoneiras, conforme a ilustração a seguir:

Figura 2 Reforço de um pilar por meio de cantoneiras metálicas



Fonte: Cánovas (1988)

Os procedimentos de preparo e limpeza do substrato, segundo Helene (1992), são muito importantes, alguns autores consideram responsável por 50% ou mais do sucesso de uma recuperação ou reforço. Ainda conforme o autor, um preparo e limpeza inadequados podem comprometer integralmente o serviço de reforço, mesmo utilizando de materiais e sistemas sofisticados.

Souza e Ripper (1998) definem que a rugosidade da superfície do concreto é importante pois aumenta a aderência química entre as partes, mas deve-se tomar certo cuidado, pois uma superfície muito rugosa torna difícil a aplicação da resina,

podendo ocorrer formação localizada de bolhas de ar, levando a descontinuidades na película de resina, que pode resultar no desprendimento da resina. Ainda conforme os autores, uma superfície praticamente lisa pode causar problemas em termos de aderência. Os autores determinam então que para a obtenção de uma superfície uniformemente rugosa, deve-se submeter os elementos a jatos de areia, ou, quando não for possível, a utilização de percussão provocada por martelo de agulhas.

Souze e Ripper (1998) concluem então que:

“Para garantia de melhor aderência, a superfície de concreto, depois de apicotada, deve ser limpa a jatos de água sob pressão e seca pela aplicação de jatos de ar comprimido, de modo a estar limpa e seca na altura da aplicação da resina.”

4.3.2 Fibras coladas

De acordo com Boto (2015), o reforço com FRP (Polímeros reforçados com fibras) existe para cumprir a necessidade de reforçar com materiais leves, pode-se dizer que é uma evolução da técnica de colagem de chapas de aço.

Este compósito de FRP é constituído pela conjugação de fibras orgânicas ou inorgânicas agrupadas através de uma resina (poliésteres, vinil ou epóxi) termoendurecível ou termoplástica, formando assim a matriz polimérica. O compósito de FRP tem ainda cargas de enchimento, designadas por “fillers”, podendo também conter aditivos, tais como, agentes catalisadores ou aceleradores.” (BOTO, T.A.P.M., 2015 p.105.)

Ainda segundo o autor, as fibras mais utilizadas são: vidro, carbono e poliamide aromática (aramida), assinaladas internacionalmente por: GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer), CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) e AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer).

Segundo Souza e Ripper (1998), a aplicação das fibras exige um certo cuidado, e o processo de execução do reforço se divide em duas etapas: a de preparação da superfície e a de aplicação da fibra.

Ainda segundo o autor, a superfície de concreto é cuidadosamente trabalhada, através da esmerilhagem. Não se pretende conseguir o efeito do apicotamento, como é requerido na aplicação de chapas e perfis metálicos, mas simplesmente remover sujeiras e a fina camada de nata de cimento. Concluída a etapa da esmerilhagem, imediatamente é aplicado o primer, que tem função de garantir plena adesão da fibra.

Após uma hora da aplicação do primer, segundo Souza e Ripper (1998), deverão ser aplicados, a resina de colagem, a folha flexível de fibras (cortada previamente na medida do reforço) e a camada final de resina de recobrimento das fibras, sendo removidos eventuais excessos de resina. O autor define ainda, que para efeitos de dimensionamento, o cálculo da área de CFRP necessária para o reforço de vigas à flexão, podem ser feitos à semelhança de outros sistemas, como o de colagem de chapas metálicas.

Tabela 1 - Principais vantagens e desvantagens das fibras FRP

Tipo de Fibra	Vantagens	Desvantagens
Carbono (CFRP)	Grande resistência à tração, compressão e fadiga	Sensibilidade ao choque e abrasão
	Grande resistência a temperaturas elevadas e à ação de agentes químicos	Corrosão do tipo galvânico
	Boa condutividade térmica e elétrica	Cerca de dez vezes mais cara do que as fibras de vidro (GFRP)
	Imune à corrosão	
Vidro (GFRP)	Grande resistência à temperatura	Muito suscetível a choques e danos
	Boa aderência à matriz polimérica	Características mecânicas inferiores a CFRP e AFRP
	Transparente	Maior peso específico
	Boa relação qualidade/preço	
Aramida (AFRP)	Baixa densidade	Baixa resistência à compressão
	Elevada resistência à tração	Sensibilidade à fluência, e ação dos raios ultra violetas
	Boa resistência ao choque, desgaste e vibrações	Dificuldade de moldagem
	Boa resistência a altas temperaturas e a químicos	Absorção de humidade

Fonte: Álvaro Sousa 2008 apud BOTO, T.A.P.M., 2015, p.112.

4.4 Considerações de cálculo e projeto

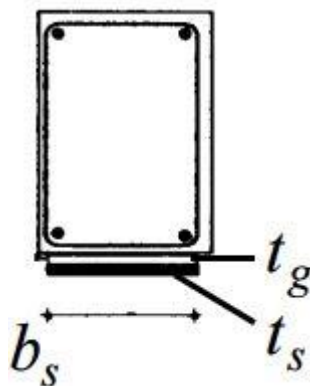
Segundo Appleton e Gomes (2011), os parâmetros de cálculo e dimensionamento devem seguir o método simplificado de coeficientes globais, acertando os resultados por um coeficiente de monolitismo $\gamma_{n,R} \leq 1.0$

Ainda segundo o autor, para o dimensionamento de vigas, devemos assumir:

- Coeficiente monolitismo flexão: $\gamma_{n,M}=1.0$
- Coeficiente monolitismo esforço cortante: $\gamma_{n,V}=0.9$
- Comportamento monolítico: aderência perfeita

Requisitos geométricos para reforço à flexão, sem e com buchas metálicas:

Figura 3 - Reforço à flexão sem buxa



Fonte: Appleton e Gomes (2011)

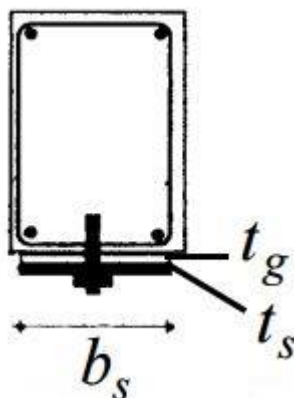
Para o reforço sem a utilização de buchas, segundo o autor:

$b_s \geq 50\text{mm}$ – Largura da chapa de reforço

$t_g \leq 2\text{mm}$ – Espessura da resina de colagem

$t_s \leq 4\text{mm}$ – Espessura da chapa de colagem

Figura 4 - Reforço à flexão com a utilização de buchas



Fonte: Appleton e Gomes (2011)

Para o reforço sem a utilização de buchas, segundo o autor:

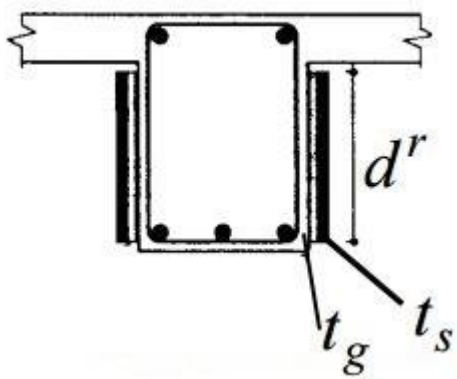
$b_s \geq 80\text{mm}$ – Largura da chapa de reforço

$t_g \leq 2\text{mm}$ – Espessura da resina de colagem

$t_s \leq 12\text{mm}$ – Espessura da chapa de colagem

Reforço ao esforço cortante, com e sem buchas metálicas:

Figura 5 - Reforço ao esforço cortante sem bucha metálica



Fonte: Appleton e Gomes, (2011)

Para o reforço ao esforço cortante, sem a utilização de buchas, segundo o autor

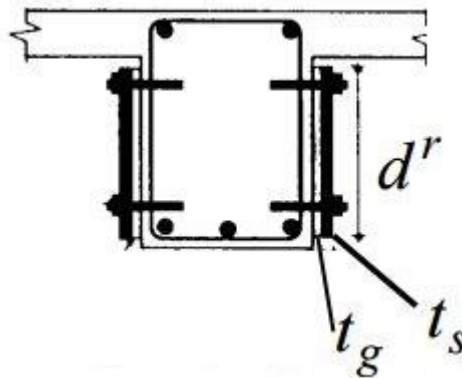
$d_r \geq 100 t_s$ – Largura da chapa de reforço cortante

$t_g \leq 2\text{mm}$ – Espessura da resina de colagem

$t_s \leq 3\text{mm}$ – Espessura da chapa de colagem

Reforço ao esforço cortante, com a utilização de buchas metálicas:

Figura 6 - Reforço ao esforço cortante com buchas metálicas



Fonte: Appleton e Gomes, (2011)

Para o reforço ao esforço cortante, com a utilização de buchas, segundo o autor

$d^r \geq 100 t_s$ – Largura da chapa de reforço cortante

$t_g \leq 2\text{mm}$ – Espessura da resina de colagem

$t_s \leq 8\text{mm}$ – Espessura da chapa de colagem

Appleton e Gomes (2011) definem então o cálculo do momento resistente, semelhante ao do concreto armado:

$$M_{rd} = A_s^{eq} z^{eq} f_{syd}^i = A_s^i f_{syd}^i + A_s^r f_{syd}^r \quad (1)$$

A_s^{eq} = Área de aço equivalente

f_{syd}^i = resistência de cálculo da armadura equivalente

Cálculo da armadura de reforço:

Assumindo $z=0,9d$

$$M_{rd} = A_s^{eq} 0,9d^{eq} f_{syd}^i = f_{syd}^i (A_s^i 0,9d^i + A_s^r 0,9d^r \frac{f_{syd}^r}{f_{syd}^i}) \quad (2)$$

Armadura de reforço:

$$A_s^r = \frac{f_{syd}^i}{f_{syd}^r} \left(A_s^{eq} \frac{d^{eq}}{d^r} - A_s^i \frac{d^i}{d^r} \right) \quad (3)$$

Verificação de segurança da ligação aço/concreto:

Para a verificação da segurança em relação à aderência Appleton e Gomes (2011) destacam que não existem indicações normativas, e com base nos experimentos realizados, propõe-se os critérios:

Ligação sem buchas metálicas:

$$F_{sd} = A_s^r f_{syd}^r \leq \tau_{sd} b \frac{L}{2} \quad (4)$$

Sendo: $\tau_{sd} \begin{cases} f_{ct,min} \\ 2MPa \end{cases}$

Ligação com buchas metálicas:

$$F_{sd} = A_s^r f_{syd}^r \leq nF_b + \gamma \tau_{sd} b \frac{L}{2} \quad (5)$$

$$\tau_{sd} \approx 0,5 MPa$$

Cálculo do reforço ao esforço transversal:

$$V_{sd} \leq V_{rd}^{max} = \tau_2 b_w d_i$$

$$V_{sd} \leq V_{rd} = V_{cd} + V_{wd}$$

$$V_{cd} = \tau_1 b_w d_i$$

$$V_{wd} = \gamma_{n,v} \left(0,9 d^i \frac{A_{sw}^i}{s} f_{syd}^i + 0,9 d^r \frac{A_{sw}^r}{s} f_{syd}^r \right) \quad (6)$$

4.5 Pesquisas realizadas

Cardoso, Appleton, Dos Santos(2004), implementaram um estudo experimental sobre encamisamento localizado de pilares. As principais variáveis estudadas foram: o nível de dano, o material utilizado e a comparação da eficiência técnica.

Segundo os autores, o estudo experimental consistiu em um programa de ensaios em um conjunto de pilares amostra. A forma da seção adotada foi de 0,3x0,3m. Para a aplicação das cargas foi adotada uma imposição de deslocamentos cíclica e amplitude de deslocamentos simétricas, e com esse sistema, permitiu-se uma maior aproximação da realidade das intervenções de reparo.

