

UNIEVANGÉLICA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DIOGO ANTONIO CASTRO DE FARIA
THIAGO HENRIQUE MELO OLIVEIRA

ESTUDO DO GANHO DE RESISTÊNCIA EM PILARES COM
REFORÇO ESTRUTURAL EM PLACA METÁLICA, TELA
METÁLICA E AUMENTO DE SEÇÃO

ANÁPOLIS / GO

2020

**DIOGO ANTONIO CASTRO DE FARIA
THIAGO HENRIQUE MELO OLIVEIRA**

**ESTUDO DO GANHO DE RESISTÊNCIA EM PILARES COM
REFORÇO ESTRUTURAL EM PLACA METÁLICA, TELA
METÁLICA E AUMENTO DE SEÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA**

ORIENTADORA: WANESSA MESQUITA G. QUARESMA

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

FARIA, DIOGO ANTONIO CASTRO DE; OLIVEIRA, THIAGO HENRIQUE MELO

ESTUDO DO GANHO DE RESISTÊNCIA EM PILARES COM REFORÇO ESTRUTURAL EM PLACA METÁLICA, TELA METÁLICA E AUMENTO DE SEÇÃO

54P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2020).

TCC - UniEvangélica
Curso de Engenharia Civil.

1. Pilares	2. Reforço Estrutural
3. Resistência	4. Chapa Metálica
I. ENC/UNI	II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FARIA, DIOGO ANTONIO CASTRO DE; OLIVEIRA, THIAGO HENRIQUE MELO. ESTUDO DO GANHO DE RESISTÊNCIA EM PILARES COM REFORÇO ESTRUTURAL EM PLACA METÁLICA, TELA METÁLICA E AUMENTO DE SEÇÃO. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEvangélica, Anápolis, GO, 54p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Diogo Antonio Castro De Faria

Thiago Henrique Melo Oliveira

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo Do Ganho De Resistência Em Pilares Com Reforço Estrutural em Placa Metálica, Tela Metálica E Aumento De Seção

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEvangélica a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Diogo Antonio Castro De Faria

E-mail: diogocastro591@gmail.com

Thiago Henrique Melo Oliveira

Email: thiagovpsmelo@hotmail.com

**DIOGO ANTONIO CASTRO DE FARIA
THIAGO HENRIQUE MELO OLIVEIRA**

**ESTUDO DO GANHO DE RESISTÊNCIA EM PILARES COM
REFORÇO ESTRUTURAL EM PLACA METÁLICA, TELA
METÁLICA E AUMENTO DE SEÇÃO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

**WANESSA MESQUITA G. QUARESMA, Mestra (UniEvangélica)
(ORIENTADORA)**

**VANESSA HONORATO DOMINGOS, Mestra (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**CARLOS EDUARDO FERNANDES, Mestre (UniEvangélica)
(EXAMINADOR INTERNO)**

ANÁPOLIS/GO, 10 de dezembro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela resiliência que há em nós.

Aos meus pais Rosirley Maria Lemes de Castro e Antonio Carvalho de Faria pelo amor e carinho comigo, por terem caminhado ao meu lado nessa jornada, compartilhando comigo os meus sonhos. Obrigado por serem meu porto seguro (Diogo Antônio).

Aos meus pais Jane Maria de Melo e José Nilvan de Oliveira que não mediram esforços e comigo pelos meus ideais. Agradeço por serem minha base, minha referência (Thiago).

À nossa orientadora Wanessa Mesquita G. Quaresma, pelos seus ensinamentos e por dividido conosco experiências valorosas que serão para a vida toda.

Dedico este estudo aos meus pais Rosirley Maria Lemes de Castro e Antonio Carvalho de Faria (Diogo Antônio) e aos meus pais Jane Maria de Melo e José Nilvan de Oliveira (Thiago Henrique) como prova do nosso reconhecimento pelo incentivo, apoio e encorajamento em todos os momentos das nossas vidas, sobretudo, durante a realização do curso de Engenharia Civil.

À nossa orientadora Wanessa Mesquita G. Quaresma como prova da nossa gratidão pelos seus ensinamentos e pelas suas orientações, sem os quais não seria possível a concretização deste estudo.

A história não é mais do que a narração dos esforços empregados pelo homem para edificar um ideal e destruí-lo em seguida, quando, tendo-o atingido, descobre a sua fragilidade.

Gustave Le Bon

RESUMO

Com o passar do tempo, a arte da construção recebeu significativa contribuição da tecnologia e hoje dispõe de grande variedade de materiais. Desde as edificações mais simples até as mais complexas que exigem uma estrutura adequada, principalmente nos pilares que, com o tempo, podem começar a apresentar defeitos. Nesse contexto, o objetivo geral deste estudo foi comparar o ganho de resistência à compressão axial com a utilização de três diferentes tipos de reforços estruturais (placa metálica, tela metálica e aumento de seção). Trata-se de um estudo experimental e comparativo sobre o ganho de resistência dos corpos de prova confeccionados com concreto simples reforçados com placa metálica, tela metálica e aumento de seção. Os corpos de prova foram agrupados em quatro grupos: de controle, com reforço de tela metálica, com reforço com placa metálica e reforço por aumento da seção; a proposta inicial era a realização do teste de resistência com o tempo de cura do cimento igual a 28 dias, contudo, só foi realizado após 5 meses de moldagem dos corpos de prova e todos se romperam. Conclui-se que nenhum tipo de reforço impediu o rompimento do corpo de prova.

PALAVRAS-CHAVE: Pilares. Reforço Estrutural. Resistência a Compressão. Chapa Metálica.

ABSTRACT

Over time, the art of construction received a significant contribution from technology and today it has a wide variety of materials. From the simplest buildings to the most complex ones that require an adequate structure, mainly in the pillars that, with time, may start to show defects. In this context, the general objective of this study was to compare the gain in resistance to axial compression with the use of three different types of structural reinforcements (metal plate, wire mesh and increased section). This is an experimental and comparative study on the resistance gain of the specimens made with simple concrete reinforced with metal plate, wire mesh and increased section. The specimens were grouped into four groups: control, with metallic mesh reinforcement, with metallic plate reinforcement and reinforcement by increasing the section; the initial proposal was to carry out the resistance test, with the cement cure time equal to 28 days, however, it was only carried out after 5 months of molding of the specimens and all of them broke. It was concluded that no type of reinforcement prevented the rupture of the specimen.

KEYWORDS: Pillars. Structural Reinforcement. Resistance Strength. Sheet Metal.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comportamento da fissuração em corpos de provas em restrição e com restrição .	20
Figura 2 - Placa Metálica.....	25
Figura 3 - Estrutura da tela metálica.....	26
Figura 4 - Utilização de telas em estruturas de alvenaria.....	26
Figura 5 - Prensa Classe 1- específica para laboratórios (conforme ABNT NB NM ISO 7500-1).....	31
Figura 6 - Prensa Classe 2- específica para obras e centrais de concreto (conforme ABNT NB NM ISO 7500-1).....	31
Figura 7 - Paquímetro	32
Figura 8 - Balança com resolução de 0,1 % da massa da amostra de ensaio	32
Figura 9 - Estufa para secar a amostra de concreto	33
Figura 10 - Peneiras da série normal e intermediária, com tampa e fundo	33
Figura 11 - Trincha para limpeza	33
Figura 12 - Slump teste.....	36
Figura 13 - Rompimento do corpo de prova sem reforço	38
Figura 14 - Teste de resistência com reforço parcial de placa metálica.....	40
Figura 15 - Sequência do teste de resistência com reforço total de placa metálica.....	41
Figura 16 - Tela metálica 15x15mm	42
Figura 17 - Teste de resistência com reforço parcial de tela metálica.....	43
Figura 18 - Sequência do teste de resistência com reforço total de placa metálica.....	44
Figura 19 - Sequência do teste de resistência com reforço com aumento de seção	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição Granulométrica do ensaio	34
Tabela 2 - Traço do concreto utilizado no ensaio.....	36
Tabela 3 - Comparativo de custos	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tensão de ruptura nos moldes de referência	39
Gráfico 3 - Comparativo- Reforço com Placa Metálica	42
Gráfico 4 - Reforço com tela – tensão de ruptura.....	45
Gráfico 5 - Reforço com tela – Comparativo com o valor de referência	45
Gráfico 6 - Aumento de seção – Tensão de ruptura	47
Gráfico 7 - Comparativo dos valores de referência e aumento de seção.....	47

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLA

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Reguladora
ABCPA	Associação Brasileira de Cimento Portland

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 METODOLOGIA	16
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	17
2 PILARES: USO e IMPORTÂNCIA NO ARRANJO ESTRUTURAL E OCORRÊNCIA PATOLÓGICA	19
3 REFORÇO ESTRUTURAL COM ÊNFASE EM PILARES.....	23
4 PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	30
4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	31
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAS	34
4.2.1 Determinação da composição granulométrica segundo a NBR NM 248:2003.....	34
4.2.2 Determinação da massa específica dos agregados segundo a NBR NM 52:2009 e NBR NM 53:2009.	34
4.2.3 Determinação da massa unitária dos agregados segundo a NBR NM 45:2006	35
4.3 MÉTODO DE DOSAGEM	35
4.3.1 Definição do traço do concreto	36
4.3.2 Confecção dos corpos de prova.....	37
4.3.3 Cura do concreto	37
5 RESULTADOS	38
5.1 ROMPIMENTO DOS MOLDES DE REFERÊNCIA	38
5.2 PROCESSO DE REFORÇO COM PLACA METÁLICA.....	39
5.3 PROCESSO DE REFORÇO COM TELA METÁLICA.....	42
5.4 PROCESSO DE REFORÇO COM AUMENTO DE SEÇÃO	46
5.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS.....	49
5.5.1. Comparativo geral	50
6 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICE A – LAUDO DO PRIMEIRO ENSAIO	56
APÊNDICE B – LAUDO DO SEGUNDO ENSAIO	58

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos, a arte da construção recebeu significativa contribuição da tecnologia e hoje dispõe de grande variedade de materiais, de técnicas construtivas e de programas informatizados que facilitam a elaboração de projetos. Diante de tantos recursos, os projetistas e construtores puderam vislumbrar projetos mais grandiosos, construções cada vez mais altas e em menor tempo de execução (ZUCCHI, 2015).

Contudo, à medida que foi expandindo o tamanho das edificações e variando as técnicas utilizadas, surgiram inúmeras manifestações patológicas decorrentes do mau uso das propriedades dos materiais, de erros construtivos em que não era empregada a técnica mais apropriada para determinada construção, clima ou região, de erros de projetos que, cada vez mais ambiciosos exigiam nível superior de detalhes, exigindo intervenções corretivas e que se pensassem em novas estratégias para evitar tais patologias.

Vale destacar que a construção em concreto armado é uma das técnicas construtivas mais utilizadas e, por sua importância estrutural, seus erros constituem grande perigo no desempenho ao serviço e segurança de usuários que, ao buscarem seus direitos legais, podem trazer grande prejuízo profissional e financeiro aos construtores.

Quando se fala em edificações, os pilares são elementos estruturais fundamentais, são eles, os responsáveis por transportar as ações dos pavimentos da obra para as fundações, e falhas em seu funcionamento afetam significativamente o desempenho da edificação como um todo. Para sanar estas falhas pode-se reabilitar o pilar utilizando uma dentre as várias técnicas de reforço existentes (PÁDUA et al, 2012).

Dessa forma, em função da importância dos pilares em uma edificação, é imprescindível tratar o reforço de pilares de forma a conferir um comportamento adequado ao elemento estrutural frente às solicitações a que está submetido, e ao mesmo tempo respeitar os limites de deformação e os critérios de ductilidade estabelecidos nos mais diversos códigos e normas de projetos.

1.1 JUSTIFICATIVA

Considerando que o concreto é método construtivo mais usado no mundo, e que conhecendo as limitações e deficiências que esse pode apresentar ao longo dos anos, ou devido alguma alteração, a incidência de patologias aponta para a necessidade de reforço estrutural.

Assim, sendo os pilares agentes importantes da estabilidade global de um edifício, a sua falha ou desempenho insuficiente pode gerar graves consequências à estrutura podendo inclusive causar o colapso de uma edificação.