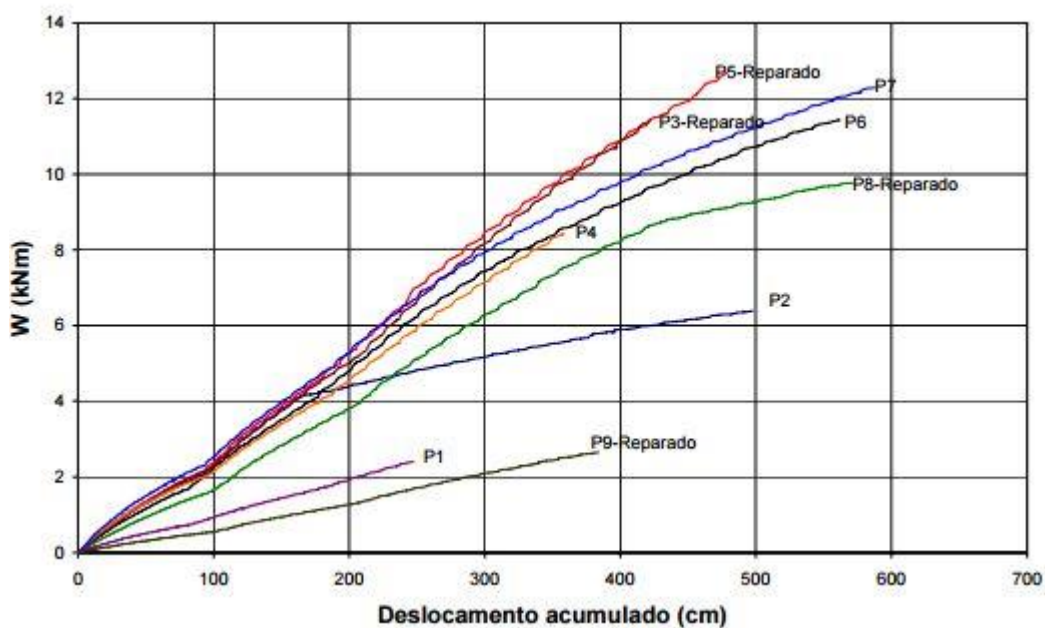
No estudo, foram utilizados nove pilares, conforme a tabela abaixo:

Tabela 2 - Pilares e suas intervenções

Sem encamisamento		Encamisamento metálico com chapas de aço		Encamisamento com manta de fibra de carbono	
Sem intervenção	Com dano e aumento das cintas	Sem dano	Com dano	Sem dano	Com dano
P1	P9	P2	P5	P4	P3
-	-	P6	P8	P7	-

Fonte: Antonio Cardoso, Júlio Appleton, S. Pompeu dos Santos(2004)

Segundo os autores, o pilar de referência foi o pilar 1, e o pilar 9 foi submetido a um dano prévio e posteriormente reforçado com cintas complementares. Foram instalados extensômetros e seis transdutores para medir rotação em três seções do pilar. A comparação dos resultados foi a forma de avaliação das eficiências dos reforços, e na figura abaixo apresenta-se a energia dissipada até a ruptura de cada pilar:

Figura 7 - Resultados obtidos na pesquisa

Fonte: Antonio Cardoso, Júlio Appleton, S. Pompeu dos Santos(2004)

De acordo com os autores, o estudo confirma a possibilidade de utilização das técnicas de reforço, as mesmas se mostraram bastante eficazes, independente do material utilizado. No caso de reforço com chapas de aço, os autores concluem que o espaço entre as chapas e o concreto seja o menor possível.

Buchaim (1998) estudou as tensões de cisalhamento atuante no concreto, o autor cita que o concreto que compõe cada biela diagonal sofre deslocamentos relativos paralela e ortogonalmente à direção definida por θ . Deslocamentos estes que são relativos entre duas bielas vizinhas, e os mesmos causam o aparecimento de tensões tangenciais e normal nas faces das fissuras conforme figura 08.

Conforme Vecchio e Collins apud Buchaim (1998), o mecanismo foi investigado experimentalmente e foi estabelecido uma lei que une entre si a tensão tangencial τ_r , a tensão normal σ_r originadas pelo engrenamento, e o deslocamento w (abertura da fissura), através da eliminação do deslizamento relativo v entre duas bielas sucessivas. A lei é dada pela seguinte equação:

$$\tau_r = 0,18\tau_{max} - 1,64\sigma_r = 0,82\sigma_r^2 / \tau_{max} \quad (7)$$

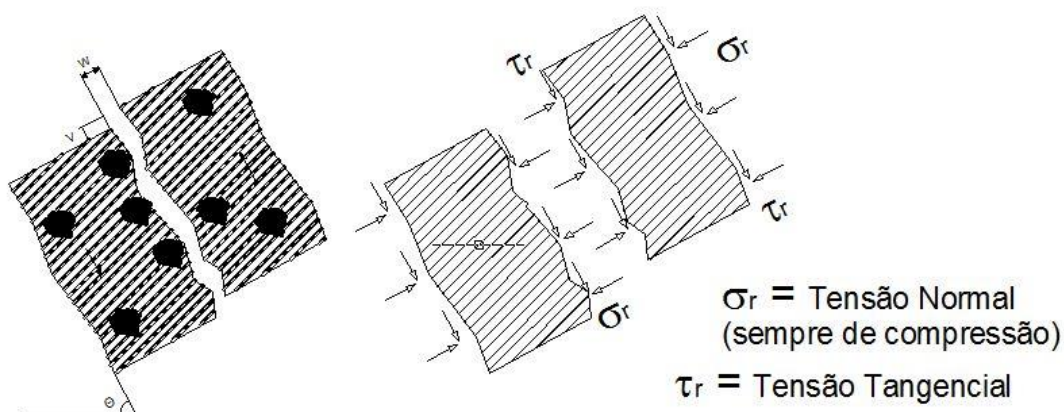
Onde, em MPa e mm:

$$\tau_{max} = (fck)^{0,5} \left[0,31 + \frac{24wm}{a+16} \right] \quad (8)$$

wm = valor médio da abertura da fissura inclinada

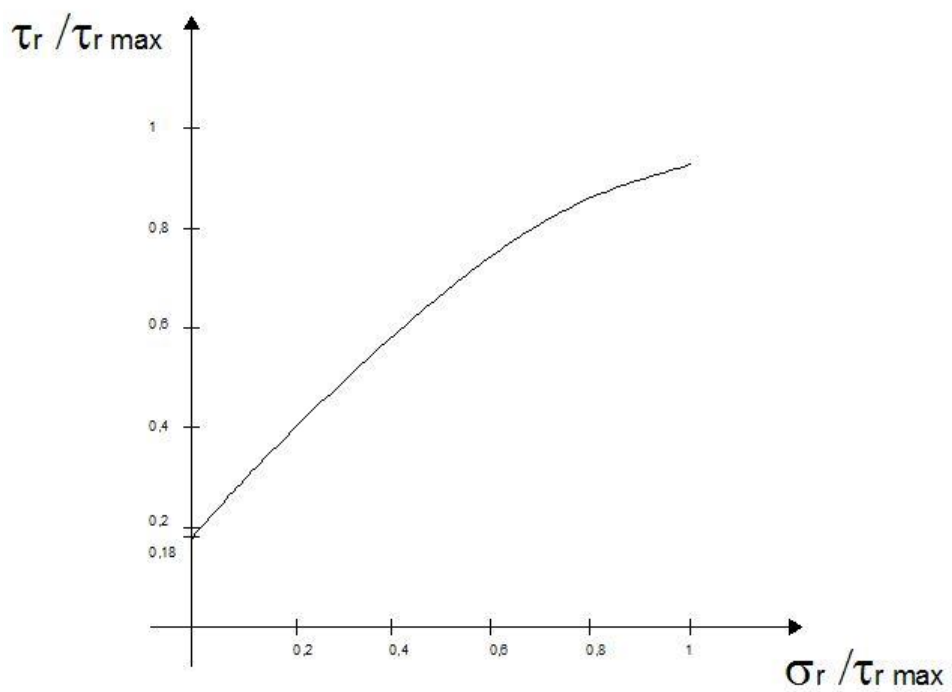
a = diâmetro máximo do agregado graúdo.

Figura 8 - Engrenamento ao longo da fissura



Fonte: Buchaim (1998), adaptado pelo autor

Figura 9 - Relação entre as tensões tangencial e normal devido ao engrenamento



Fonte: Buchaim, R. (1998), adaptado pelo autor

5. Metodologia

Primeiramente, iniciou-se o trabalho com o referencial teórico, analisando as propriedades dos materiais de reforço e verificando um método para analisar a aderência no cisalhamento entre superfícies de concreto e entre superfícies de aço e concreto, utilizando resina epóxi para reforço estrutural.

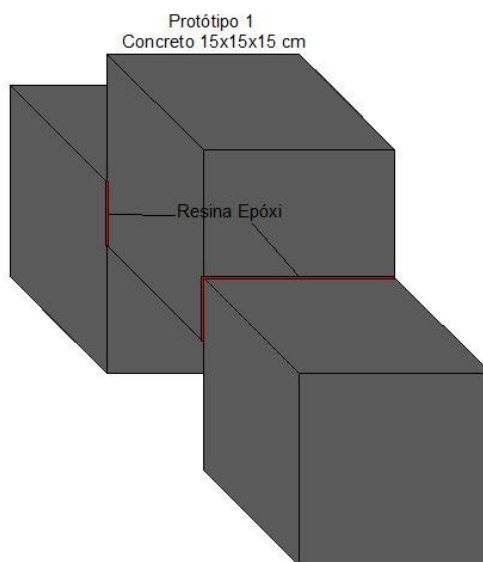
Os procedimentos desse trabalho visam obter resultados de cisalhamento direto (puro), diferente de inúmeros estudos em que o cisalhamento é estudado de maneira diferente, sofrendo influências como, por exemplo, do atrito.

Posteriormente, foi realizada análise experimental em 9 protótipos de concreto (3 de cada resistência), colados entre eles, de forma que pudessem ser ensaiados chegando na ruptura por cisalhamento. Também foram moldados 9 protótipos de concreto para colagem de chapas de aço e análise de cisalhamento. Para efeitos de comparação, 3 moldes de concreto (testemunhos), sendo um de cada resistência, foram moldados em formato idêntico aos protótipos que foram colados entre si, para efeitos de comparação e os resultados obtidos foram comparados com os valores sugeridos pela Norma NBR 6118:2014 e com modelos e cálculos apresentados na bibliografia estudada.