Dessa forma, este estudo se justifica pela necessidade de estudar qual é o tipo de reforço mais eficaz no ganho de resistência em pilares de edificações através de uma comparação entre a placa metálica, a tela metálica e o aumento da seção, tanto no que diz respeito às construções quanto ao reparo de estruturas com patologias.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Comparar o ganho de resistência à compressão axial com a utilização de três diferentes tipos de reforços estruturais (placa metálica, tela metálica e aumento de seção).

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Estudar o comportamento estrutural e a eficiência do reforço por utilização de placas metálicas, telas metálicas e aumento da seção;
- b) Analisar as fórmulas matemáticas para o cálculo do dimensionamento de bases de pilares de aço e concreto;
- c) Analisar e sintetizar os resultados obtidos nos experimentos, elaborando condições e fornecendo indicações sobre o uso do concreto de alto desempenho na construção e recuperação de pilares de concreto armado com o uso dos três tipos diferentes de reforços – Placa metálica, tela metálica e aumento de seção.

1.3 METODOLOGIA

Foi realizado um estudo experimental e comparativo sobre o ganho de resistência dos corpos de prova confeccionados com concreto simples reforçados com placa metálica, tela metálica e aumento de seção.

A montagem do traço experimental que é feita quando pretende-se realizar a caracterização dos experimentos e o cálculo do traço de concreto simples, foi construído a partir de 4 grupos, sendo:

- Grupo 1 – Controle;
- Grupo 2 – Reforço de placa metálica;
- Grupo 3 – Reforço de tela metálica e
- Grupo 4 – Aumento de seção.

A proposta inicial é que o teste de resistência fosse aplicado 28 dias após a moldagem dos corpos de prova, seguindo as orientações das normas vigentes, contudo, devido à falta de acesso ao laboratório por causa da calamidade provocada pela pandemia da Covid-19 fez com que o teste fosse aplicado somente quatro meses após o prazo previsto. Dessa forma, foi analisada a possibilidade da interferência desse fator nos resultados apresentados.

Foi feita a submissão dos corpos de prova ao teste de compressão axial, buscando evidenciar qual grupo possui o maior ganho de resistência em relação ao grupo controle. Apresentando então, a melhor alternativa de reforço estrutural para esse tipo de elemento confeccionado em concreto.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo é apresentada uma sucinta introdução sobre o tema abordado de um modo geral, mostra os objetivos gerais e específicos, a justificativa pela qual o tema foi escolhido, a metodologia a ser utilizada e toda a estrutura do trabalho a seguir.

O segundo capítulo contém um referencial teórico sobre o concreto, onde estão descritos um breve histórico, a sua aplicação, características e o comportamento diante o esforço mecânico de compressão axial e sobre o seu desempenho diante a elevadas temperaturas.

No terceiro capítulo se encontra a razão pela qual é necessária a utilização de reforços estruturais, demonstrando tipos de patologias em estruturas de concreto e seus respectivos tratamentos, também é abordado com maior profundidade a reabilitação de uma estrutura com a utilização da fibra de vidro.

O quarto capítulo descreve toda a metodologia experimental, onde será explicado todo o procedimento, expondo os materiais e técnicas utilizadas desde a construção dos corpos de prova até a sua testagem culminando na determinação da estrutura que possui maior resistência em comparação ao grupo de controle.

No quinto capítulo será possível validar todos os resultados obtidos através do experimento, através de equações e observações feitas durante o procedimento.

E por fim no sexto capítulo estará disposto as considerações finais, onde será feita uma avaliação dos fatos relacionado a toda a pesquisa realizada e as principais conclusões a que foi possível chegar com base em todo o experimento.

2 PILARES: USO E IMPORTÂNCIA NO ARRANJO ESTRUTURAL E OCORRÊNCIA PATOLÓGICA

A área da construção civil tem evoluído bastante, sobretudo no que tange ao uso de recursos e das técnicas empregadas nas edificações. Dessa forma, no cenário atual, estruturas em concreto pré-moldado podem ser vistas com mais frequência nos canteiros de obras. Desde as edificações mais simples até as mais complexas, acima de quatro pavimentos, é possível encontrar os principais elementos de concreto pré-moldado, como pilares, vigas e lajes. Esses elementos, que podem ser armados ou protendidos, são conectados entre si para formar as estruturas de concreto pré-moldado (PRADO; EL DEBS, 2018).

Ainda de acordo com os mesmos autores, nas estruturas de concreto pré-moldado, em geral, os pilares são engastados na fundação, e a ligação entre a viga e o pilar difere de acordo com a altura da estrutura. Para edifícios de pequena e média altura, as vigas são articuladas nos pilares, sendo esse tipo de ligação projetada de modo simplificado, não necessitando de detalhes complementares após a montagem dos elementos de concreto.

No entanto, em edifícios com altura elevada, as vigas precisam ser ligadas rigidamente aos pilares. Nesse caso, a ligação tem maior complexidade de execução e, na maioria das vezes, é indispensável a finalização dela no local da obra mediante o uso de suportes provisórios (MELO, 2013).

Os pilares têm papel fundamental em uma estrutura, sendo agentes de estabilidade e responsáveis pela transmissão dos esforços às fundações. Pode-se dizer, com base nisso, que os pilares são (juntamente com as fundações), os principais elementos da estrutura de uma edificação (COUTO, 2016).

De acordo com a NBR 6118/2014, os pilares são elementos lineares de eixo reto, usualmente verticais, onde são preponderantes os esforços de compressão, mas não podem ser desprezados os esforços horizontais e momentos. Os pilares são responsáveis pela transmissão das cargas da estrutura às fundações e são agentes importantes da estabilidade global de um edifício, portanto, a sua falha ou desempenho insuficiente pode gerar graves consequências à estrutura podendo inclusive causar o colapso de uma edificação (ABNT, 2014)

Toda parte estrutural deve ser planejada e construída de forma a combater alguns esforços, tais como a tração, a compressão e a flexão. Por ser o concreto o elemento muito mais resistente à compressão, é considerado o esforço ideal e dominante a ser utilizado nos elementos estruturais verticais, sobretudo, nos pilares.

A determinação dessa resistência é feita por meio de ensaios normatizados através de normas como a NBR 5739 (ABNT, 2018). Em geral, os ensaios são feitos com corpos de prova cilíndricos de 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura e os agregados de diâmetro máximo menor ou igual a 38 mm. Após os corpos prontos, são rompidos com 28 dias para verificar a sua máxima capacidade de resistir a esse esforço. Sendo calculada por meio da expressão matemática:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,645 S \quad (1)$$

Onde:

f_{cm} É a resistência média à compressão e S é calculada por meio da equação de desvio padrão

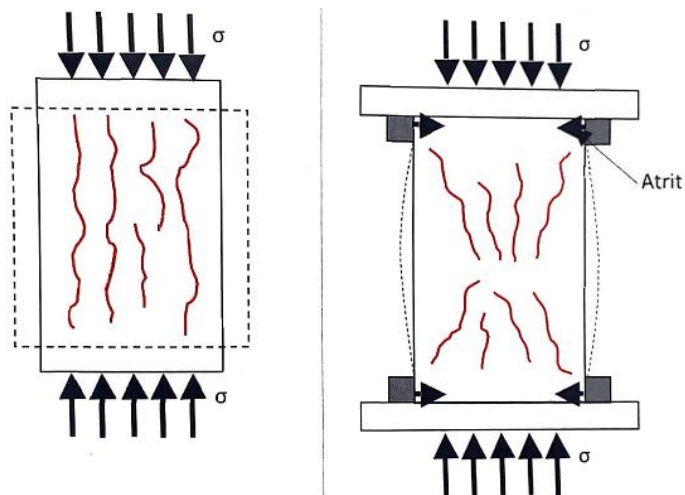
$$S = \sqrt{\frac{\sum(f_{ci} - f_{cm})^2}{(n - 1)}} \quad (2)$$

Sendo:

f_{ci} O valor encontrado das resistências em “n” corpos de prova (ARAUJO, 2014).

Contudo, os corpos de prova irmãos podem apresentar pequenas variações na sua resistência final, apesar de terem sido feitos com o mesmo concreto; tal variação se explica em virtude da relação de atrito entre o corpo de prova e os pratos da máquina podendo modificar o estado de tensão das faces como mostrado na Figura 1 (ANDRADE; TUTIKIAN, 2011).

Figura 1 - Comportamento da fissuração em corpos de provas em restrição e com restrição



Fonte: JACINTHO & GIOGO, 2005

Os pilares se diferenciam em função de dois parâmetros: presença ou não de conectores que são as armaduras de costura que ligam o substrato ao novo concreto adicionado nas faces reforçadas, e tipo de tratamento superficial realizado na junta antes da execução do reforço (PÁDUA et al, 2012).

De maneira geral, as bases de pilares estão sujeitas a esforços de compressão ou tração, de momento fletor e de força cortante, que podem induzir os seguintes estados limites últimos: esmagamento do concreto na região de contato com a placa de base, formação de charneira plástica na placa de base, ruptura por tração nos chumbadores, deslizamento da base, arrancamento dos chumbadores (PIANA; CALENZANI, 2018). Tal situação indica a necessidade de que sejam adotadas diferentes estratégias de reforço para evitar danos maiores para toda estrutura.

Além dos problemas patológicos que surgem devido a erros, há também aqueles que surgem ao longo do tempo, pois, como sabemos, existe uma vida útil para cada estrutura. Por isso deve-se levar em consideração todas essas falhas, a utilização e a ação do tempo, pois elas podem atentar contra a segurança das edificações, sendo necessários diagnósticos precisos, e quando necessário, intervenções para evitar a ruína da estrutura. Devido a estes motivos, o reforço de estruturas de concreto armado tem sido cada vez mais estudado e aprimorado para trazer outras opções de recuperação da estrutura e que não seja necessária a demolição da edificação (BRITO, 2017)

Dessa forma, em algumas circunstâncias, o profissional se depara com condições desafiadoras para a escolha mais adequada da técnica de reforço e do material que deverá ser utilizado, pois os edifícios estão expostos a diferentes agentes agressivos do ambiente em que estão localizados.

Apresenta-se também o desafio de se compatibilizar materiais, a necessidade de controle do excesso de peso e a dificuldade em vencer grandes vãos. Assim, devem ser previstos os materiais que apresentam as características necessárias para conferir à estrutura um bom desempenho frente às características a que aquela estrutura servirá, garantindo economia com manutenção e longevidade do reparo (ZUCCHI, 2015).

A esse propósito, Pádua et al (2012) destacam que, apesar das estruturas em concreto armado por serem bastante seguras quando executadas de acordo com as prescrições das normas, falhas de projeto, de execução e até mesmo alterações no uso das edificações podem provocar problemas nas edificações. No caso de pilares, que são os elementos estruturais responsáveis por transportar as ações dos pavimentos da obra para as fundações, qualquer falha

em seu funcionamento afetará significativamente o desempenho da estrutura como um todo, podendo até mesmo levá-la a ruína.

Geralmente, o reforço é tratado como uma intervenção com a função de aumentar a capacidade de resistência dos elementos estruturais previstos inicialmente no projeto original de uma estrutura, como consequência da modificação de sua utilização. Além disso, Cánovas (1988) atribui ao reforço também a função de corrigir falhas nos elementos estruturais por deficiências na dosagem do concreto, cura inadequada, ou ainda, por erros cometidos na avaliação das ações atuantes.

Quanto aos reparos, Zucchi (2015) destaca que o concreto armado apresenta dificuldades de reajuste da capacidade de carga, uma vez que a estrutura esteja consolidada. Devido também ao envelhecimento das edificações, muitas construções começaram a apresentar falhas, necessitando de intervenção e reparos em seus elementos estruturais como a adição de armaduras, colagem de mantas de polímeros reforçadas com fibra e aplicação de chapas de aço e perfis metálicos.

3 REFORÇO ESTRUTURAL COM ENFÂSE EM PILARES

Nesse aspecto, enfatiza-se que o reforço de pilares de concreto envolve metodologias de cálculo e execução que visam o aumento da seção transversal de modo a prover equilíbrio aos esforços solicitantes, entretanto, na maioria dos casos, aumentos de seção podem gerar impactos negativos importantes na arquitetura e na funcionalidade da estrutura (COUTO et al, 2016).

Corroborando com Couto et al (2016), Pádua et al (2012) destacam que existem várias técnicas de reabilitação de estruturas de concreto armado, dentre elas pode-se citar: a protensão externa, a adição de chapas ou perfis metálicos, o uso de materiais compósitos tais como fibras de carbono, e a adição de concreto com ou sem aço à seção transversal do elemento.

Em pilares em construção ou em reparos, é comum se realizar a substituição total do concreto, com ou sem acréscimo de armaduras, de modo a não se alterar a seção transversal prevista em projeto, entretanto, essa metodologia pode exigir o escoramento total da estrutura para viabilizar sua execução. Existem também outras metodologias que envolvem o encamisamento da seção com concreto e armaduras ou ainda perfis e chapas metálicas, contudo, essas soluções são mais suscetíveis a alterar a geometria inicial do elemento, podendo interferir na arquitetura e no uso da estrutura (TAKEUTI, 2003).

Quanto aos perfis metálicos como opção de ligação entre os elementos pré-moldados, é importante considerar que eles são empregados de diversas maneiras, de acordo com a solicitação do projeto. Armaduras adicionais soldadas nos elementos metálicos da ligação podem auxiliar na distribuição dos esforços. A finalização da ligação metálica por meio de soldas, parafusos ou apenas encaixe dos elementos é que vai diferenciar na distribuição dos esforços (OLIVEIRA JÚNIOR, 2012).

As ligações metálicas em geral são extremamente importantes para a estrutura de aço. São as ligações que vão garantir a estabilidade do conjunto e devem representar o tipo de vínculo interno considerado no cálculo de forma mais próxima possível à real. A ABNT NBR 8800/2008 não aborda diretamente a ligação de bases de pilares de aço, já a ABNT NBR 16239/2013 aborda o assunto, porém se limita a bases de pilares tubulares e a ABNT NBR 16239/2013 considera o método de distribuição uniforme de tensões, evidenciando a necessidade de novos estudos sobre esse tema.

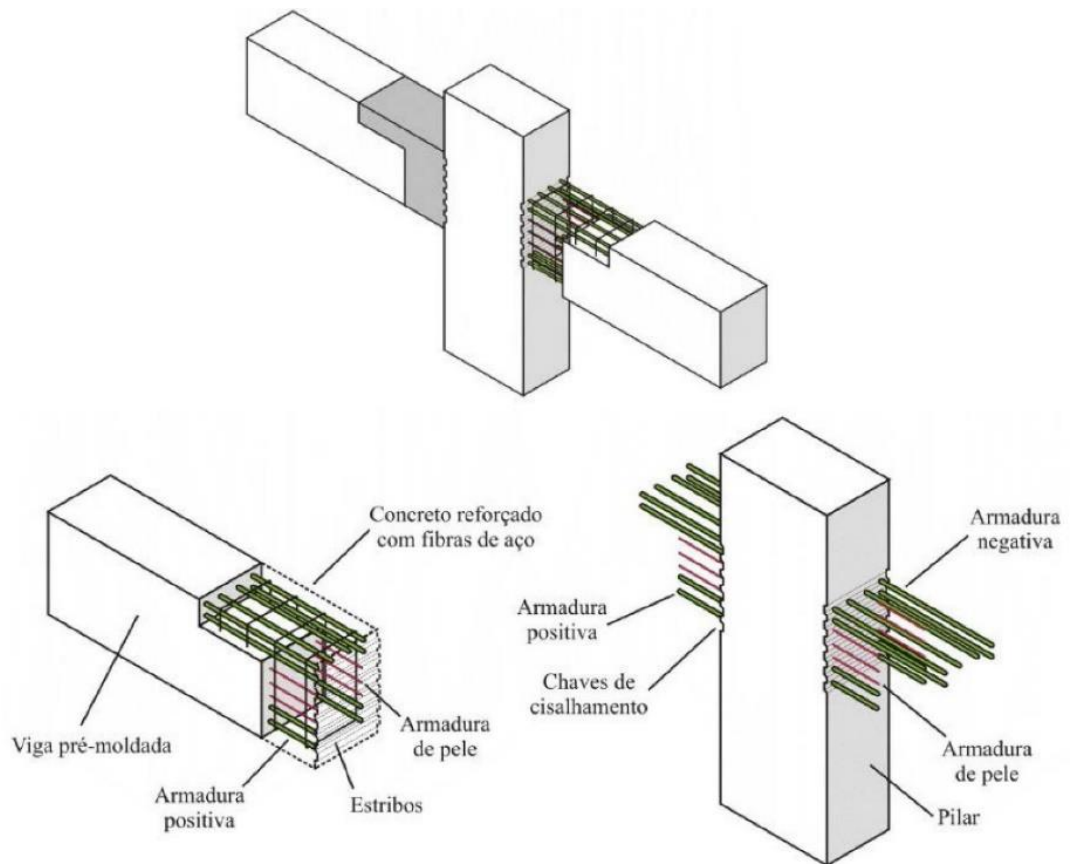
De acordo com o Centro Brasileiro da Construção em Aço (2014) algumas características significativas desse método são: maior área útil, compatibilidade com outros materiais, menor prazo de execução, alívio de carga nas fundações e liberdade arquitetônica.

Esse último fator, descreve uma flexibilidade do uso do material que é fornecido em diversos formatos permitindo que as construções tenham inúmeras formas, curvas e elementos assimétricos, utilizando os mais variados perfis como os de seções em tubo.

Mas, é relevante o fato de que o reforço de pilares com perfis metálicos é frequentemente empregado, devido à rapidez na execução e carregamento da estrutura. De acordo com Cánovas (1988), esses elementos costumam ser reforçados da seguinte maneira:

- Eliminar cantos vivos dos pilares de concreto, para facilitar o encaixe das cantoneiras às quinas;
- Colocar as cantoneiras nos quatro cantos do pilar, unidas lateralmente por meio de presilhas soldadas. As partes superior e inferior do reforço terminam em capitel e base metálica respectivamente;
- Em outros reforços se empregam, ao invés de cantoneiras verticais de reforço, perfis tipo “U”, sendo que este tipo de reforço é menos empregado devido o maior peso do perfil;
- Obtida a união do capitel às vigas ou à laje, e a da base à laje ou fundação, pode-se proceder ao encaixe das extremidades superior e inferior das cantoneiras à base e ao capitel, passando em seguida a realizar um ponteamto com solda nestas uniões.
- Executa-se, a seguir, travamento, também com pontos de solda, e após a verificação de todo o conjunto, procede-se a soldagem de todo o reforço.

De forma geral, as chapas metálicas utilizadas no reforço estrutural para ganho de resistência de pilares, apresentam a estrutura demonstrada na figura 2 exposta a seguir.

Figura 2 - Placa Metálica.

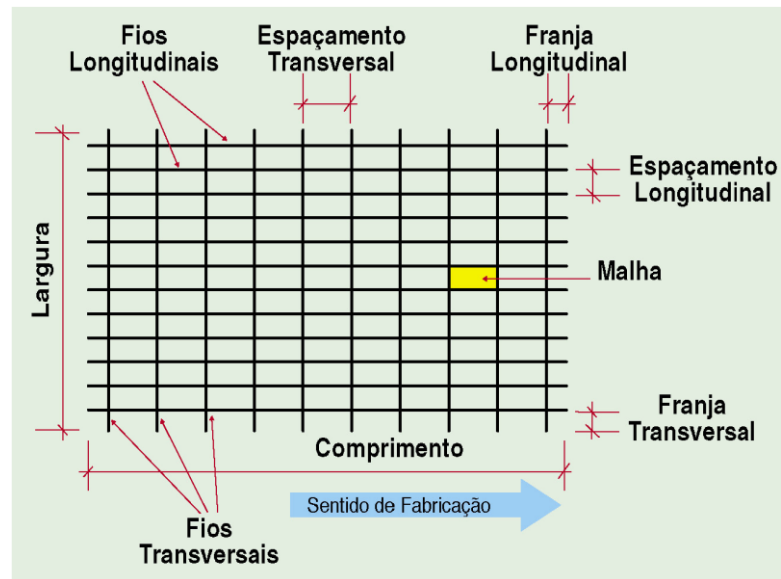
Fonte: Oliveira Júnior, 2012.

A ligação ideal, entre os pilares de aço à fundação em concreto armado é feita por uma chapa metálica, soldada ao perfil de aço e conectada a fundação por meio de chumbadores, ou seja, de barras rosqueadas. Estas ligações são utilizadas na interface aço-concreto entre os pilares e suas fundações, cuja função principal é de transmissão dos esforços das estruturas para a fundação (BAHIA; IKEDA JUNIOR, 2016).

Outro recurso que pode ser utilizado para reforço estrutural visando o ganho de resistência em pilares é a tela metálica que, segundo a NBR7481/82 é a tela soldada uma armadura pré-fabricada, formada por fios de aço longitudinais e transversais sobrepostos e soldados entre si em todos os pontos de cruzamento na forma de nós, por corrente elétrica de aquecimento, formando malhas quadradas ou retangulares.

Para Ballestreros (2013) trata-se de uma armadura pré-fabricada a partir de barras ou fios de aço para estrutura de concreto de acordo NBR 7480, conforme ilustrado na figura 3.

Figura 3 - Estrutura da tela metálica.



Fonte: Ballestreros (2013).

Este reforço é muito empregado devido às suas vantagens econômicas e facilidade na execução, além de poder serem utilizadas com diferentes funções, conforme apresentado na figura 4, na imagem a direita além do reforço com tela, configura-se também como aumento de seção, uma vez que deverá ser recoberto por concreto de alta resistência. Porém, produz elementos finais de dimensões superiores às iniciais, e exige um tempo de espera para que o reforço atinja a resistência conveniente antes da liberação das ações na parte estrutural reforçada (PÁDUA et al, 2012).

Figura 4 - Utilização de telas em estruturas de alvenaria.



Fonte: Couto (2016).

Apesar de todas as suas vantagens, VALLE (1983), destaca que o reforço com perfis metálicos só deve ser utilizado uma vez esgotados os recursos referentes ao reforço com concreto, pois para sua utilização deve-se dar muita atenção ao estudo do detalhe dos nós e das transmissões de ações entre a estrutura original e o reforço, visando garantir sua eficácia.

A esse respeito, Cánovas (1988) destaca que tal tipo de reforço tem o inconveniente de só entrar em carga quando o concreto atinge a ruptura, isso se não existir solidariedade entre os perfis de aço e o concreto, também sugere que para garantir o trabalho do conjunto deve-se, durante a montagem, procurar obter uma perfeita e rígida união de todos os elementos de estrutura, tais como vigas, lajes, fundações e outros, ao reforço. Esta união pode ser conseguida pela utilização de um material de alta resistência à compressão, na união do aço com o concreto, criando-se uma camada rígida capaz de transmitir as cargas e eliminando contatos pontuais.

Ainda é importante destacar que o reforço de pilares pode ser feito a partir do aumento de sua seção transversal com concreto de resistência adequada e com a utilização de armaduras longitudinais e transversais adicionais. O acréscimo de seção não precisa ser feito em todo contorno do pilar, podendo ser feito em apenas algumas faces, ou seja, este tipo de reforço pode envolver total ou parcialmente a seção original da estrutura existente (TAKEUTI, 1999).

Um importante experimento foi realizado por Takeuti (1999) no qual foram executadas seis séries de três pilares cada, sendo que em cada série se reforçou um com concreto, outro com elementos metálicos e o terceiro não foi reforçado, para servir como elemento de comparação. Todos os modelos foram ensaiados à compressão axial, sendo medidas por meio de faixas extensométricas a força aplicada e a deformação nas barras longitudinais e nos perfis metálicos.

Através desse experimento, verificou-se que a maior eficiência alcançada pelo reforço com concreto foi devida à aderência e ao atrito produzido entre os dois concretos, sendo que nesses modelos a eficiência dos reforços só não foi maior devido à ruptura por puncionamento da laje na parte superior do modelo. No caso de reforço metálico, conclui-se que seria preciso um estudo mais profundo para a análise da confiabilidade deste tipo de reforço, intensificando-se o estudo da associação aço e concreto e aumentando-se a rigidez das bases e dos capitéis metálicos (TAKEUTI, 1999).