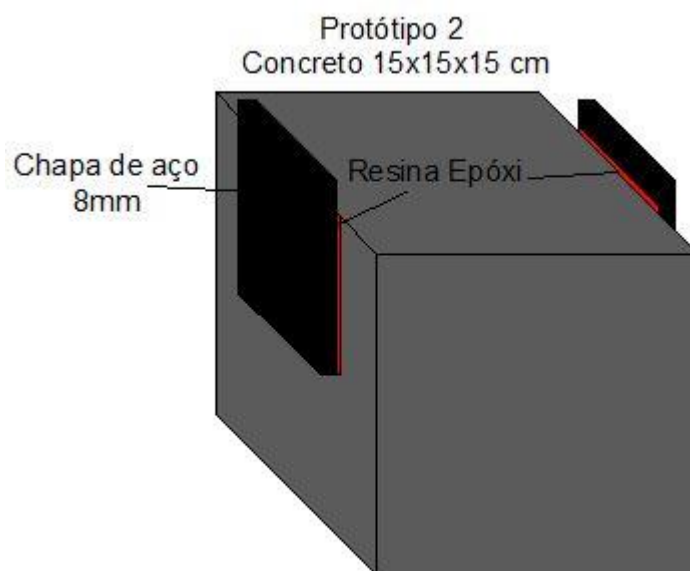
5.1. Programa experimental

5.1.1 Definição dos protótipos

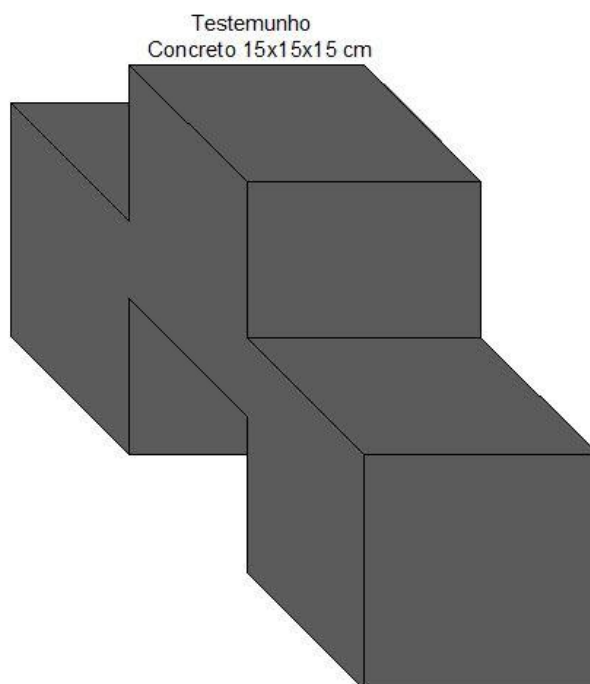
Os protótipos foram planejados respeitando as limitações do equipamento de ensaio, foram moldados 36 blocos de concreto, medindo 15x15x15(cm), sendo 12 blocos de cada resistência, e mais 3 protótipos (1 de cada resistência) denominados “testemunhos”. Após o término dos ensaios de cisalhamento, foi separado um protótipo de cada resistência com objetivo de realizar um ensaio complementar de arrancamento de barras (pull out test).

Figura 10 - Protótipo 1

Fonte: Autor, 2017

Figura 11 - Protótipo 2

Fonte: Autor, 2017

Figura 12 - Testemunho

Fonte: Autor, 2017

5.1.2 Confeção das formas

Para a confecção dos protótipos, primeiramente foi definido o material a ser utilizado nas formas para concretagem. Foi utilizado uma chapa de compensado resinado de espessura 0,015m. A montagem das formas foi feita em marcenaria, com objetivo de obter uma precisão milimétrica na geometria das mesmas, a fim de que não houvesse alteração nos resultados de um protótipo para outro. A montagem das formas foi executada com um pinador pneumático, utilizando pinos de 40mm.

Figura 13 – Montagem das Formas



Fonte: Autor, 2017

5.1.3 Caracterização dos materiais

- Cimento CPV ARI - Segundo a NBR 5733:1991, o cimento CPV ARI é um aglomerante hidráulico com características de alta resistência inicial, composto por clínquer Portland, silicatos de cálcio e sulfatos de cálcio. Sua alta resistência se dá pelo processo de moagem rigoroso, permitindo que os grãos, com uma granulometria muito baixa, ao entrarem em contato com água, atinjam maiores resistências em um curto período de tempo.
- Areia Média Natural – A norma NBR 7211:2009 classifica areia média natural como agregado miúdo, sendo que o mesmo deve passar pela peneira de 4,75mm e fica retido na peneira de 0,15mm de acordo com ABNT NBR NM 248, e as peneiras definidas de acordo com a ABNT NBR NM ISSO 3310-1.
- Brita 1 – De acordo com a NBR 7211:2009, a brita 1 é classificada como agregado graúdo, a mesma deve passar pela peneira de 19,00mm e ficar retida na peneira 9,5mm, conforme o item 3.2 da norma.

Optou-se então, pelo peneiramento da areia natural com a peneira de abertura 4,75mm, pois a mesma além de estar acondicionada ao ar livre, possuía muitas impurezas como pedriscos e folhas, que poderiam causar possíveis falhas de concretagem. Posteriormente foi feita análise do teor de umidade da mesma para não alterar o fator água/cimento do traço.

A brita 1 encontrava-se também acondicionada ao ar livre, conseqüentemente a mesma teve que ser lavada com água potável dentro de uma betoneira, até que todas as impurezas fossem removidas. Logo após, a mesma foi espalhada em cima de uma lona ao ar livre para que ocorresse a secagem, a fim de não alterar o fator água cimento do traço.

5.1.3.1 Concreto

Para a execução da concretagem, foram definidos três traços distintos de concreto, com objetivo de analisar o comportamento da aderência nas três situações. Para cada traço, foi solicitado 4 corpos de prova cilíndricos de tamanho 10x20cm, para determinar o f_c real do concreto no dia da execução dos ensaios.

Para a moldagem dos corpos de prova cilíndricos, primeiramente, com o auxílio de um pincel, foi passado óleo desmoldante nas formas, e após, as mesmas foram preenchidas com concreto, em três camadas, sendo executado a aplicação de 12 golpes por camada com uma haste metálica, para o adensamento do concreto, e posteriormente algumas batidas na lateral da forma metálica para a eliminação de vazios no concreto e por fim o nivelamento da superfície do concreto.

No dia seguinte a concretagem, os corpos de prova cilíndricos são desmoldados e identificados com número do traço, data, resultado do teste de abatimento de cone (slump test) e imersos em um recipiente com água e solução de hidróxido de cálcio para ocorrer a cura.

O ensaio de compressão cilíndrica dos corpos de provas ocorreu no mesmo dia dos ensaios de resistência ao cisalhamento, para não ocorrer divergências nos resultados, pois o concreto continua adquirindo resistência com o passar do tempo, e isso teria influência direta na análise dos resultados.

Os traços para execução dos ensaios foram os seguintes:

Tabela 3 - Traços de concreto utilizados

Traços de Concreto			
	Traço A	Traço B	Traço C
Cimento CPV ARI (Kg)	1	1	1
Areia Média Natural (Kg)	2,5	2,5	2,5
Brita 1 (Kg)	3,33	3,33	3,33
Água Potável (Litros)	0,63	0,58	0,52

Fonte: Autor, 2017

Foi utilizado Cimento CPV ARI em função do tempo disponível para realização dos ensaios, pois o mesmo possui características de alta resistência inicial, contribuindo então para a conclusão de todas as análises.

As resistências médias à compressão obtidas foram:

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
	TRAÇO C	TRAÇO B	TRAÇO A
CP1	30,19	24,74	22,49
CP2		22,58	21,87
CP3		23,31	22,94
CP4		24,11	23,13
fc,m	30,19	23,69	22,61

Para o traço C, foi ensaiado apenas um corpo de prova, pois os outros corpos de prova foram ensaiados antes do dia previsto para o ensaio.

5.1.3.2. Aço

A chapa de aço utilizado para a confecção dos protótipos foi uma chapa estrutural ASTM A36, de alta resistência, espessura de 8mm e largura de 75mm conforme a figura a seguir:

Figura 14 - Chapa de aço ASTM A36



Fonte: Autor, 2017

5.1.3.3. Adesivo Epóxi

Foi utilizada para a colagem dos protótipos o adesivo epóxi Skiadur 32®, que é uma resina estrutural, bi componente, de média viscosidade, pega normal, especialmente formulado para execução de reforços, como concreto velho ao concreto novo, ancoragens em geral, colagem de chapas de aço ao concreto, entre outros.

Figura 15 - Adesivo epóxi

Fonte: Autor, 2017

5.1.4 Programa experimental

Definidos os materiais a serem utilizados, deu-se continuidade para o programa experimental, sendo: concretagem, desforma, cura do concreto, desbaste do concreto na região aderente, desbaste das chapas de aço na região aderente, execução da colagem, cura da resina, capeamento dos protótipos e execução dos ensaios.

5.1.4.1 Concretagem

A execução da concretagem se deu em função do volume a ser utilizado nos blocos e nos 4CP solicitados para cada resistência. Como o volume de concreto para cada resistência era baixo, foi possível realizar a concretagem em uma betonada para cada resistência. Antes ainda da concretagem, todos os materiais foram pesados em uma balança digital.

Para a execução da concretagem, foi adicionado por primeiro na betoneira a brita 1 e logo após $\frac{1}{4}$ da água a ser utilizada no traço. Em seguida foi adicionada a areia natural, o cimento e, por último, o restante da água a ser utilizado no traço.

Logo após a homogeneização de todo o material, foi realizado o teste de abatimento de cone (slump test) respeitando um limite de abatimento de 140mm com tolerância de 20mm para mais ou para menos.

Após a verificação e aceitação do slump test, foi executada a concretagem dos blocos, testemunhos e CPs com o auxílio de uma colher de pedreiro, e para a remoção dos vazios do concreto foi utilizado um vibrador para concreto de alta frequência.

Figura 16 - Concretagem dos blocos



Fonte: Autor, 2017

5.1.4.2. Desmoldagem e cura

Um dia após a concretagem, os blocos e testemunhos foram desmoldados e permaneceram em descanso por 10 dias para que ocorresse a cura e, também, para que no dia em que fossem colados não houvesse mais umidade em suas superfícies.

5.1.4.3. Preparo das superfícies

Posteriormente os blocos foram preparados para a serem colados entre si. O preparo dos mesmos consistiu em criar uma rugosidade nas superfícies de acoragem, com a utilização de uma serra circular de mão com disco diamantado, removendo com cuidado somente a nata de cimento da superfície dos blocos, observando para não deixar as superfícies demasiadamente irregulares e não prejudicando a estrutura dos mesmos.

Figura 17 - Preparo das superfícies de concreto



Fonte: Autor, 2017

Após o preparo das superfícies de concreto, as superfícies das chapas de aço também foram submetidas a um processo para deixar suas superfícies rugosas. Para este processo foi utilizada uma esmerilhadeira de mão com disco de desbaste para metais, com a chapa de aço presa em uma morsa.

Figura 18 - Preparo das superfícies de aço



Fonte: Autor, 2017

Após o preparo das superfícies, as mesmas foram submetidas a jato de ar sob pressão para remover sujeiras e/ou poeiras e posteriormente limpas utilizando solvente para remover gorduras e impurezas.

5.1.4.4 Aplicação do adesivo epóxi

Para a confecção dos protótipos, foi utilizada a resina epóxi Sikadur 32®, que vem em duas embalagens contendo os componentes A e B que somam juntos 1 Kg de produto final, prontos para serem misturados em uma proporção de 1:2. Para a confecção dos protótipos, 1 Kg de produto iria gerar muita sobra, então optou-se por utilizar uma balança de precisão e pesar somente a quantidade necessária na mesma proporção de 1:2 para a execução da colagem.