Segundo Zucchi (2015) , o concreto armado tem como vantagens o fato de que os materiais são de uso comum e de fácil acesso e a técnica é corriqueira nos canteiros de obra; já as desvantagens são mais numerosas, tais como a interferência arquitetônica com o aumento de

sessão, a exigência de cuidados com a aderência das camadas, a suspensão do uso da estrutura para execução do reforço e para ganho de resistência e a sujeira e nível elevado de ruído.

Os perfis metálicos, segundo Zucchi (2015) tem como principal vantagem a execução rápida e simples e as suas desvantagens estão relacionadas a visibilidade do elemento estrutural prejudicada e a manutenção recorrente e o agravante de que a chapa ou perfil metálico bloqueiam a visibilidade da estrutura original, dificultando a identificação de novas fissuras no concreto.

Independentemente do material utilizado, Cánovas (1988) recomenda que para o reforço dos pilares, deve-se dar continuidade à sua estrutura, até atingir a fundação, para o que se deverá atravessar as vigas e as lajes.

No que tange aos reparos, Reis (2001) diz que o seu sucesso depende da boa aderência entre o concreto novo e o velho, e da capacidade de transferência de tensões entre eles. A incompatibilidade entre o concreto velho e o material a ser aplicado podem gerar falhas nos reparos, principalmente devido a diferenças de deformação e retração.

Para o bom funcionamento do reforço, é fundamental que o concreto novo esteja bem aderido ao concreto existente. Esta aderência pode ser melhorada com aplicação de adesivo à base de epóxi na superfície de concreto previamente preparada (SOUSA, 2008).

Portanto, é válida a opinião de Zucchi (2015) de que para um reforço bem executado, é necessário conhecer o comportamento estrutural da edificação, inspecionar a estrutura danificada para avaliar a sua capacidade resistente e analisar as diferentes possibilidades de reforço para que haja eficiência, economia e desempenho satisfatórios.

Entende-se que para evitar quaisquer tipos de danos a uma edificação, principalmente de grande porte e com muitos andares, é imprescindível que alguns cuidados sejam tomados principalmente no que diz respeito aos pilares de sustentação que devem ter um ganho de resistência mediante à adoção de estratégias de reforço. Esse processo também é válido também para a restauração de pilares danificados pelo uso ou pela ação do tempo.

Como foi verificado, existem diferentes estratégias para o ganho de resistência de pilares com a utilização de recursos variados, cada uma com suas respectivas vantagens e desvantagens, sendo as placas metálicas, as telas metálicas e aumento da seção alguns deles.

Quanto aos métodos e materiais considerados neste estudo, é importante destacar que, embora não seja conclusivo porque a proposta é a realização de experimentos nesse sentido, é importante considerar que o uso de materiais metálicos tem a vantagem de reduzir o tempo de execução da obra porém, apresentam desvantagens consideráveis como dificultar a visibilidade e impedir a identificação de novas patologias; já o aumento da seção com o uso de concreto tem

como principal vantagem o trabalho com material corriqueiro da obra, mas provoca mais sujeira, a alteração arquitetônica com o aumento da sessão.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo será demonstrado todo o procedimento do ensaio, que tem como finalidade, demonstrar e comparar estatisticamente a resistência de trinta e dois corpos de prova com diferentes tratamentos, eles serão divididos pelos seguintes grupos:

I – Controle;

II – Corpo de Prova de Concreto Reforçado Com Placa Metálica;

III – Corpo de Prova de Concreto Reforçado Com Tela Metálica.

IV – Corpo de Prova de Concreto Reforçado Com Técnica de Aumento de Seção.

Em todos os casos foi utilizado o método de ensaio por compressão axial que cujas orientações estão contidas na NBR 5739 (ABNT, 2007)

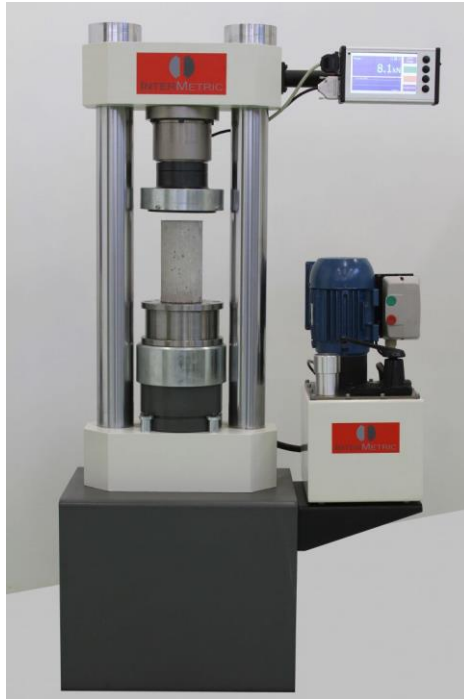
De acordo com Favarato et. al. (2019) os ensaios de resistência à compressão têm como objetivo identificar eventuais discrepâncias na qualidade do concreto levando em consideração todas as etapas do experimento que vão desde sua dosagem até a sua composição. Tendo em vista que a resistência à compressão característica, f_{ck} – baseia-se num valor de referência que aceita uma probabilidade de até 5% em resistências inferiores ao mesmo sendo esse valor o parâmetro que norteia o dimensionamento de um elemento estrutural.

Ainda de acordo com Favarato e seus colaboradores (2019) hoje em dia é possível o controle tecnológico de concretos o que pressupõe a formação de lotes de corpos-de-prova, segundo a NBR 5739 (ABNT, 2007), devem ter relação altura/diâmetro máxima de 2,02 e é considerado elementar para o controle da qualidade e da resistência de elementos recém-moldados. Esse experimento permite a determinação precisa da resistência característica à compressão nas idades especificadas pelo projetista estrutural que, por sua vez se orienta pelas NBRs existentes.

Ainda em relação ao corpo de prova, Muzardo, Pinheiro e Santos (2004) dizem que no Brasil o corpo-de-prova padrão tem o formato cilíndrico, com 15cm de diâmetro e 30cm de altura, e a idade de referência para o ensaio é 28 dias.

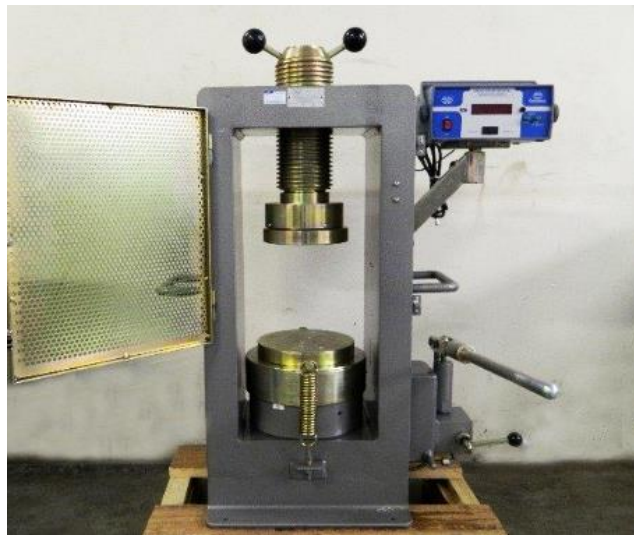
4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Figura 5 - Prensa Classe 1- específica para laboratórios (conforme ABNT NB NM ISO 7500-1)



Fonte: InterMetric, 2020

Figura 6 - Prensa Classe 2- específica para obras e centrais de concreto (conforme ABNT NB NM ISO 7500-1)



Fonte: Contenco, 2019.

Figura 7 - Paquímetro



Fonte: Loja do mecânico, 2020.

Figura 8 - Balança com resolução de 0,1 % da massa da amostra de ensaio



Fonte: Didática SP, 2020.

Figura 9 - Estufa para secar a amostra de concreto



Fonte: Dubësser, 2020.

Figura 10 - Peneiras da série normal e intermediária, com tampa e fundo



Fonte: SP Labor, 2020.

Figura 11 - Trincha para limpeza



Fonte: Telhanorte, 2020.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAS

4.2.1 Determinação da composição granulométrica segundo a NBR NM 248:2003

Nos termos da NBR248 (ABNT, 2003) entende-se por composição granulométrica a proporção relativa das massas dos diferentes tamanhos dos grãos (areia e brita) que constituem o agregado, expressa em percentagem.

Após seguir todas as determinações da NBR NM 248 (ABNT, 2003) que prescreve o método adequado para a determinação da composição granulométrica de agregados miúdos e graúdos para concreto, obteve -se seguinte resultado:

Tabela 1 – Composição Granulométrica do ensaio

Diâmetro Máximo	Módulo de Finura
12,5 mm	6,11

Fonte: arquivo dos autores, 2020

4.2.2 Determinação da massa específica dos agregados

De acordo com a NBR NM 52 (ABNT, 2009) e NBR NM 53 (ABNT, 2009), entende-se por massa específica a relação entre a massa do agregado seco e seu volume, excluindo os poros permeáveis.

Nos termos da NBR 9833 (ABNT, 2009) a massa específica de concreto constitui-se numa propriedade que é medida com a finalidade de ser empregada para o cálculo do consumo de cimento por m³ de concreto. Ainda de acordo com a mesma norma, a massa específica tem grande importância na resistência mecânica dos concretos, pois é ela quem determina a compactidade do material, ou seja, indica se ela apresenta uma maior ou menor quantidade de poros permeáveis.

De acordo com Pinheiro, Muzardo e Santos (2004) são considerados os concretos de massa específica normal (ρ_c) aqueles cujos valores de referência estão compreendidos entre 2000 kg/m³ e 2800 kg/m³.

No experimento que realizamos foi obtida a massa específica (g/cm³) igual a 2663, o que significa que os resultados obtidos estão dentro dos parâmetros estabelecidos.

4.2.3 Determinação da massa unitária dos agregados segundo a NBR NM 45:2006

A NM 45 (ABNT, 2006) estabelece o método para a determinação da densidade a granel e do volume de vazios de agregados miúdos, graúdos ou de mistura dos dois, em estado compactado ou solto. De acordo com essa norma, a massa unitária é a relação entre a massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente.

Essa mesma definição é apresentada por Guerra (2013) que conceitua massa unitária de um agregado como a relação entre sua massa e seu volume sem compactar, considerando-se também os vazios entre os grãos. Essa relação é utilizada para transformar massa em volume e vice-versa.

De acordo com a NM 45 (ABNT, 2006) a massa unitária serve como parâmetro para classificação do agregado quanto à densidade e determina que o cálculo da massa unitária seja feito por meio da seguinte fórmula matemática:

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)} \quad (1)$$

onde:

ρ_{ap} = massa unitária do agregado, em kg/m³;

m_{ar} = massa do conjunto (recipiente e agregado) em kg;

m_r = massa do recipiente vazio, em kg;

V = volume do recipiente, em m³.

No experimento em que realizamos, aplicando a equação 1, especificada foi obtido o seguinte resultado:

Massa Unitária (g/cm³): 1,560.

4.3 MÉTODO DE DOSAGEM

O método de dosagem utilizado atualmente, foi criado na década de 80 pela ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland) por meio de experimentos. Esse método exige o conhecimento das seguintes informações sobre o tipo de massa específica e nível de resistência aos 28 dias do cimento; a análise granulométrica e massa específica dos agregados; da dimensão máxima característica do agregado graúdo; da consistência desejada do concreto fresco; da resistência de dosagem do concreto sobre o quais já falamos anteriormente.

É fundamental dosar o concreto para que se possa determinar as proporções mais adequadas entre os diversos componentes da mistura com o objetivo de atender principalmente aos requisitos da resistência da obra; de ser suficientemente durável no ambiente em que for colocado; de ter uma aparência satisfatória quando ficar em exposição; de atender satisfatoriamente às condições de mistura, transporte, lançamento e adensamento e ser o mais econômico possível (ASSUNÇÃO, 2002, p.25).

A seguir estão expostos os dados de experimentos axiais de dosagem da resistência que realizamos, seguindo os conceitos, orientações e etapas descritas neste item, considerando três tipos de reforço: com placa metálica, com tela metálica e aumento da seção.

4.3.1 Definição do traço do concreto

Para realização dos ensaios foi utilizado um concreto de alta resistência, planejada em 25 MPa. Na seguinte dosagem:

Tabela 2 - Traço do concreto utilizado no ensaio

Cimento	Areia	Brita 0	Água
23kg	38,41kg	43,47kg	11,73 kg

Fonte: arquivo dos autores, 2020

Nesta dosagem, a consistência do material foi verificada através o ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump teste*), chegando ao resultado de 13cm, conforme Figura 12.

Figura 12 - Slump teste



Fonte: Fotos tiradas pelos autores, 2020.

4.3.2 Confeção dos corpos de prova

O início dos ensaios foi através da moldagem de 32 corpos de prova cilíndricos de 30x15 cm, a princípio a proposta seria utilizar 8 corpos de prova para cada grupo, porém durante a realização dos rompimentos esse número foi alterado visando a realização de um segundo ensaio, uma vez que as NBR 12.655 (ABNT, 2015) a amostragem deveria ser de 2 corpos de prova para cada idade de rompimento. O concreto foi colocado em 3 camadas iguais, sendo que em cada uma delas foram aplicados 25 golpes com a haste de socamento metálica, sem que os golpes de adensamento atingissem a camada imediatamente inferior. Por fim, os topos dos corpos de prova foram arrematados com a ajuda de uma colher de pedreiro.

4.3.3 Cura do concreto

Os corpos de prova foram moldados em março de 2020, para rompimento com 28 dias, porém, devido a situação de calamidade na saúde pública, provocada pela pandemia da covid-19 não foi possível realizar o rompimento no prazo previsto, ficando então os moldes armazenados em câmara úmida até o mês de agosto, ou seja, por cinco meses.

5 RESULTADOS

5.1 ROMPIMENTO DOS MOLDES DE REFERÊNCIA

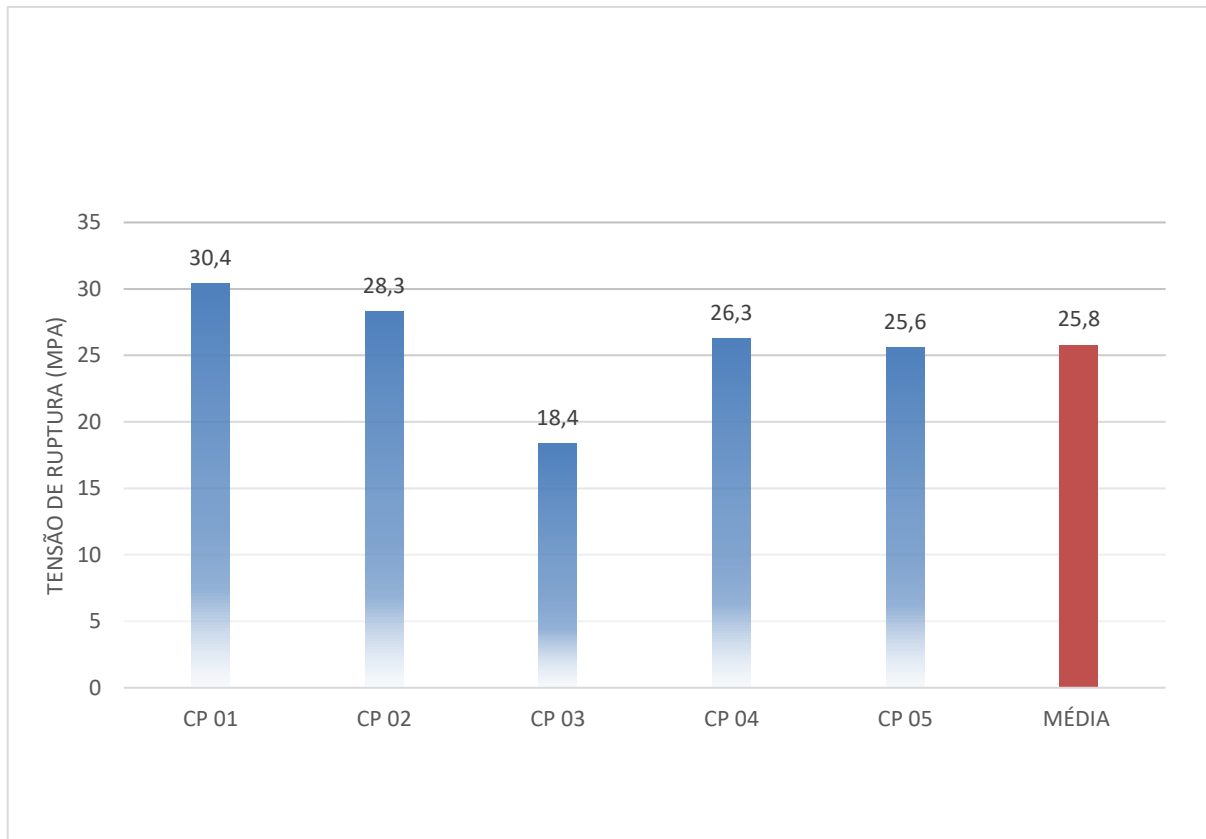
A evolução da resistência à compressão com a idade deve ser obtida por ensaios especialmente executados para tal. Para possibilitar a comparação do ganho de resistência através dos reforços propostos neste trabalho, foram rompidos 5 (cinco) corpos de prova sem nenhum processo de reforço através do ensaio de compressão axial (Figuras 13), tendo sido encontrados os resultados apresentados no Gráfico 1.

Figura 13 - Rompimento do corpo de prova sem reforço



Fonte: Fotos tiradas pelos autores, 2020.

As figuras acima apresentam o teste de resistência dos corpos de provas, trata-se do grupo de controle e seu objetivo é averiguar o comportamento do experimento sem a utilização de nenhum tipo de reforço.

Gráfico 1 - Tensão de ruptura nos moldes de referência

Fonte: Dados elaborados pelos autores, 2020.

Assim, observamos que através do traço citado anteriormente obtivemos uma amostra que varia entre 18,4MPa, alcançando até 30,4 MPa, sendo a média da resistência do concreto produzido de 25,8 Mpa, 3 % superior ao planejado.

5.2 PROCESSO DE REFORÇO COM PLACA METÁLICA

Para realização do reforço estrutural em placa foi utilizada chapa galvanizada de 28 x 0,5 mm, soldada em torno do corpo de prova. No primeiro ensaio realizado com o método de reforço estrutural com placa metálica não apresentou resultados satisfatórios, uma vez que o reforço foi aplicado somente no centro dos corpos de prova, sem o total recobrimento da superfície externa do mesmo, como pode ser visto na Figura 14.

Figura 14 - Teste de resistência com reforço parcial de placa metálica.



Fonte: Fotos tiradas pelos autores, 2020.

Nestas condições as resistências encontradas foram entre 23,0MPa e 28,6 MPa, com uma média de 25,4 MPa, ou seja, não houve ganho de resistência com a aplicação deste reforço parcial, uma vez que o rompimento ocorreu na parte não coberta do corpo de prova, o que anulou a existência do reforço.

Diante disso, foi realizado um segundo ensaio, com o mesmo material utilizado anteriormente, uma vez que haviam sido moldados corpos de prova excedentes, o que possibilitou as mesmas condições e idade do concreto moldado, contudo, desta vez, com a aplicação de reforço em placa metálica na altura total do corpo de prova, ou seja, o recobrimento deixa de ser parcial e passa a ser total, o que impossibilitaria o rompimento em área descoberta do corpo de prova, conforme expostos nas Figura 15, a seguir:

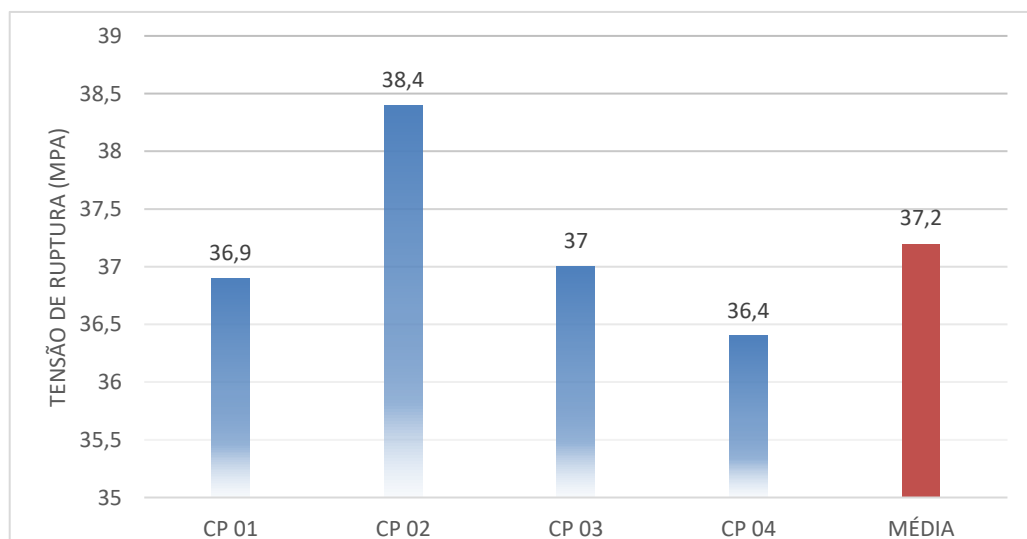
Figura 15 - Sequência do teste de resistência com reforço total de placa metálica



Fonte: Fotos tiradas pelos autores, 2020.

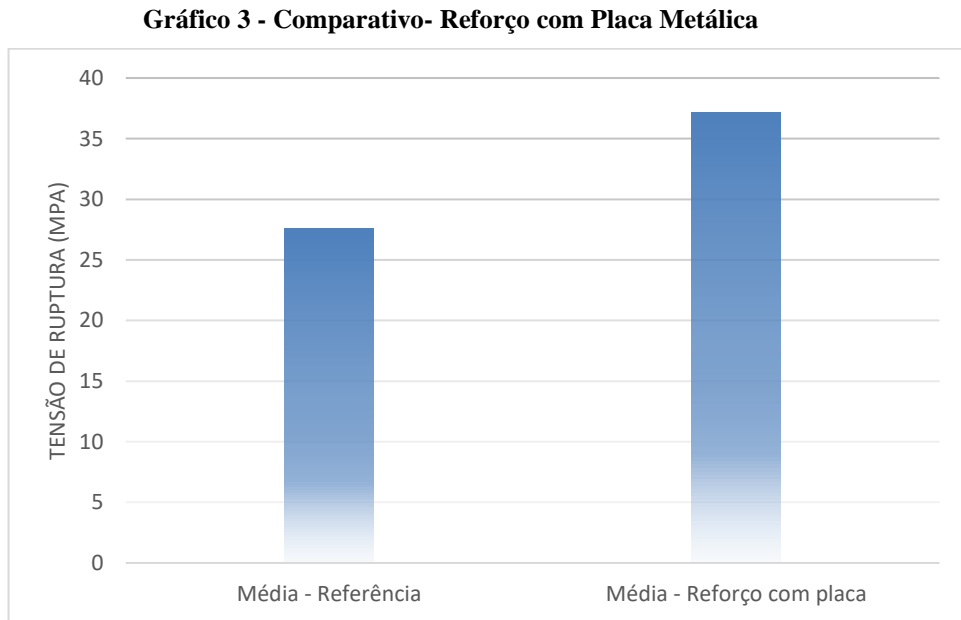
Assim a resistência foi aumentada em toda a altura do corpo de prova, sendo a menor verificada de 36,4MPa e alcançando até 38,4 MPa. A média do reforço com placa foi de 37,2 MPa conforme mostra o Gráfico 2 a seguir. Assim podemos afirmar que o ensaio anterior não apresentou aumento de resistência devido ao recobrimento insuficiente e que para efetividade deste reforço toda a área do local a ser reforçado deverá ser igualmente coberto por placa metálica.

Gráfico 2 - Reforço com placa – Tensão de ruptura



Fonte: Dados elaborados pelos autores, 2020.

Desse modo, é possível atestar o ganho de resistência de até 12MPa em relação ao corpo de prova ensaiado sem nenhum reforço, conforme o Gráfico 3 que mostra esse comparativo.



Fonte: Dados elaborados pelos autores, 2020.