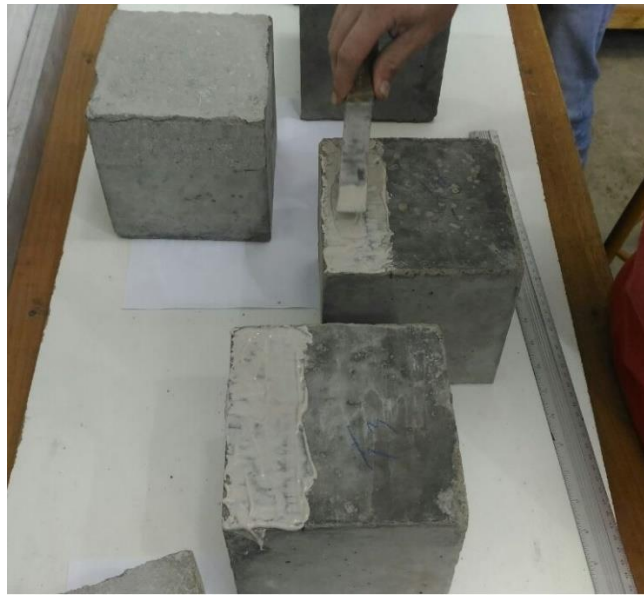
Figura 19 - Pesagem e mistura da resina



Fonte: Autor, 2017

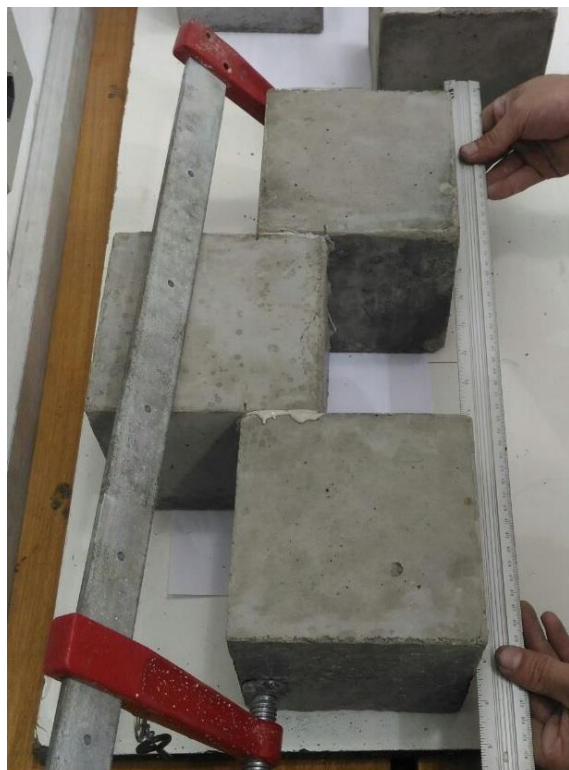
Após a mistura dos componentes, feita com uma espátula por um tempo, indicado pelo fabricante, de 5 minutos, foi executada a colagem dos protótipos, aplicando uma fina camada de resina com uma espátula nas superfícies de colagem, tomando muito cuidado para não ocorrer assimetrias nas colagens, cuidando para não exceder a espessura de cola ($<2\text{mm}$) e tomando cautela para não ultrapassar o pot-life da resina que é de 30 minutos. Após colado, o protótipo foi preso com grampo tipo sargento até a secagem da resina para não ocorrer a descolagem dos blocos enquanto a resina ainda estivesse fresca.

Figura 20 - Aplicação da resina no concreto



Fonte: Autor, 2017

Figura 21 – Protótipo Concreto/Concreto



Fonte: Autor, 2017

Simultaneamente, foi executado a colagem das chapas de aço ao concreto, tomando os mesmos cuidados citados anteriormente.

Figura 22 - Protótipo Aço/Concreto

Fonte: Autor, 2017

Posterior a colagem de todos os protótipos, após 3 dias de cura da resina, os protótipos foram capeados com argamassa no traço de 1:1, com a finalidade de corrigir possíveis imperfeições existentes nos mesmos. Então após o capeamento, foi aguardado a cura total da resina, que conforme o fabricante, é de 7 dias.

Figura 23 - Capeamento dos protótipos

Fonte: Autor, 2017

Após o término dessa etapa, e os 7 dias de cura da resina, os protótipos enfim estavam prontos para serem ensaiados.

5.1.5. Equipamento de ensaio

Os protótipos foram ensaiados na máquina universal de ensaios Emic DL 30000, que realiza ensaios de tração e compressão, e possui capacidade de carga de 300 KN (30.000 kgf). A mesma possui sistema auto travante e pré-carga por sistema pneumático.

Figura 24 - Máquina de ensaios



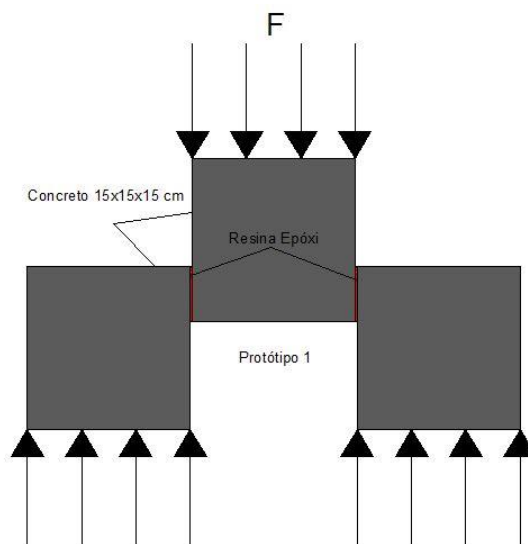
Fonte: Autor, 2017

5.1.6. Procedimentos de ensaio

Os protótipos foram posicionados de forma manual, de modo que a máquina aplicasse a carga exatamente no centro dos mesmos, fazendo com que a carga se dividisse igualmente para as superfícies que foram coladas. Portanto, a carga de ruptura a ser utilizada nos cálculos é a carga total dividido por dois. Na execução do ensaio, foi utilizado para a distribuição uniforme da carga, uma borracha de neoprene.

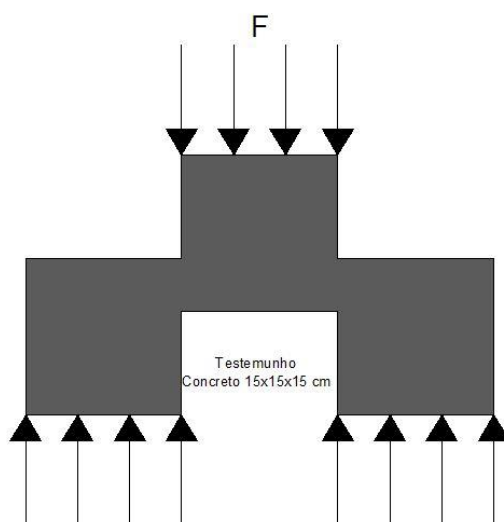
Para o caso do ensaio de cisalhamento aço/concreto foi utilizado um perfil metálico com a função de distribuir a carga igualmente para as duas chapas, conforme ilustrado na Figura 25.

Figura 25 - Método de ensaio do protótipo 1



Fonte: Autor, 2017

Figura 26 - Método de ensaio dos testemunhos



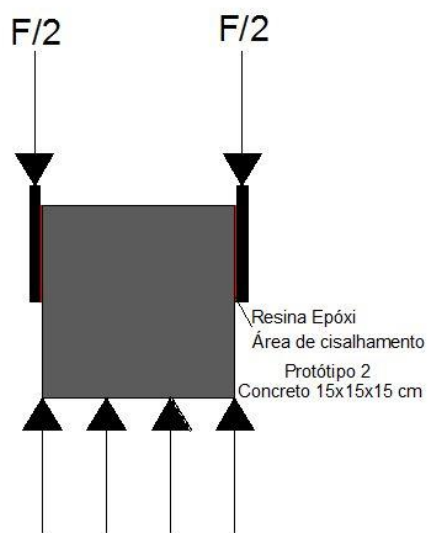
Fonte: Autor, 2017

Figura 27 – Protótipo1 posicionado na máquina

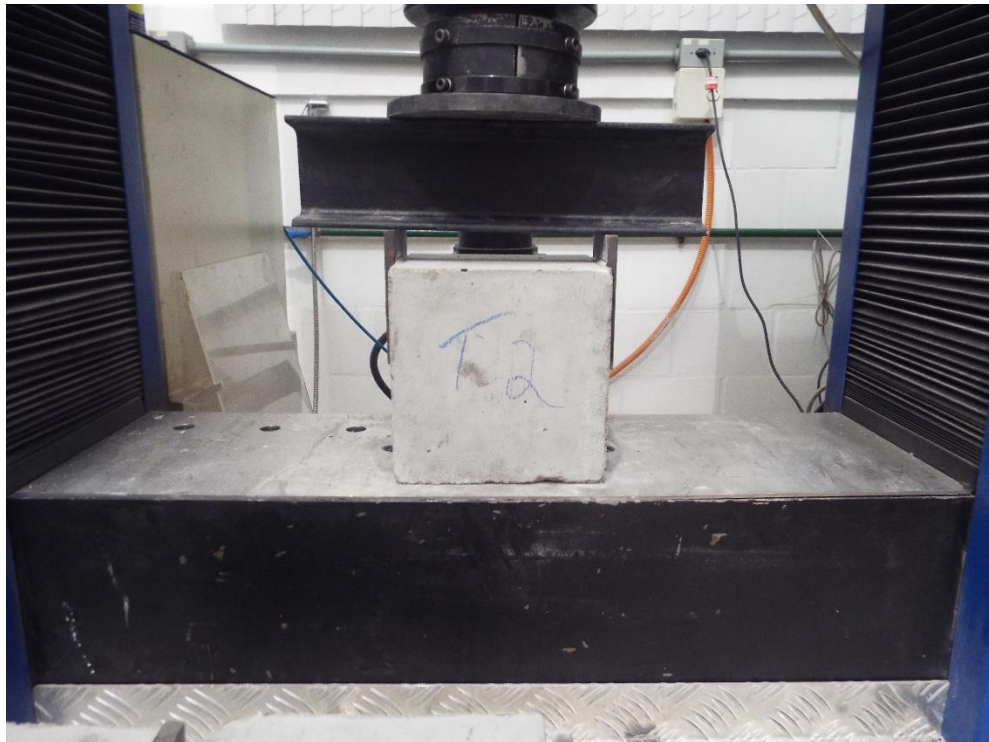


Fonte: Autor, 2017

Figura 28 -Método de ensaio do protótipo 2



Fonte: Autor, 2017

Figura 29 - Protótipo 2 posicionado na máquina

Fonte: Autor, 2017

5.2. Parâmetros teóricos para comparação

Branco (2011) destaca que o dimensionamento da zona de ancoragem, pela recomendação da CEB, em chapas coladas em toda a sua extensão, seja:

$$\tau_x = \frac{f_{ctm}(flexão)}{\gamma_m} = \frac{f_{ctm}(flexão)}{1.5} \quad (9)$$

Shehata, et al. (2007) analisaram o esforço cortante em chaves de cisalhamento pré-moldadas de pontes. Os autores moldaram corpos de provas com o objetivo de analisar o cisalhamento nos protótipos. Foram moldados 7 protótipos com geometria similar aos protótipos ensaiados neste trabalho, sendo seis de concreto armado e um somente de concreto. A resistência à compressão do concreto foi de 36 MPa. Após os ensaios dos protótipos, a resistência de adesão (cisalhamento) do protótipo de concreto foi de 2,2 MPa. Os resultados

então, foram comparados com a equação de cisalhamento especificada pela CEB-FIP MC90 (Comité Euro-International du Béton) (1991):

$$\tau_u = \mu \cdot \rho_t f_{yt} + \tau_0 \leq 0,25 \cdot f_c \quad (10)$$

Como não a parcela do aço é inexistente, obtém-se a seguinte equação:

$$\tau_u = \tau_0 \leq 0,25 \cdot f_c \quad (11)$$

Sendo:

$$\tau_0 = 0,2 \cdot f_c^{2/3} \quad (12)$$

Aplicando-se os valores na equação, o valor de tensão última de cisalhamento é 2,18 MPa para o concreto de resistência 36 MPa, e o valor resultante do ensaio foi de 2,2 MPa, acima do recomendado pela norma.

Appleton e Gomes (1997) realizaram ensaios para avaliar a capacidade de ligação aço/resina/concreto, com protótipos de concreto (cubos de 20cm) e duas chapas de aço coladas em faces opostas. O valor médio da tensão de aderência para cargas não cíclicas foi de 2,5MPa.