5.3 PROCESSO DE REFORÇO COM TELA METÁLICA

Para realização do ensaio de ganho de resistência com a utilização de reforço com tela metálica, foi utilizada a tela soldada de 15 x 15 mm x 1,5 mm, como modelo da Figura 16.

Figura 16 - Tela metálica 15x15mm



Fonte: Catumbi telas, 2020.

Seguindo os mesmos parâmetros do reforço em placa descritos anteriormente, no primeiro ensaio realizado com tela metálica, assim, a tela foi fixada somente no centro da altura do corpo de prova, conforme ilustra a Figura 17, apresentada a seguir.

Figura 17 - Teste de resistência com reforço parcial de tela metálica.

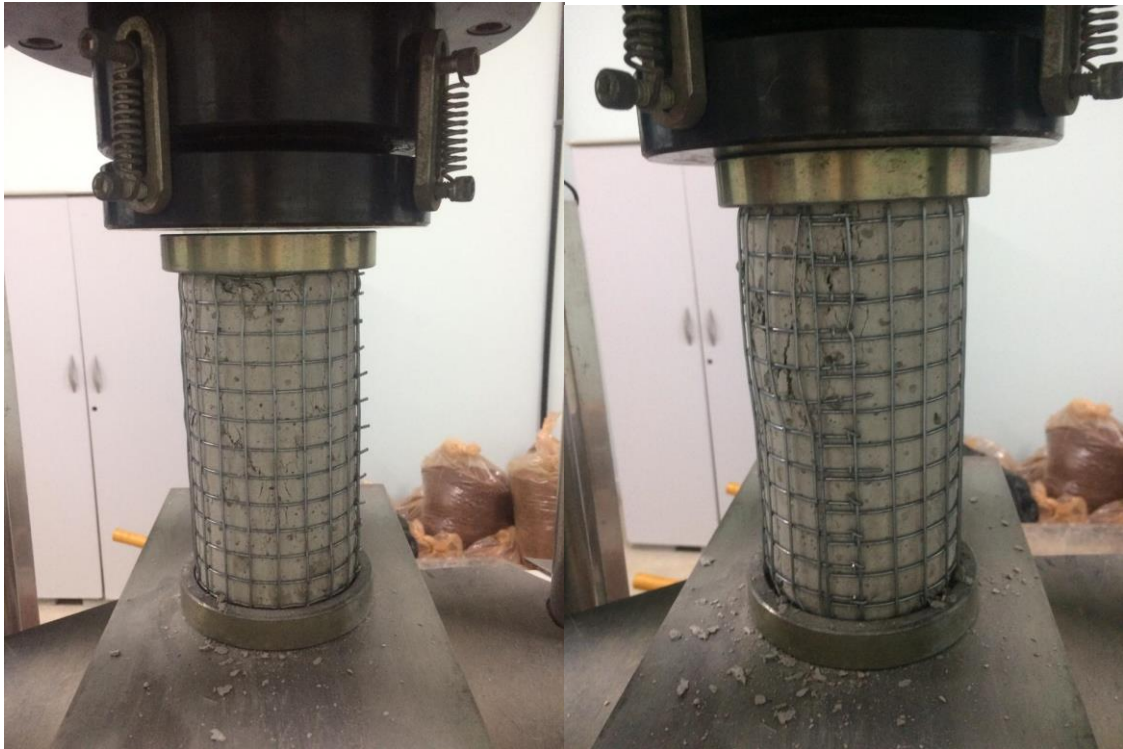


Fonte: Fotos tiradas pelos autores, 2020.

Através da realização do ensaio de compressão axial, esses corpos de prova suportaram até a tensão de ruptura média de 25,9MPa, sendo a mínima de 19,6 MPa e a máxima de 28,5 MPa, sendo assim, não apresentou ganho de resistência em relação ao concreto sem reforço. Assim como no primeiro ensaio realizado com placa metálica, o rompimento ocorreu na parte não coberta pelo reforço, o que demonstrou a ineficiência do método quando do não recobrimento total da peça.

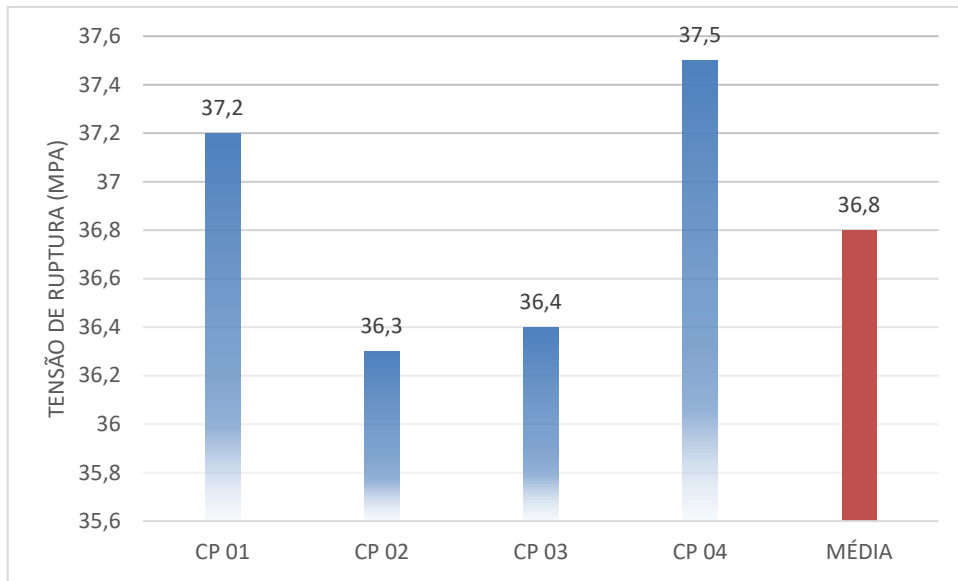
Neste sentido foi realizado um novo ensaio com o recobrimento total da altura do corpo de prova, com o mesmo material produzido no item de referência, ou seja, de mesmo traço, granulometria, fator água-cimento e idade do concreto moldado, assim como na Figura 18.

Figura 18 - Sequência do teste de resistência com reforço total de placa metálica

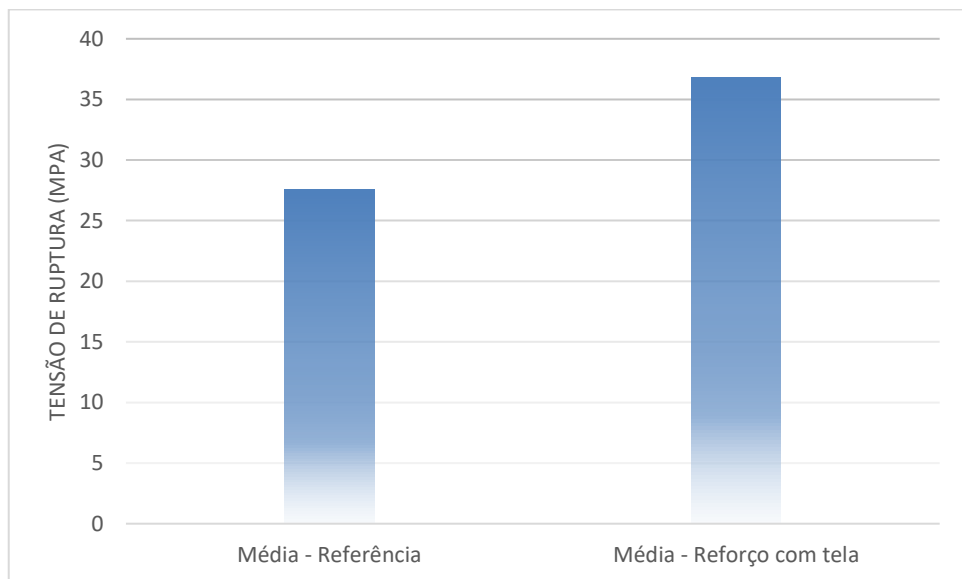


Fonte: Fotos tiradas pelos autores, 2020.

Neste segundo ensaio, por não haver espaços descobertos, o rompimento ocorreu em área reforçada dos corpos de prova, apresentando valores de resistência a tensão de ruptura de 36,3MPa até 37,5 MPa, com uma média de 36,8MPa, conforme demonstra o Gráfico 4.

Gráfico 4 - Reforço com tela – tensão de ruptura

Fonte: Dados elaborados pelos autores, 2020.

Gráfico 5 - Reforço com tela – Comparativo com o valor de referência

Fonte: Dados elaborados pelos autores, 2020.

O gráfico acima mostra que, como o reforço de tela houve um ganho de resistência, tendo em vista que a comparação entre a média de referência e média de reforço com tela indica um aumento de aproximadamente 33%.

5.4 PROCESSO DE REFORÇO COM AUMENTO DE SEÇÃO

Foi proposto ainda o ensaio de aumento de resistência do concreto através do aumento de seção do corpo de prova, ou seja, o revestimento por uma nova camada de argamassa. Para tal a argamassa utilizada para reforço através do método de aumento de seção foi no traço de 1:2:6 (cimento: cal: areia) com aditivo incorporador de ar com ação plastificante da marca *quartzolit*, que segundo o fabricante é indicado para aumentar a coesão e melhorar a consistência das argamassas.

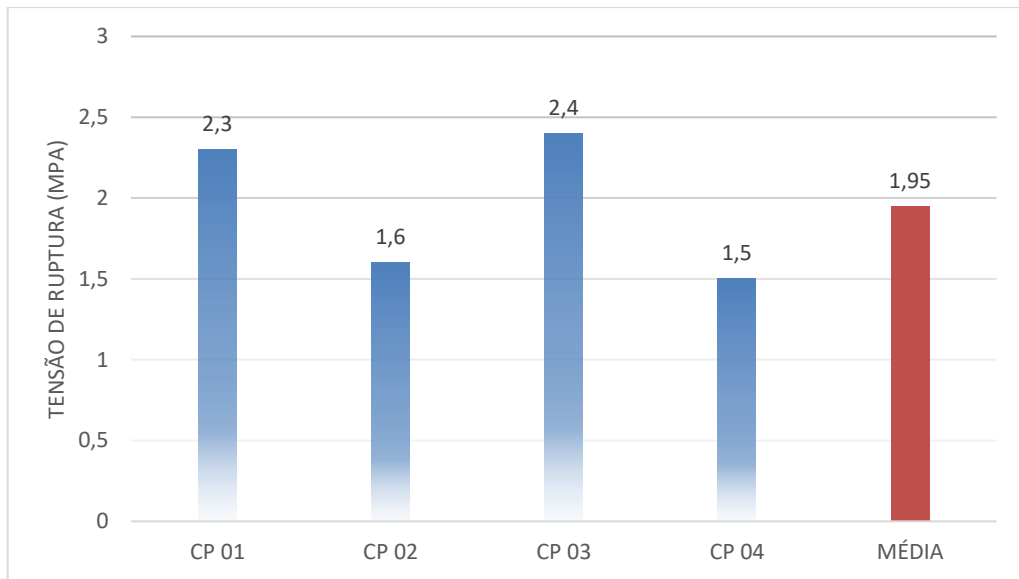
Para atestar a resistência dos corpos de prova com este reforço, os mesmos foram submetidos ao ensaio de compressão axial, onde foi possível verificar que não houve nenhum ganho de resistência, pelo contrário, a argamassa aplicada rompeu antes do concreto (Figuras 19), assim foi possível verificar apenas a resistência da argamassa que envolvia os corpos de prova (Gráfico 6), que por estar abaixo da resistência do concreto do corpo de prova, tornou o reforço ineficiente.

Figura 19 - Sequência do teste de resistência com reforço com aumento de seção



Fonte: Foto tirada pelos autores, 2020.