Fernandes (2011), em sua dissertação de mestrado, realizou um estudo da aderência de barras de aço coladas ao concreto com resina epóxi e concretadas junto aos protótipos. O autor executou quatro traços de concreto distintos, e ensaiou a aderência de barras de diâmetros, comprimento de aderência e espessura de resina epóxi distintos. Os valores da carga de ruptura para os ensaios sem resina, com barra de aço de 10mm e comprimento de ancoragem de 5 cm foram de 11,8 kN, 12,2 kN e 12 kN, para o traço de resistência à compressão de 21MPa, e o tipo de ruptura foi deslizamento.

Para o ensaio com espessura de resina de 1mm, os valores da carga de ruptura, para barras de 10mm e comprimento de ancoragem de 5cm, foram de 40,4 kN, 42kN e 48,8kN para o mesmo traço citado, com ruptura por fendilhamento.

Para o ensaio com espessura de resina de 2mm, traço de 17,9 MPa, os valores da carga de ruptura, para barras de 10mm e comprimento de ancoragem de 5cm, foram de 40 kN, 48,8 kN, 46,6 kN, com ruptura por fendilhamento.

A NBR 6118:2014, cita que a resistência de aderência de barras seja:

$$f_{bd} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot f_{ctd} \quad (13)$$

Sendo $\eta_1 = 2,25$ para barras nervuradas, $\eta_2 = 1$ (situação de boa aderência) e $\eta_3 = 1$ para barras com diâmetro inferior a 32mm. E o f_{ctd} definido pela equação:

$$f_{ctd} = \frac{0,7 \cdot 0,3}{\gamma_c} \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \quad (14)$$

6. Resultados

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos dos ensaios experimentais, de todos os protótipos e testemunhos assim como gráficos comparativos com as resistências e modelos de cálculo especificados pela Norma NBR 6118:2014.

6.1. Resultados experimentais

No dia em que foi realizado os ensaios com os protótipos e testemunhos, também foi realizado o ensaio de compressão cilíndrica com objetivo de saber a resistência a compressão de cada traço. Os traços foram divididos em: Traço A; Traço B e Traço C. O resultado da resistência a compressão média são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Resistências à compressão média

RESISTENCIA A COMPRESSÃO MÉDIA	
TRAÇO	$f_{c,m}$ (MPa)
TRAÇO A	22,6
TRAÇO B	23,68
TRAÇO C	30,19

Fonte: Autor, 2017

Logo em seguida, foram executados os ensaios de cisalhamento, sendo um protótipo testemunho, três protótipos de concreto/concreto e três protótipos aço/concreto, para cada traço.

Tabela 4 - Resistências ao cisalhamento dos testemunhos

RESISTENCIA AO CISALHAMENTO TESTEMUNHOS					
	$F_{c,m}$	ÁREA (cm ²)	F_u	$F_u/2$	τ_u
TRAÇO A	22,60	75	73822,5	36911,25	4,92
TRAÇO B	23,68	75	48253,4	24126,7	--
TRAÇO C	30,19	75	97706,2	48853,1	6,51

Fonte: Autor, 2017

Figura 30 - Rompimento do testemunho



Fonte: Autor, 2017

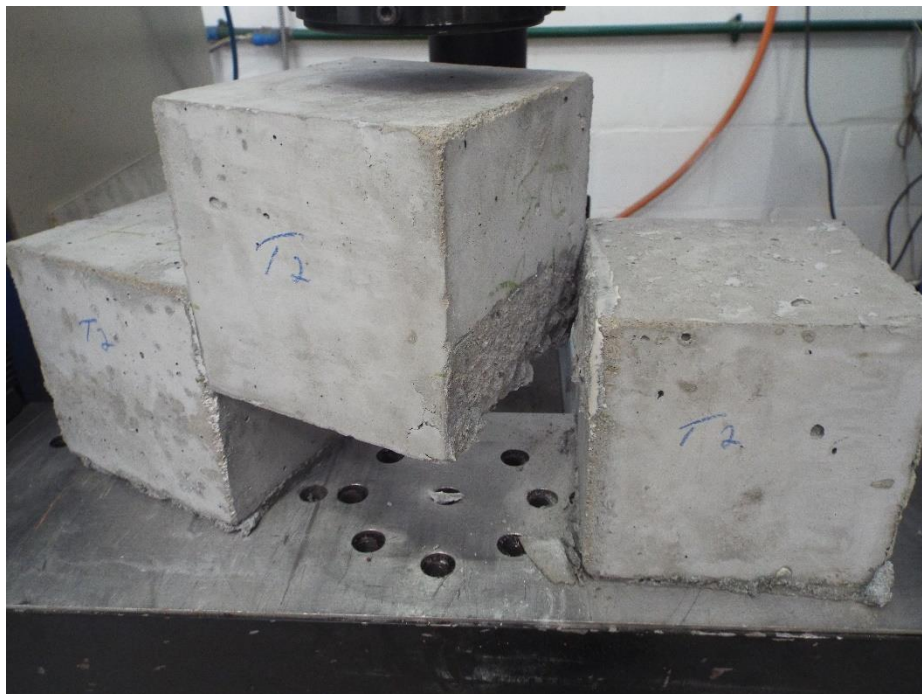
Na tabela a seguir, são apresentados os resultados dos ensaios realizados com os protótipos de concreto, verificando a tensão de cisalhamento entre superfícies de concreto.

Tabela 5 - Resistências ao cisalhamento interface de concreto c/ adesivo epóxi

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO INTERFACE DE CONCRETO C/ ADESIVO EPÓXI						
	ÁREA (cm ²)	F _u (N)	F _u /2 (N)	τ _u (MPa)	τ _{u,m} (MPa)	f _{c,m}
TRAÇO C CP1	75	41915,4	20957,7	2,79		
TRAÇO C CP2	75	35091,5	17545,75	2,33	2,63	30,19
TRAÇO C CP3	75	41677,6	20838,8	2,77		
TRAÇO B CP1	75	44769,1	22384,55	2,98		
TRAÇO B CP2	75	42432,4	21216,2	2,82	3,10	23,68
TRAÇO B CP3	75	52368,5	26184,25	3,49		
TRAÇO A CP1	75	33251,1	16625,55	2,21		
TRAÇO A CP2	75	82414,4	41207,2	5,49	3,22	22,60
TRAÇO A CP3	75	29260,2	14630,1	1,95		

Fonte: Autor, 2017

Figura 31 - Rompimento do protótipo 1 – interface de concreto com adesivo epóxi



Fonte: Autor, 2017

Abaixo, são apresentados os valores dos ensaios referentes aos protótipos de concreto, verificando a tensão cisalhante entre superfícies de aço e concreto.

Tabela 6 - Resistências ao cisalhamento interface Aço e Concreto c/ adesivo epóxi

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO INTERFACE AÇO E CONCRETO C/ ADESIVO EPÓXI						
	ÁREA (cm ²)	F _u (N)	F _u /2 (N)	τ _u (MPa)	τ _{u,m} (MPa)	f _{c,m}
TRAÇO C CP1	56,25	71372,1	35686,05	6,34	5,93	30,19
TRAÇO C CP2	56,25	60360,7	30180,35	5,36		
TRAÇO C CP3	56,25	68652,8	34326,4	6,10		
TRAÇO B CP1	56,25	53278,3	26639,15	4,73	4,69	23,68
TRAÇO B CP2	56,25	49700,9	24850,45	4,41		
TRAÇO B CP3	56,25	55501,3	27750,65	4,93		
TRAÇO A CP1	56,25	45865,1	22932,55	4,07	4,34	22,60
TRAÇO A CP2	56,25	57465,7	28732,85	5,10		
TRAÇO A CP3	56,25	43166,5	21583,25	3,83		

Fonte: Autor, 2017

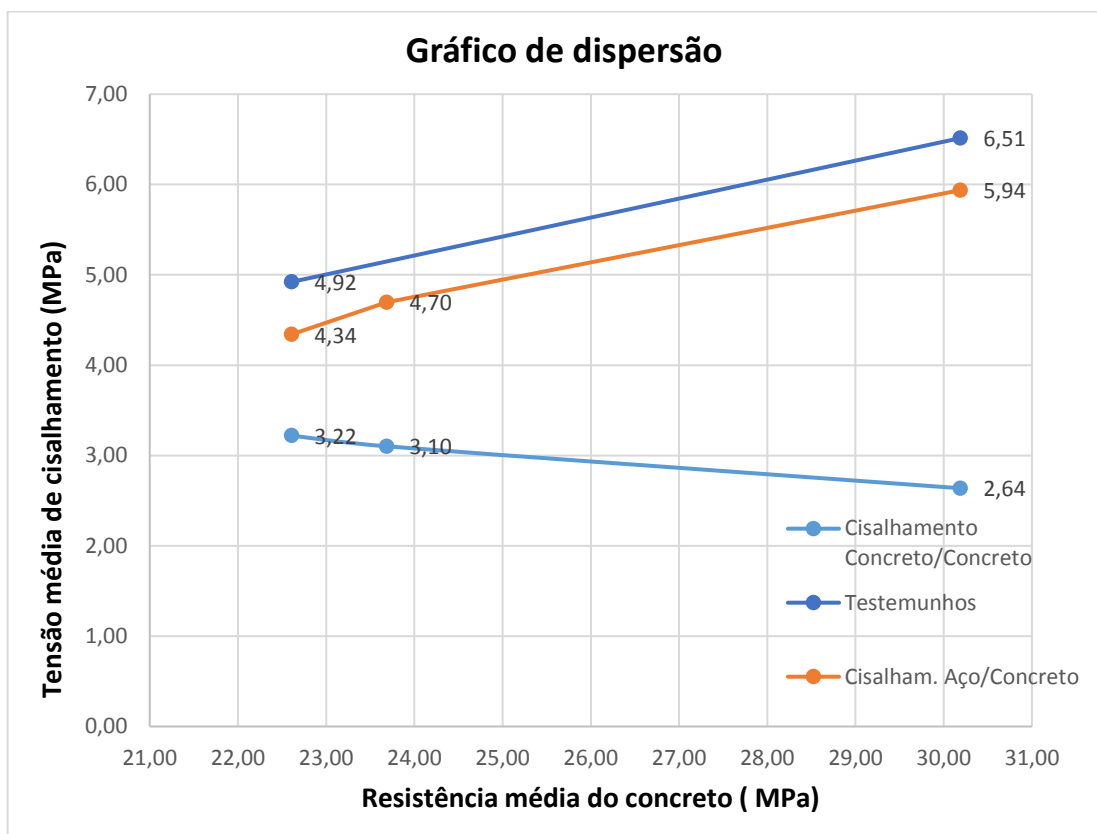
Figura 32 - Rompimento do protótipo 2 - entre aço e concreto com adesivo epóxi



Fonte: Autor, 2017

6.2. Síntese dos resultados

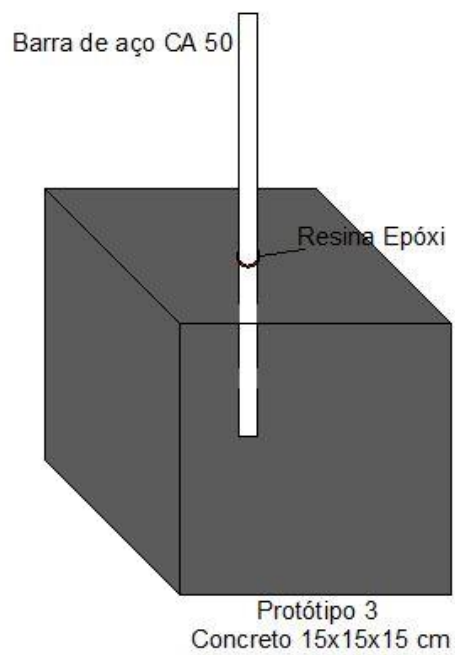
Para efeitos de comparação, foi elaborado um gráfico de dispersão onde o eixo “x” corresponde ao valor de resistência média do concreto (f_c , m), e o eixo “y” corresponde a tensão média de cisalhamento.

Gráfico 1 - Gráfico comparativo entre protótipos

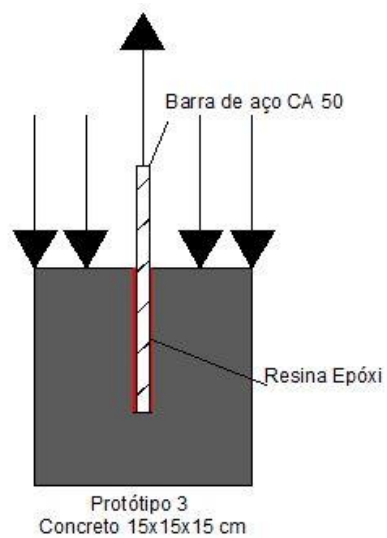
Fonte: Autor, 2017

6.3. Ensaios complementares

Após a realização de todos os ensaios, foi definido um ensaio complementar de arrancamento de barra, aproveitando os blocos de concreto confeccionados anteriormente. Para este ensaio, foi então definido o protótipo 3, conforme ilustrado na figura a seguir:

Figura 33 - Protótipo 3

Fonte: Autor, 2017

Figura 34 - Método de ensaio do protótipo 3

Fonte: Autor, 2017

Os ensaios foram realizados com um bloco de cada resistência, utilizando uma barra de diâmetro 10mm, a preparação dos blocos consistiu em realizar um furo com diâmetro de 12,5mm e comprimento 10ϕ , ou seja, 100mm. O comprimento de ancoragem utilizado foi de 5ϕ (50mm), e a parte superficial do corpo de prova (os primeiros 50mm) foi isolada para não ser região aderente para não ocorrer o deslocamento do concreto.

Figura 35 – Preparação do protótipo 3



Fonte: Autor, 2017

Figura 36 - Colagem dos protótipos



Fonte: Autor, 2017

Após a colagem e a espera de 7 dias para a cura da resina, foi realizado então os ensaios de arrancamento, e os resultados obtidos são apresentados na tabela 7:

Figura 37 - Ensaio de arrancamento



Fonte: Autor, 2017

6.4. Resultados dos ensaios complementares

Tabela 7 - Tensões de arrancamento de barras

Ensaio de arrancamento de barras				
	f_c (MPa)	F (kgf)	A. Perim. Contato (mm^2)	τ_b (MPa)
Traço A	22,61	2153,08	15,707	13,708
Traço B	23,69	2152,92	15,707	13,707
Traço C	30,19	3349,57	15,707	21,325

Fonte: Autor, 2017

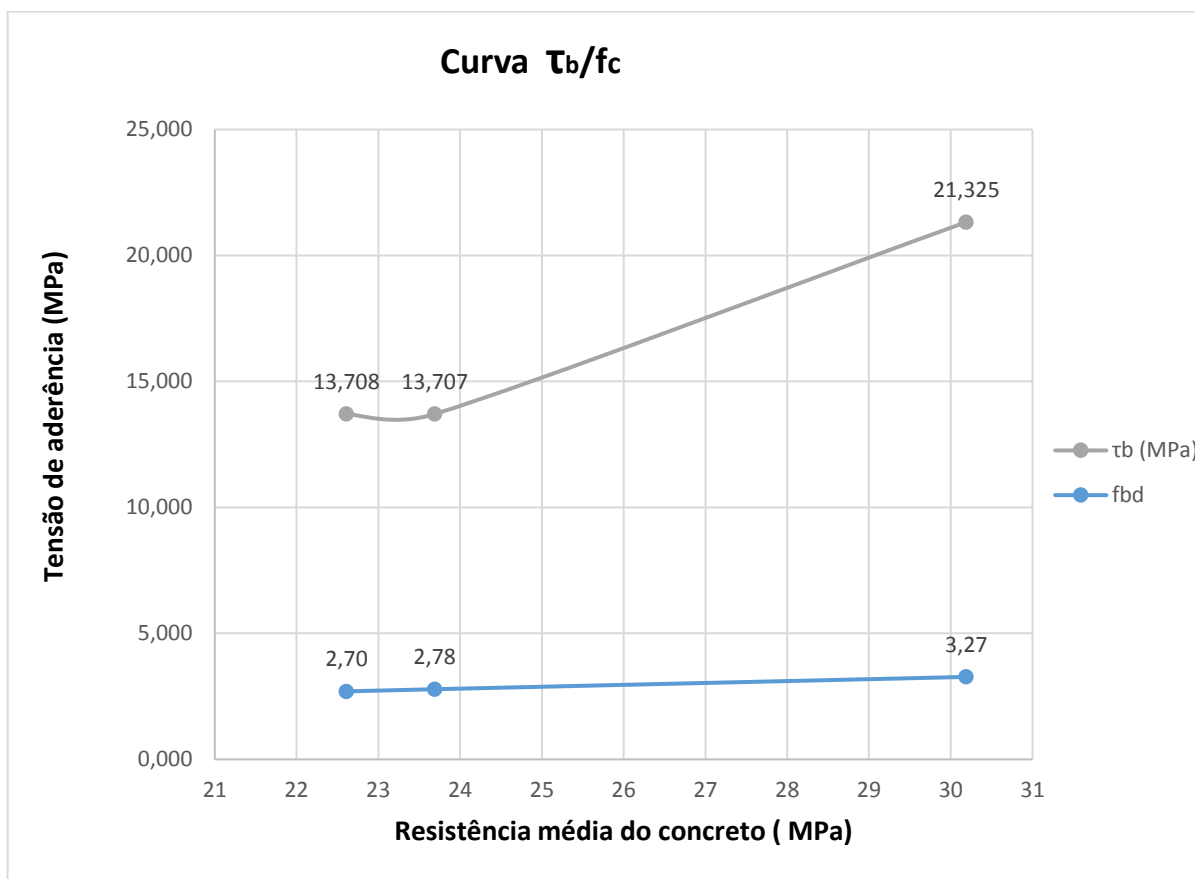
Para o Traço A e B, o modo de ruptura apenas de deslizamento da barra, já para o Traço C, houve o deslizamento da barra e uma abertura de fissura no bloco de concreto.

Figura 38 - Fissura no bloco



Fonte: Autor, 2017

Gráfico 2 - Curva tensão de cisalhamento/Resistência do concreto



Fonte: Autor, 2017

7. Análise dos resultados

A NBR 6118:2014 sugere que a resistência do concreto à tração média, para concretos de classe até C50 seja:

$$f_{ct,m} = 0,3(f_{ck})^{\frac{2}{3}} \quad (15)$$

Na ausência de ensaios para obter o valor da resistência do concreto à tração na flexão ($f_{ct,f}$) e a resistência do concreto à tração indireta ($f_{ct,sp}$), pode-se utilizar as seguintes equações:

$$f_{ctk,inf} = 0,7f_{ct,m} \quad (16)$$

$$f_{ctk,sup} = 1,3f_{ct,m} \quad (17)$$

7.1. Análise dos blocos de interfaces de concreto com adesivo epóxi

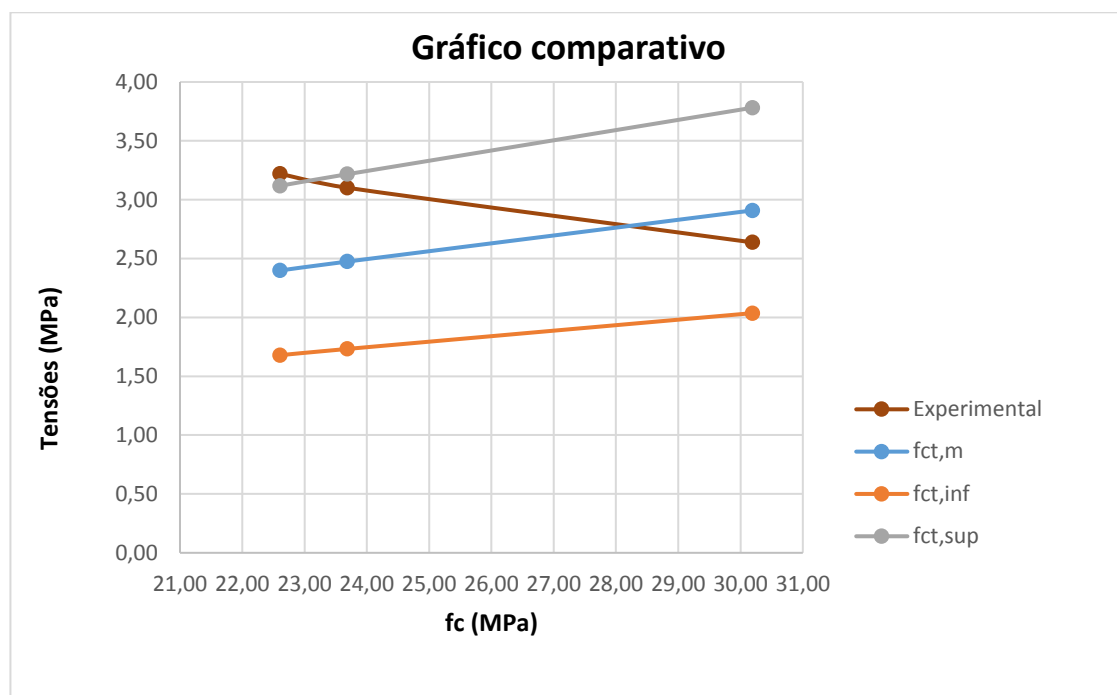
Para a realização da análise os valores foram inseridos na tabela para poderem ser comparados com os valores sugeridos pela norma, para os ensaios dos Protótipos 1 (aderência concreto/concreto) tem-se:

Tabela 8 - Comparativo interfaces de concreto c/ adesivo epóxi

EPÓXI INTERFACES DE CONCRETO C/ ADESIVO EPÓXI						
	fc	$\tau_{u,m}$ (MPa)	fct,m	fct,inf	fct,sup	$\tau_{u,m}/fct,inf$
TRAÇO A	22,61	3,22	2,40	1,68	3,12	1,92
TRAÇO B	23,69	3,10	2,47	1,73	3,22	1,79
TRAÇO C	30,19	2,64	2,91	2,04	3,78	1,30

Fonte: Autor, 2017

Gráfico 3 – Comparativo de tensões entre interfaces de concreto em função da resistência à compressão do concreto NBR 6118:2014



Fonte: Autor, 2017

Graficamente, pode-se analisar que a tensão média de cisalhamento é maior do que a resistência do concreto à tração inferior. Observa-se claramente que a medida que a resistência do concreto aumenta, a tensão de cisalhamento diminui, e isso pode ser atribuído aos poros e a rugosidade da superfície do concreto, pois um concreto com maior resistência possui a superfície menos rugosa e com menos poros, podendo ocorrer falha de aderência da resina. Para cada traço, foi observado um modo de ruptura diferente, conforme ilustrado na tabela 09:

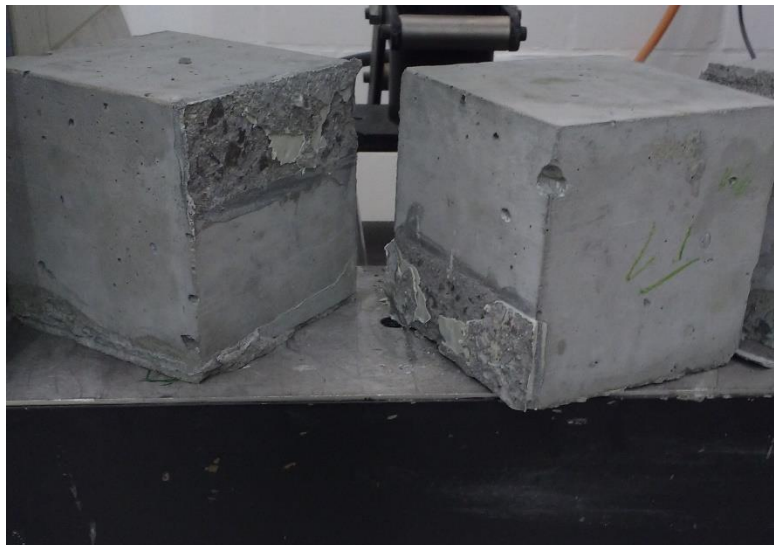
Tabela 9 - Modos de ruptura

TRAÇO A	Cisalhamento do Concreto
TRAÇO B	Cisalhamento do concreto com falha de aderência da resina
TRAÇO C	Falha de aderência da resina

Fonte: Autor, 2017

Para o Traço C (30,19 MPa) observou-se que a ruptura se deu em função da falha de aderência da resina ao concreto, ou seja, o concreto não chegou a romper por cisalhamento, o modo de ruptura evidencia a perda de aderência a medida que aumenta a resistência à compressão do concreto.