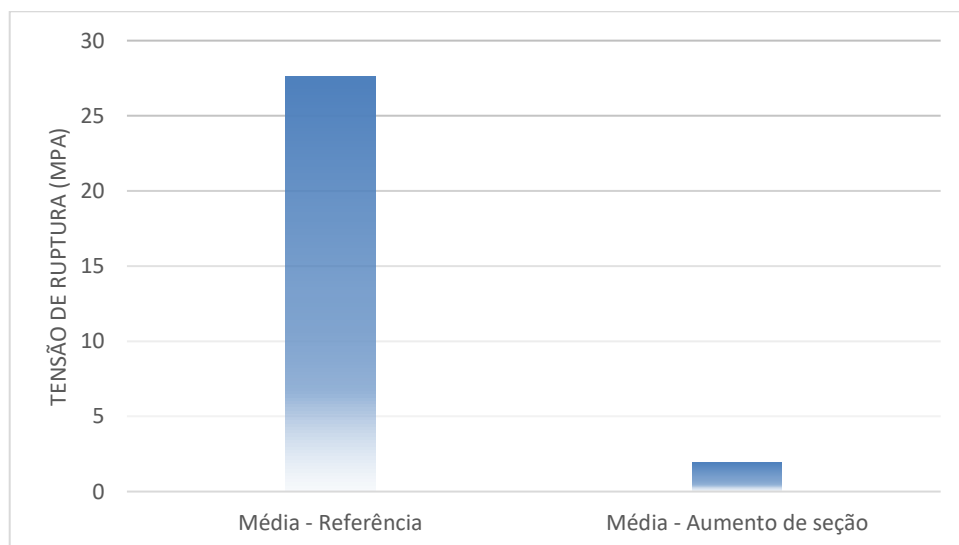
Gráfico 6 - Aumento de seção – Tensão de ruptura



Fonte: arquivo dos autores, 2020.

Conforme pode ser visto no Gráfico 06, a resistência apresentada no ensaio foi somente da argamassa que envolvia os corpos de prova, entre 1,6 MPa e 2,4 MPa, com uma média de 1,95 MPa. Em se tratando de uma proposta para aumento de resistência, quando comparamos os resultados apresentados nos moldes de referência e os desta proposta, pode-se perceber que a diferença é de 92,44% de resistência a mais, naqueles que não foram tratados com o aumento de seção, conforme Gráfico 7.

Gráfico 7 - Comparativo dos valores de referência e aumento de seção



Fonte: arquivo dos autores, 2020

O corpo de prova com reforço do aumento de sessão não demonstrou eficiência ao ser submetido ao teste de resistência e há duas possíveis justificativas para que isso tenha acontecido.

A primeira dela se dá em função da falta de aderência entre a argamassa projetada sobre o concreto, conforme explica Reis (2001), o sucesso do reparo depende da boa aderência entre o concreto novo e o velho, e a capacidade de transferência de tensões entre eles. Em uma visão mais prática, quando se tratando de reforços efetivos, Reis (2001) diz que a incompatibilidade entre o concreto velho e o material a ser aplicado podem gerar falhas nos reparos, principalmente devido as diferenças de deformação e retração.

Para evitar que o resultado seja insatisfatório, algumas técnicas podem ser utilizadas, como por exemplo a limpeza correta da superfície antes da colocação de um novo material. Para reforço em estruturas de concreto armado, é imprescindível a remoção de toda a corrosão da armadura para garantir a aderência do novo material ao aço aplicado.

Neste sentido Zucchi (2015) traz que com o objetivo de garantir melhor aderência entre a superfície a reparar e o material a ser aplicado, a saturação, sem empoçamento, é mais uma opção de preparo através da molhagem contínua ou, por exemplo, com o uso de magueiras perfuradas, dentre outros. Ainda neste aspecto, Reis (2001), diz que este tratamento requer pelo menos 12 horas de saturação. A saturação pode até dispensar o uso do adesivo epóxi para ligação das superfícies. Outro recurso que pode ser utilizado para garantir a aderência é a limpeza da superfície com o uso de escovas de cerda de aço, ou ainda a escarificação manual com o uso de talhadeiras ou o apicoamento do concreto já aplicado, poderá ainda ser utilizado o desbaste através de lixadeira industrial com disco quando se tratar e superfícies maiores. Ainda assim, Cánovas (1988) recomenda que após a escarificação, sejam aplicadas pontes de aderência, como por exemplo uma camada de resina epóxi para garantir a união dos concretos

A segunda justificativa está associada ao fato de que a resistência da argamassa utilizada não foi suficiente para a resistência do concreto. Em caso de concreto de alta resistência (25 MPa), e é sabido que é preciso utilizar argamassa de resistência consideravelmente superior. Neste sentido Cánovas (1988) diz que para encamisamento de pilares deve-se utilizar concretos com f_{ck} superior ou igual a 20 MPa, recomendando-se ainda que ele tenha 5 MPa a mais do que a resistência do concreto velho. Essa indicação visa prevenir a aparição de fissuras por retração e diferenças muito grandes da deformabilidade das partes.

No experimento não foram tomadas realizadas ações para aumentar a aderência entre o concreto e a argamassa, somente a aplicação sobre o mesmo. Assim como a argamassa

utilizada foi de resistência consideravelmente inferior ao do concreto utilizado nos corpos de prova.

5.5 SÍNTESE DOS RESULTADOS

Inicialmente, é importante destacar que os corpos- de -prova foram moldados no mês de março com o objetivo inicial de realizar o teste de resistência no mês de abril, ou seja, com 28 dias de cura do cimento, conforme determinas as normas. Contudo, não foi realizado o teste no tempo previsto por falta de acesso ao laboratório que se encontrava fechado em virtude da pandemia do covid-19. Assim, o teste foi realizado no mês de agosto, ou seja, com aproximadamente 150 (cento e cinquenta dias) após a moldagem desses corpos, o que pode ter interferido nos resultados.

Nos casos de reforços com tela metálica e placa galvanizada os ensaios foram realizados duas vezes com cada método, isso porque o recobrimento foi insuficiente para atestar o aumento de resistência que ocorre nestes métodos.

No grupo de corpo de prova de controle, ou seja, de referência a resistência atingida foi satisfatória em relação ao traço calculado, sendo que a meta de resistência a tensão era de 25 MPa e a tensão média de ruptura foi de 25,8MPa.

No ensaio com placa metálica, foi aplicada a placa galvanizada, com o recobrimento central a resistência encontrada foi apenas a do concreto sem aumento significativo para que se enquadrasse como um reforço estrutural, porém quando aplicado em todo o recobrimento a resistência média alcançada foi de 37,1 MPa. A placa utilizada foi a chapa galvanizada 28 x 0,5, que custou R\$ 20,85 por metro.

Enquanto nos reforços com a utilização de tela metálica, com o recobrimento central a resistência encontrada após compressão axial foi igualmente apenas a do concreto, uma vez que o rompimento ocorreu na parte descoberta do concreto. No segundo ensaio realizado com o mesmo método, mas com o recobrimento total da peça, a resistência média encontrada foi de 36,85 MPa. A tela utilizada foi a tela soldada de 15x15 mm x 1,5, que custou R\$ 86,00 por metro.

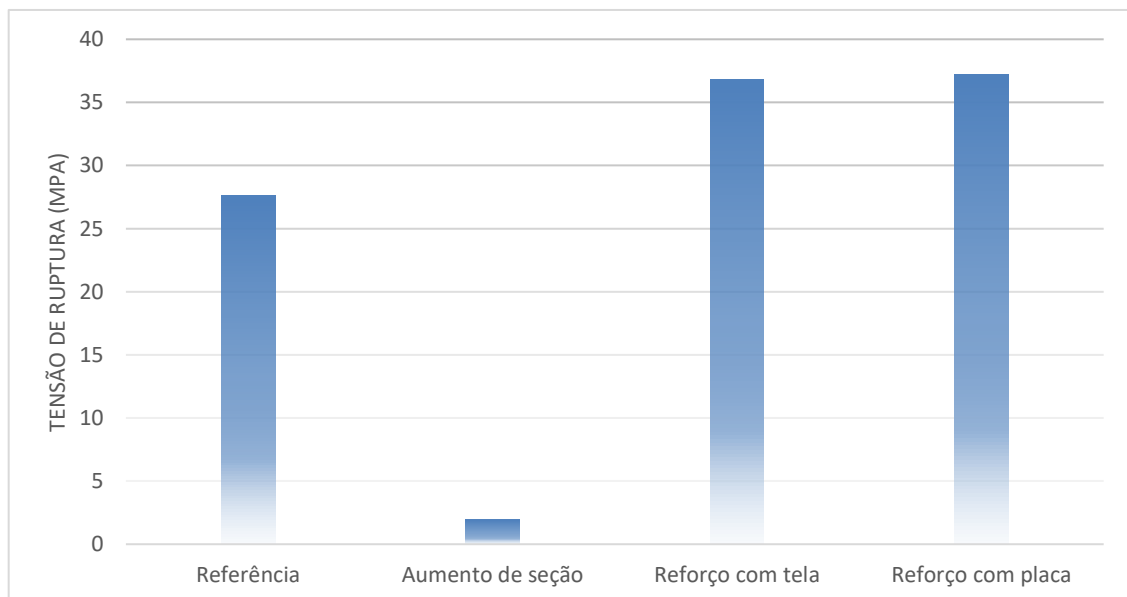
Já no ensaio com a utilização do método de aumento de seção, durante o ensaio, o rompimento ocorreu somente na camada de argamassa que revestia o corpo de prova, demonstrando uma resistência média de 1,95 MPa. O que pode ter ocorrido por dois principais

motivos, a falta de aderência da argamassa ao concreto, devido a idade do concreto moldado, ou ainda a baixa resistência da argamassa utilizada em relação ao concreto.

5.5.1. Comparativo geral

Para sintetizar os resultados obtidos nos experimentos, elaboramos o Gráfico 8, onde indicamos de maneira visual o que foi demonstrado nos ensaios sobre o uso do concreto de alto desempenho e o ganho de resistência do concreto com o uso dos três tipos diferentes de reforços.

Gráfico 8 - Comparativo de resistência



Fonte: Dados elaborados pelos autores, 2020.

Uma vez constada que a resistência dos corpos de prova de controle foi em média 25,8 MPa, o aumento de resistência com reforço com placa galvanizada foi de 43,79%, enquanto o aumento de resistência com a utilização de tela metálica foi de 42,82%. O ensaio com a metodologia de aumento de seção não apresentou resultados positivos, sendo uma redução de 92,44% da resistência do corpo de prova de controle.

Em relação aos valores de cada técnica, conforme Tabela 03, desconsiderando o prazo e a mão de obra empregada, o método de reforço com placa galvanizada é 412% mais barato em relação a utilização da tela metálica.

Tabela 3 - Comparativo de custos

Custo da chapa galvanizada por m²	Custo da tela metálica por m²	Diferença entre técnicas
R\$ 20,85	R\$ 86,00	R\$ 65,15

Fonte: Dados elaborados pelos autores, 2020.

Em um comparativo dos resultados obtidos, pode-se verificar que o uso da placa galvanizada possibilita o aumento de resistência de 0,97% em relação a utilização da tela metálica, ou seja, em desempenho os métodos de reforço são equivalentes entre si, a vantagem na utilização da chapa galvanizada se daria pelo valor consideravelmente inferior ao da tela.

6 CONCLUSÃO

A partir dos experimentos e retomando o objetivo principal deste estudo, que é a comparação do ganho de resistência à compressão axial com a utilização de reforços estruturais com placa metálica, tela metálica e aumento de seção, é importante destacar que a placa metálica e a tela metálica interferem na resistência do corpo de prova, na medida em que se evidenciou diferenças significativas em relação ao grupo de controle, o que permite concluir que esses dois reforços interferiram no ganho de resistência em até 43,79% em relação a resistência inicial, o que nos remete aos resultados esperados, onde podemos indicar a utilização desses reforços na recuperação de pilares de concreto armado.

Quanto ao reforço por aumento da seção, pode-se dizer que embora, preliminarmente, também pode-se dizer que não interferiu no ganho de resistência é importante considerar que o teste não seguiu a norma padrão de ser realizado 28 dias após a moldagem do corpo de prova, sendo realizado num intervalo de tempo cinco vezes maior que o recomendado, esse fato pode ser responsável pela falta de aderência da argamassa ao corpo, assim como a baixa resistência projetada para a argamassa, uma vez que esse tipo de reforço demanda da aplicação de um concreto de resistência consideravelmente superior ao do corpo de prova. Dessa forma, os dados são inconclusivos considerando esse fato.