Figura 39 - Falha de aderência da resina no Traço C



Fonte: Autor, 2017

Para o Traço A e Traço B, observou-se que a ruptura se deu em função do cisalhamento do concreto, porém os valores observados se mostram superiores aos valores sugeridos pelas normas.

Figura 40 - Cisalhamento do concreto no Traço B



Fonte: Autor, 2017

Figura 41 - Cisalhamento do concreto no Traço A



Fonte: Autor, 2017

Na tabela 10 são apresentados os coeficientes de variação em relação as amostragens dos ensaios de aderência de interfaces de concreto com resina epóxi, e tensão de cisalhamento de cálculo:

Tabela 10 - Comparação entre as resistências concreto/concreto

Dados estatísticos da aderência concreto/concreto						
	f_c, m	τ_u (MPa)	$\tau_{u,m}$ (MPa)	τ_d (MPa)	Coef. Variação	$f_{ct, inf}$
TRAÇO C CP1	30,19	2,79	2,63	1,88	0,0753	2,04
TRAÇO C CP2		2,33				
TRAÇO C CP3		2,77				
TRAÇO B CP1	23,685	2,98	3,10	2,21	0,0837	1,73
TRAÇO B CP2		2,82				
TRAÇO B CP3		3,49				
TRAÇO A CP1	22,6075	2,21	3,22	2,30	0,4706	1,68
TRAÇO A CP2		5,49				
TRAÇO A CP3		1,95				

Fonte: Autor, 2017

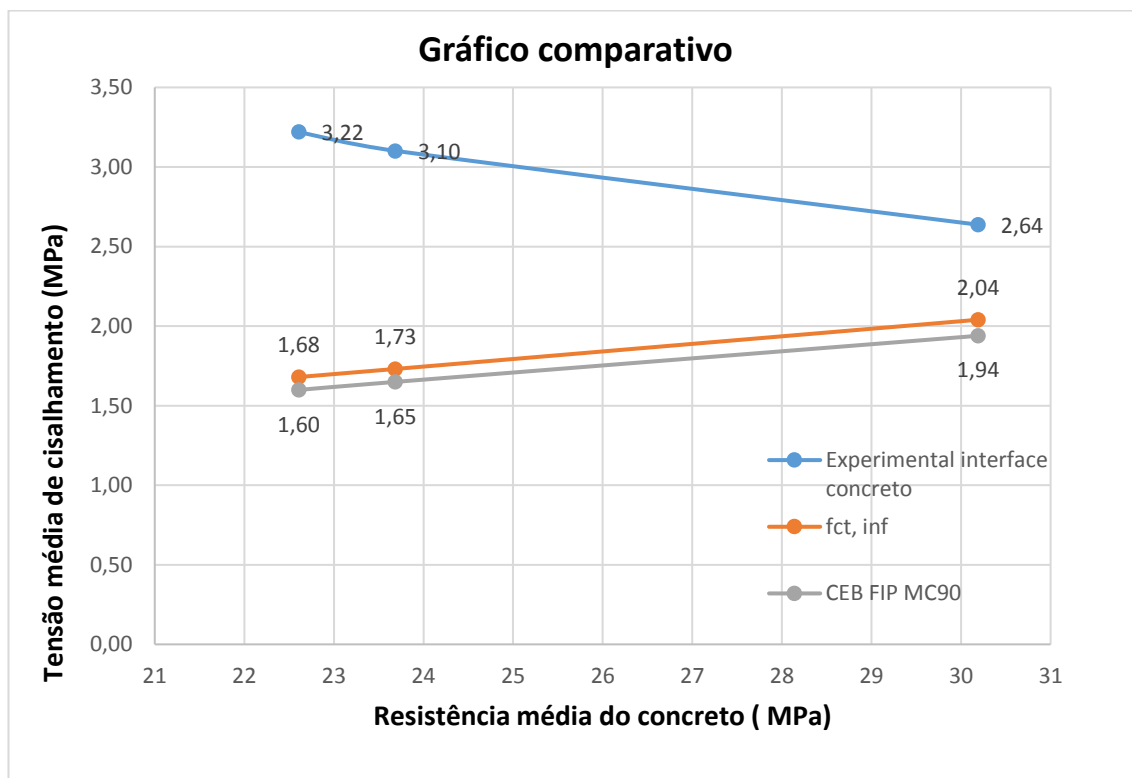
Na tabela 11, as tensões de cisalhamento foram comparadas com as tensões sugeridas pelos autores citados anteriormente (CEB FIP MC90), com os valores da NBR 6118:2014 e comparadas graficamente conforme o gráfico 4:

Tabela 11 - Comparação dos valores com as referências

Comparação dos valores de tensão de cisalhamento na interface de concreto com adesivo epóxi						
	fc, m	τ_u (MPa)	$\tau_{u,m}$ (MPa)	τ_d (MPa)	fct, inf	CEB FIP MC90
TRAÇO C CP1	30,19	2,79	2,64	1,88	2,04	1,94
TRAÇO C CP2		2,34				
TRAÇO C CP3		2,78				
TRAÇO B CP1	23,685	2,98	3,10	2,22	1,73	1,65
TRAÇO B CP2		2,83				
TRAÇO B CP3		3,49				
TRAÇO A CP1	22,6075	2,22	3,22	2,30	1,68	1,60
TRAÇO A CP2		5,49				
TRAÇO A CP3		1,95				

Fonte: Autor, 2017

Gráfico 4 - Gráfico comparativo com as referências



Fonte: Autor, 2017

7.2. Análise dos blocos de interfaces de concreto e aço com adesivo epóxi

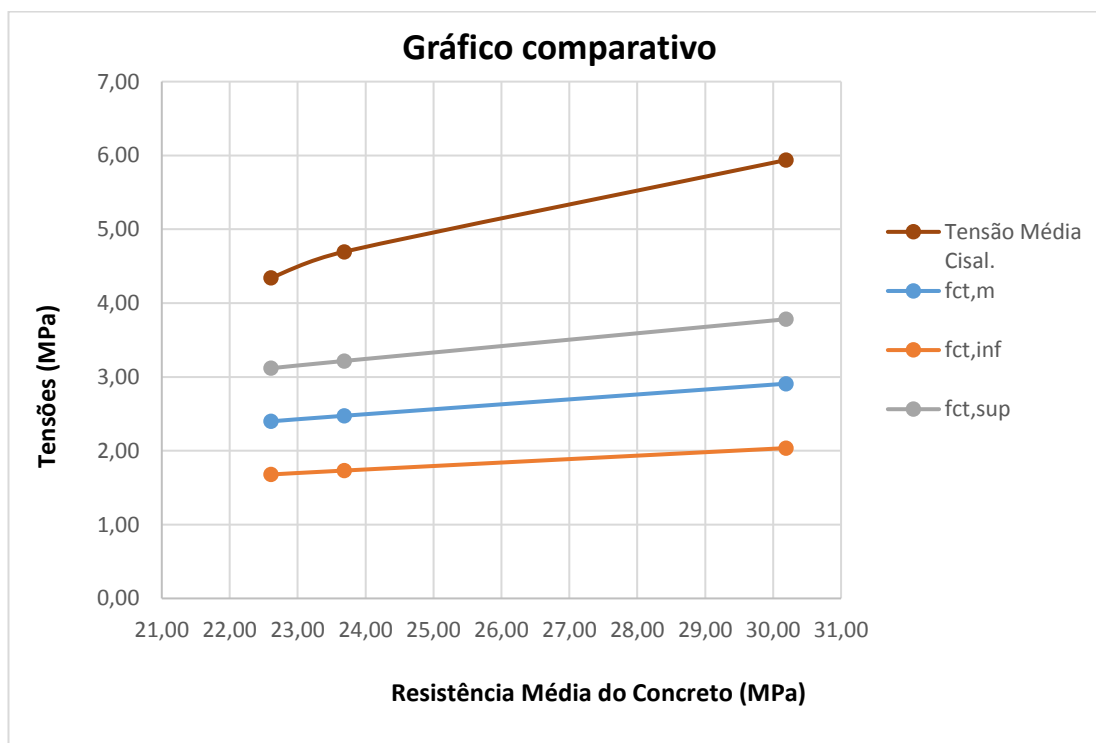
Para os protótipos em que foi analisado a resistência aço/concreto, os valores foram inseridos na tabela 12, e comparados com os valores sugeridos pela norma NBR 6118:2014, portanto, para fins de projeto, pode-se limitar em $f_{ct,inf}$.

Tabela 12- Comparativo Concreto/aço - NBR6118:2014

EPÓXI - CONCRETO/AÇO						
	f_c	Tensão Média Cisal.	$f_{ct,m}$	$f_{ct,inf}$	$f_{ct,sup}$	$\tau_{u,m} / f_{ct,m}$
TRAÇO A	22,61	4,34	2,40	1,68	3,12	1,80
TRAÇO B	23,69	4,70	2,47	1,73	3,22	1,89
TRAÇO C	30,19	5,94	2,91	2,04	3,78	2,04

Fonte: Autor, 2017

Gráfico 5 - gráfico comparativo cisalhamento concreto/aço - NBR 6118:2014



Fonte: Autor, 2017

O modo de ruptura para todos os protótipos foi o cisalhamento do concreto, de acordo com o gráfico, é possível observar que a medida em que a resistência do concreto aumenta, a tensão de cisalhamento aumenta simultaneamente. É possível observar ainda, que as tensões de cisalhamento são acima dos valores sugeridos pela NBR 6118:2014.