Sugere-se então para trabalhos futuros, o teste de diferentes métodos de aumento de seção com concreto simples em peças submetidas à compressão axial. Além de recomendar a variação de aplicação da tela e da placa metálica em corpos de prova.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto de Cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento: NBR 12655**. 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos: NBR 5739**. 2018.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação da Massa Unitária e Volume de Vazios**. NBR NM 45:2006. [Acesso em 14 de outubro de 2020]. Disponível em: < <http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/07/passos-passo-determinacao-da-massa.html>>
- ANDRADE JJO, TUTIKIAN BF. Resistência mecânica do concreto. **Concreto: Ciência e Tecnologia**, Rio Grande do Sul, v. 1, n. 17, p.615-649, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118 – **Projeto de estruturas de concreto** – Procedimento. ABNT, Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16239: **projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edificações com perfis tubulares**. Rio de Janeiro, 2013. [Acesso em 22 de maio de 2020]. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S1983-4195201800010020300003&lng=en>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008. [Acesso em 22 de maio de 2020]. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S1983-4195201800010020300001&lng=en
- ASSUNÇÃO JW. **Curvas de dosagem para concretos convencionais e aditivados confeccionados com materiais da região noroeste do paraná**, Florianópolis 2002. [Acesso em 14 de outubro de 2020]. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/83112/226913.pdf?sequence=1>>
- ARAUJO JM. **Curso de Concreto Armado**. 4. ed. Cidade Nova: Dunas, 2014.
- BAHIA AM, IKEDA JUNIOR I. **Dimensionamento de base de pilares metálicos em sees retangulares e circulares**. Construmetal, São Paulo, 2016.
- BALLESTEROS DO. **Estudo de viabilidade técnica e financeira de utilizao de telas soldadas em laje maciças de concreto armado**. Belo Horizonte - MG, 2013.
- BRITO TF. Análise de manifestaes patológicas na construo civil pelo Método Gut: Estudo de caso em uma Instituio Pública de Ensino Superior. João Pessoa – PB, 2017. [Acesso em 22 de maio de 2020]. Disponível em: <http://ct.ufpb.br/ccec/contents/documentos/tccs/2016.2/analise-de-manifestacoes-patologicas-na-construcao-civil-pelo-metodo-gut-estudo-de-caso-em-uma-instituicao-publica-de-ensino-superior.pdf>.
- CÁNOVAS MF. **Patologia e terapia do concreto armado**. 1.ed. São Paulo:PINI, 1988.

CENTRO BRASILEIRO DA CONSTRUÇÃO EM AÇO. **Vantagens das estruturas metálicas**. [Acesso em 20 de maio de 2020]. Disponível em: <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/construcao-em-aco-vantagens.php>.

COUTO D. **Como Reforçar Pilares em Concreto Armado, Sem Mudar a Sua Concepção Arquitetônica?** ANAIS DO 58º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO - CBC2016 – 58CBC2016 2. [Acesso em 22 de maio de 2020]. Disponível em: <<https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2016/10/58CBC0094-Pilares.pdf>>

FAVARATO LF, ROSÁRIO CVS, ALZUGUIR JPC, KERKOFF MA, AOUN TZ, VIEIRA G. Avaliação teórico-experimental da resistência à compressão de concretos através de ensaios não destrutivos. **Matéria (Rio J.) vol.24 no.4 Rio de Janeiro, 2019 Epub Nov 25, 2019**. [Acesso em 13 de outubro de 2020]. Disponível em: <https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-70762019000400344 >

GUERRA RST. **Determinação da massa unitária e volume vazios (NBR NM 45:2006)**. [Acesso em 28 de setembro de 2020]. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/07/passos-passos-determinacao-da-massa.html>>.

JACINTO AEPGÁ, GIONGO J.S. Resistência mecânica do concreto. In: ISAIA, G. C. (Ed). **Concreto: ensino, pesquisas e realizações**. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, v. 1, 2005. P. 605-632

MELO PR. Pré-dimensionamento de estruturas de madeira, de aço e de concreto para auxílio à concepção de projetos arquitetônicos (Tese de Mestrado). [Acesso em 22 de maio de 2020]. Disponível em: <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14186/1/Paula%20Rodrigues.pdf>>

MUZARDO LM, PINHEIRO CD, SANTOS SP. **Estruturas de concreto**. USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas Características do Concreto, 2004. [Acesso em 14 de outubro de 2020]. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~almeida/ec702/EESC/Concreto.pdf>>

OLIVEIRA JÚNIOR LA. **Ligação Viga-Pilar em Elementos Pré-Moldados de Concreto Solidarizados Por Concreto Reforçado Com Fibras de Aço**: análise estática e dinâmica. São Carlos, 2012. 254 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. [Acesso em 22 de maio de 2020]. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&pid=S1678-8621201800030027100003&lng=en

PÁDUA RC, LISERRE APAR, SILVA AF, AGUIAR DA. Pilares de concreto armado reforçados por meio de encamisamento. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 2012.

PIANA I, CALENZANI AFG. Estudo de metodologias para o dimensionamento de bases de pilares de aço. **Rev. IBRACON Estrut. Mater.** vol.11 no.1 São Paulo Jan./Feb. 2018. [Acesso em 22 de maio de 2020]. Disponível em: < https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1983-41952018000100203&script=sci_arttext&tlng=pt >

PRADO LP, EL DEBS MK. Avaliação do comportamento de ligação de montagem viga-pilar para estruturas de concreto pré-moldado. **Ambient. Constr.** vol.18 no.3 Porto Alegre Jul./Sept. 2018. [Acesso em 22 de maio de 2020]. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-86212018000300271&script=sci_arttext#B3.

REIS LSN. **Sobre a Recuperação e Reforço das Estruturas de Concreto Armado**. 2001. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

TAKEUTI, A. R. **Reforço de Pilares de Concreto Armado por Meio de Encamisamento com Concreto de Alto Desempenho**. 1999. 184f. Dissertação (Mestrado). USP, São Carlos.

ZUCCHI FL. **Técnicas para o reforço de elementos estruturais**. Santa Maria, RS, Brasil 2015. [Acesso em 21 de maio de 2020]. Disponível em:<http://www.ct.ufsm.br/engcivil/images/PDF/2_2015/TCC_FERNANDO%20LUIZ%20ZUCCI.pdf>

APÊNDICE A – LAUDO DO PRIMEIRO ENSAIO



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: argamassa
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente:
 Responsável:
 Data de Moldagem: 28/08/2020

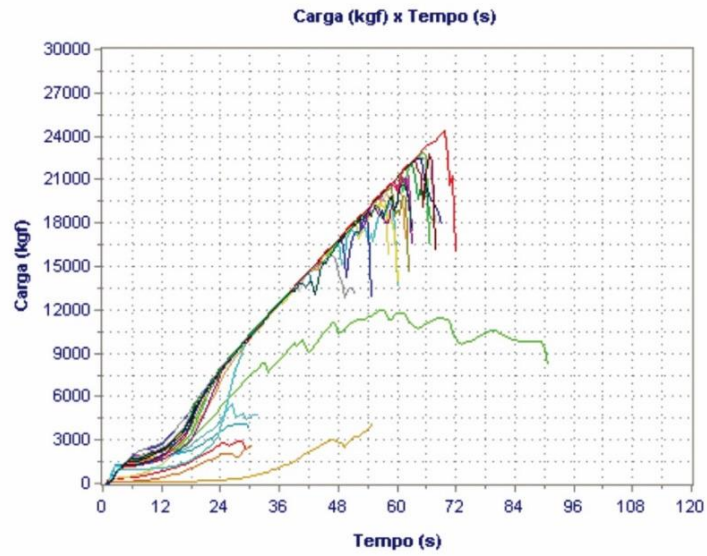
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
argamassa	21	2,3 (MPa)	4.160 (kgf)	
argamassa	21	1,6 (MPa)	2.960 (kgf)	
argamassa	21	2,4 (MPa)	4.360 (kgf)	
argamassa	21	1,5 (MPa)	2.750 (kgf)	
placa	21	3,0 (MPa)	5.480 (kgf)	
placa sem	21	14,9 (MPa)	11.970 (kgf)	
sem reforço	21	24,8 (MPa)	19.860 (kgf)	
placa	21	25,3 (MPa)	20.280 (kgf)	
placa	21	26,1 (MPa)	20.870 (kgf)	
placa	21	24,1 (MPa)	19.320 (kgf)	
placa	21	26,6 (MPa)	21.270 (kgf)	
placa	21	24,1 (MPa)	19.270 (kgf)	
placa	21	23,0 (MPa)	18.450 (kgf)	
placa	21	28,6 (MPa)	22.930 (kgf)	
ref	21	30,4 (MPa)	24.340 (kgf)	
ref	21	28,3 (MPa)	22.700 (kgf)	
ref	21	18,4 (MPa)	14.750 (kgf)	
ref	21	26,3 (MPa)	21.070 (kgf)	
ref	21	25,6 (MPa)	20.480 (kgf)	
tela	21	28,1 (MPa)	22.480 (kgf)	
tela	21	27,6 (MPa)	22.130 (kgf)	
tela	21	28,5 (MPa)	22.830 (kgf)	
tela	21	19,6 (MPa)	15.720 (kgf)	
tela	21	25,7 (MPa)	20.580 (kgf)	

Gráfico dos Ensaios



sexta-feira, 18 de setembro de 2020

17:01:41

OBSERVAÇÕES:

- No item “Dados cadastrais” onde se lê “amostra” leia-se “concreto”
- Os corpos de prova identificados como “argamassa” referem-se ao ensaio de aumento de seção.
- No item “Dados dos corpos de prova”, na coluna “idade” onde se lê “21” leia-se “189”.

APÊNDICE B – LAUDO DO SEGUNDO ENSAIO



NBR 5739 - Ensaio de compressão de cp cilíndricos

Dados Cadastrais da Amostra

Amostra: argamassa
 Tipo de ensaio: Compressão Axial
 Cliente:
 Responsável:
 Data de Moldagem: 28/08/2020

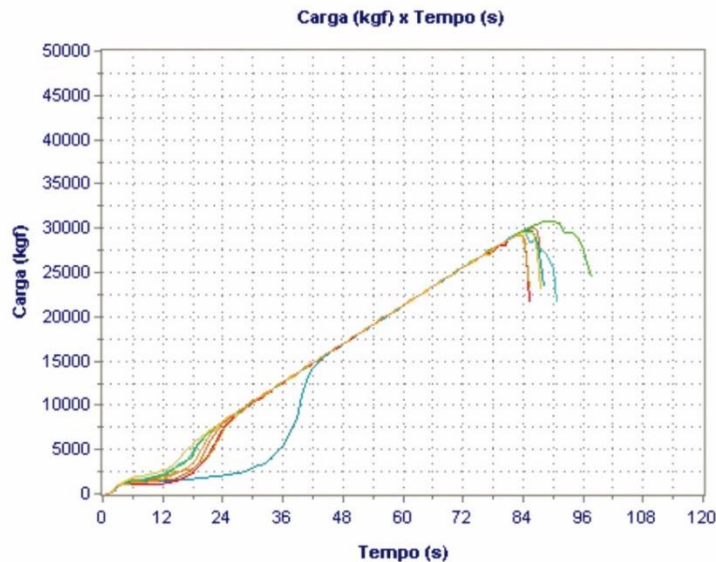
Dados Complementares

Tensão ruptura prevista:
 Distância fixação extensômetros:

Dados dos Corpos de Prova

Id. CP	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura	Tipo
tela	39	37,2 (MPa)	29.760 (kgf)	
tela	39	36,3 (MPa)	29.100 (kgf)	
tela	39	36,4 (MPa)	29.170 (kgf)	
tela	39	37,5 (MPa)	30.040 (kgf)	
placa	39	36,9 (MPa)	29.530 (kgf)	
placa	39	38,4 (MPa)	30.730 (kgf)	
placa	39	37,0 (MPa)	29.600 (kgf)	
placa	39	36,4 (MPa)	29.190 (kgf)	

Gráfico dos Ensaio



terça-feira, 6 de outubro de 2020

17:34:57

OBSERVAÇÕES:

- No item “Dados cadastrais” onde se lê “amostra” leia-se “concreto”
- No item “Dados dos corpos de prova”, na coluna “idade” onde se lê “39” leia-se “207”.