Figura 42 - Ruptura dos protótipos Aço/Concreto



Fonte: Autor, 2017

Na tabela 13, são apresentados os dados estatísticos em relação aos ensaios de aderência aço/concreto:

Tabela 13 - Dados estatístico aderência aço/concreto

Dados estatísticos da aderência aço/concreto						
	Fc, m	τ_u (MPa)	$\tau_{u,m}$ (MPa)	τ_d (MPa)	Coef. Variação	fct, inf
TRAÇO C CP1	30,19	6,34	5,94	4,24	0,0858	2,04
TRAÇO C CP2		5,36				
TRAÇO C CP3		6,10				
TRAÇO B CP1	23,68	4,73	4,70	3,35	0,0553	1,73
TRAÇO B CP2		4,41				
TRAÇO B CP3		4,93				
TRAÇO A CP1	22,60	4,07	4,34	3,1	0,1555	1,68
TRAÇO A CP2		5,10				
TRAÇO A CP3		3,83				

Fonte: Autor, 2017

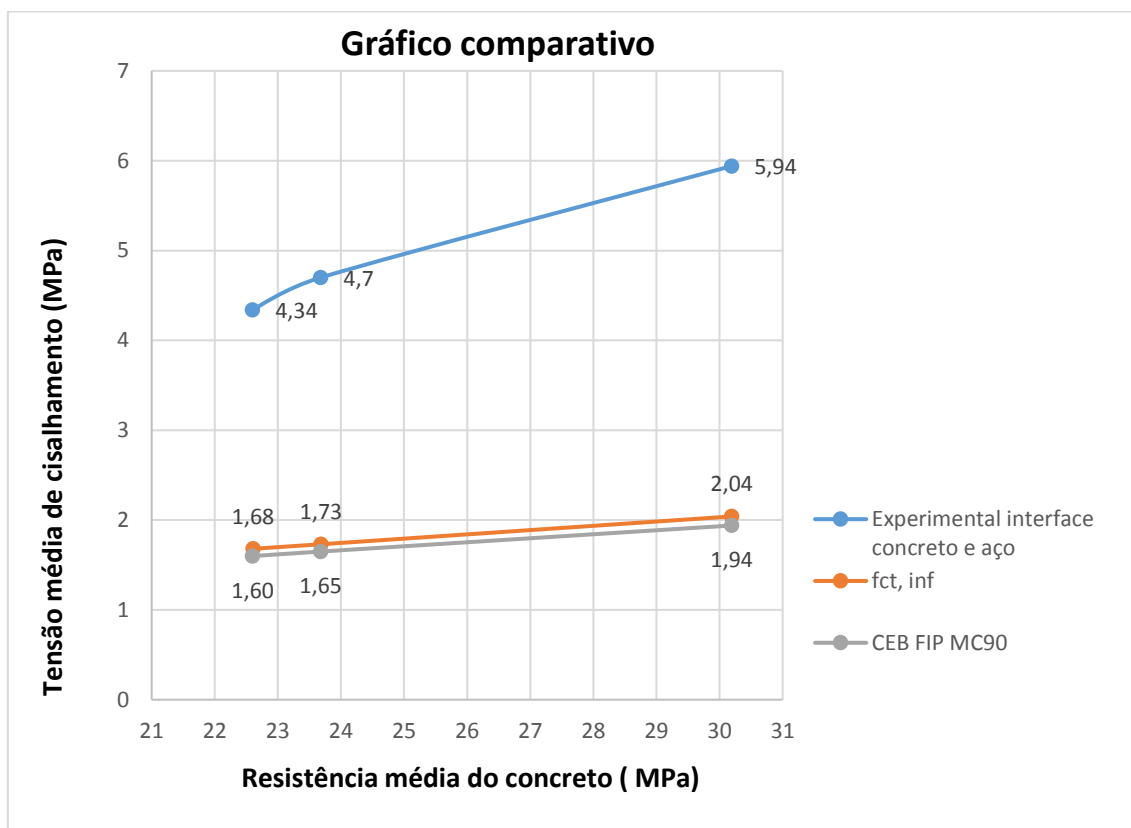
As tensões de cisalhamento foram comparadas com as tensões sugeridas pelos autores citados anteriormente (CEB FIP MC90), com os valores da NBR 6118:2014 e comparadas graficamente conforme o gráfico 6:

Tabela 14 - Comparação dos valores com as referências

Comparação dos valores da tensão de cisalhamento nas interfaces entre aço e concreto						
	Fc, m	τ_u (MPa)	$\tau_{u,m}$ (MPa)	τ_d (MPa)	fct, inf	CEB FIP MC90
TRAÇO C CP1	30,19	6,34	5,94	4,24	1,68	1,94
TRAÇO C CP2		5,36				
TRAÇO C CP3		6,1				
TRAÇO B CP1	23,68	4,73	4,7	3,35	1,73	1,65
TRAÇO B CP2		4,41				
TRAÇO B CP3		4,93				
TRAÇO A CP1	22,6	4,07	4,34	3,1	2,04	1,60
TRAÇO A CP2		5,1				
TRAÇO A CP3		3,83				

Fonte: Autor, 2017

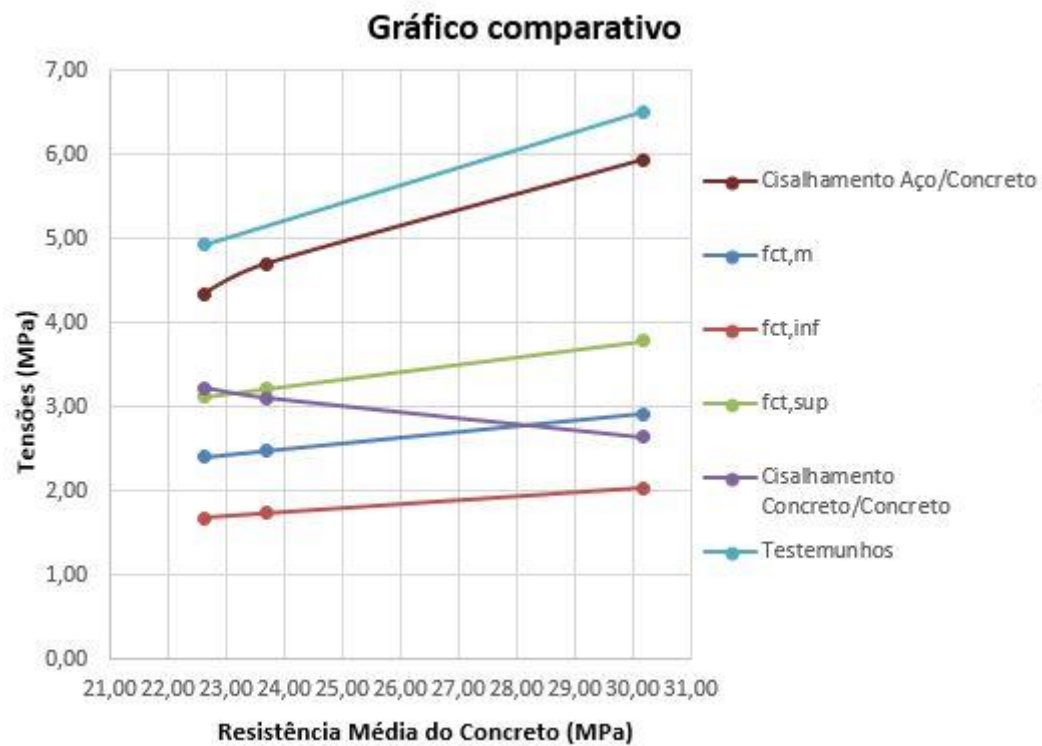
Gráfico 6 - Gráfico comparativo com as referências



Fonte: Autor, 2017

Com o baixo desvio padrão e coeficiente de variação das amostras, os ensaios mostram-se plausíveis estatisticamente e fica evidente que para fins de cálculo pode-se usar $f_{ct,inf}$ ou os valores sugeridos pela CEB FIP MC90. Para os ensaios com os testemunhos de concreto, num dos traços (Traço B) ocorreu falha na execução do ensaio, porém mesmo assim, foi possível realizar a análise graficamente dos ensaios, e compará-las com os resultados dos demais ensaios conforme o gráfico 5:

Gráfico 7 - Gráfico comparativo geral



Fonte: Autor, 2017

Conforme analisado graficamente, os valores de resistência ao cisalhamento são superiores aos valores sugeridos pela norma, fica claro também que na aderência entre superfícies de concreto, a resistência ao cisalhamento diminui enquanto a resistência do concreto aumenta.

8. Conclusão e considerações finais

O presente trabalho baseou-se em diversas análises teórico-experimentais, o mesmo buscou analisar a interação entre aço e concreto, concreto/concreto, focando na aderência ao cisalhamento e variando resistências de concreto.

O mesmo se mostrou muito importante, pois são escassas as informações relativas à cisalhamento na bibliografia e até nas normas brasileiras, baseado nisso, o presente trabalho buscou contribuir com informações relevantes para a comunidade científica, visto que com o crescimento exponencial da construção civil, os problemas relacionados a patologias e recuperação de estruturas crescem junto, e frente a isso, o profissional da construção civil necessita de conhecimento para solucioná-los.

Os resultados se mostraram significativamente superiores se comparados aos valores sugeridos pela bibliografia e pelas normas, portanto, é evidente que para os protótipos ensaiados nas interfaces de concreto e aço (protótipos 2) pode-se utilizar como limite para fins de cálculo de reforço, o $f_{ct,m}$ ou os valores sugeridos pela bibliografia, à favor da segurança

Para os protótipos em que foram ensaiados as interfaces entre concreto (protótipo 1), sugere-se utilizar para fins de cálculo de reforço, o $f_{ct,inf}$ ou os valores do CEB, à favor da segurança.

Os protótipos que foram ensaiados a ancoragem de barra reta com adesivo epóxi, sugere-se utilizar os valores de L_b , pois os valores ensaiados foram muito superiores.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante realizar os mesmos ensaios, variando as idades dos concretos e variando também a temperatura visto que adesivos epóxi perdem sua resistência com o aumento da temperatura.

9. REFERENCIAS

António Cardoso, Júlio Appleton, S. Pompeu dos Santos. ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA TÉCNICA DE ENCAMISAMENTO LOCALIZADO NA REPARAÇÃO OU REFORÇO DE PILARES DE BETÃO ARMADO COM RECURSO A CHAPAS DE AÇO OU MANTA DE FIBRAS DE CARBONO. In: Encontro Nacional Betão Estrutural. 8 f. 2004. Portugal.

Appleton, J. Gomes, A. Reforço de Estruturas de Betão Armado por Adição de Armaduras Exteriores. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas. Portugal, V. 1 (1997), n.41, P.15-20.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7211:2011: Agregados para Concreto: Especificação. Rio de Janeiro, 2009.

_____. NBR 5733:1991: Cimento Portland de Alta Resistência Inicial. Rio de Janeiro, 1991.

_____. NBR 6118:2014: Projeto de Estruturas de Concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.

BATTISTI, T. Análise Teórica e Experimental do Reforço à Flexão de Vigas de Concreto Armado Utilizando Chapas de Aço Coladas Com Resina Epóxi. Trabalho de conclusão de Curso. Engenharia Civil. UNISC. 2016.

BONIĆ, Z.; ĆURČIĆ, G. T.; ĆURČIĆ, M.; DAVIDOVIĆ, N.; VATIN, N. Some methods of protection of concrete and reinforcement of reinforced-concrete foundations exposed to environmental impacts. Procedia Engineering, Volume 117, 2015. P 419-430.

BOTO, T.A.P.M. ESTRATÉGIAS PARA INTERVENÇÕES DE REPARAÇÃO E REFORÇO EM ESTRUTURAS DE BETÃO ARMADO. 2015. 159 f. Mestrado em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Coimbra. Coimbra.2015. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/15113/1/Tiago-Madeira-Boto.pdf> . Acesso em: 23 nov de 2016.

BRANCO, F. G. Notas de aula. Mestrado em Engenharia Civil, 2011 / 2012.

BUCHAIM, ROBERTO.; Concreto armado e protendido: resistência à força cortante; teoria do campo de compressão, teoria modificada do campo de compressão, analogia da treliça modificada em vigas T –Londrina: Ed UEL, 1998.

CÁNOVAS, M.F.; Patologia e Terapia do Concreto Armado. 1ªEd. Pini, 1988.

FERNANDES, Dennis Videira.; Estudo da aderência de barras de aço coladas ao concreto com resina epóxi. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual do Rio de Janeiro. 2011.

HELENE, P.R.L.; Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto. 2ªed. São Paulo: Pini, 1992.

MACHADO, A.P.; Manual de Reforço das Estruturas de Cocreto Armado com Fibras de Carbono. VIAPOL. Disponível em: <http://www.viapol.com.br/media/97576/manual-fibra-de-carbono.pdf> >. Acesso em 31 out de 2016.

SOUZA E RIPPER. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto, Edição 1, 1998.

SHEHATA, I. A. E. M., SHEHATA, L. C. D., MENDONCA, E. C. G., " Strength of Shear Keys used in Pre-cast Prestressed Composite Beams". Materials and Structures. , v.1, p.1 - 24, 2009.