



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**FÁBIO JOSÉ MORAIS FILHO
JEFERSON DE FARIA BORGES**

**ESTUDO COMPARATIVO DE TÉCNICAS
DESTRUTIVAS E NÃO DESTRUTIVAS NA AVALIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA MECÂNICA EM PILARES EM CONCRETO
ARMADO**

PUBLICAÇÃO Nº: 5

**GOIANÉSIA / GO
2019**



**FÁBIO JOSÉ MORAIS FILHO
JEFERSON DE FARIA BORGES**

**ESTUDO COMPARATIVO DE TÉCNICAS
DESTRUTIVA E NÃO DESTRUTIVA NA AVALIAÇÃO DA
RESISTÊNCIA MECÂNICA EM PILARES EM CONCRETO
ARMADO**

PUBLICAÇÃO Nº: 5

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
SUBMETIDO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA
FACEG.**

**ORIENTADORA: DANIELLY LUZ DE ARAÚJO
MORAIS**

GOIANÉSIA / GO: 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

FILHO, FÁBIO JOSÉ MORAIS.
BORGES, JEFERSON DE FARIA

Estudo comparativo de técnicas destrutiva e não destrutiva na avaliação da resistência mecânica em pilares em concreto armado, 2020 xi, 74P, 297 mm (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 20)

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

1. Ensaio destrutivo	2. Corpos de prova
3. Ensaio não destrutivo	4. Pilares em concreto armado
I. ENC/UNI	II. Estudo comparativo de técnicas destrutiva e não destrutiva na avaliação da resistência mecânica em pilares em concreto armado

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

FILHO, F. J. M.; BORGES, J. F. Estudo comparativo de técnicas destrutiva e não destrutiva na avaliação da resistência mecânica em pilares em concreto armado. TCC, Publicação ENC. PF-001A/05, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia (FACEG), Goianésia, GO, 74p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Fábio José Morais Filho, Jeferson de Faria Borges

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Estudo comparativo de técnicas destrutiva e não destrutiva na avaliação da resistência mecânica em pilares em concreto armado.

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.

Fábio José Morais Filho
Rua 34, 364 A, Carrilho
76381-098 – Goianésia-GO – Brasil

Jeferson de Faria Borges
Rua 44, 428, Nova Fíica
76381-098 – Goianésia-GO – Brasil

**FÁBIO JOSÉ MORAIS FILHO
JEFERSON DE FARIA BORGES**

**ESTUDO COMPARATIVO DE TÉCNICAS DESTRUTIVA E
NÃO DESTRUTIVA NA AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA
MECÂNICA EM PILARES EM CONCRETO ARMADO**

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

APROVADO POR:

**Ma. Danielly Luz Araújo de Moraes, (Faculdade Evangélica de Goianésia)
(ORIENTADORA)**

**Me. Igor César Silva Braga, (Faculdade Evangélica de Goianésia)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**Esp. Robson De Oliveira Félix, (Faculdade Evangélica de Goianésia)
(EXAMINADOR INTERNO)**

DATA: GOIANÉSIA/GO, 09 de Junho de 2020.

*Dedico este trabalho:
Primeiramente à Deus, que me permitiu chegar até aqui;
aos meus pais, Fábio e Luzia;
ao meu irmão, João Candido;
aos meus avós, João e Aparecida;
a Mariana Araújo;
e a todos os meus familiares que tanto prezo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço sempre em primeiro lugar a Deus que me permitiu ter o privilégio de estar concluindo um curso superior e por me conceder sabedoria para compreender que tudo tem sua hora. Abaixo Dele, vem os meus pais, Fábio e Luzia, que me concederam a vida e me passaram inúmeros princípios, nunca desistindo de mim diante das dificuldades estando sempre ao meu lado, me instigando a ser um vencedor e a não desistir diante das adversidades. Agradeço também aos meus avós, João e Aparecida, que com humildade me ensinaram a nunca pensar que sou melhor que meu próximo e a entender que toda fase ruim é passageira e devemos encarar a vida com felicidade e fé. Ao meu irmão João Cândido que, apesar da pouca idade, me incentiva a ser uma pessoa melhor, pois sinto que devo ser exemplo para ele. A minha namorada Mariana Araújo que me acompanhou em boa parte desta caminhada, compreendendo cada um dos meus momentos e me acalmando nos momentos de tribulações. A toda a minha família, na qual cada um me passou valores imensuráveis.

A minha orientadora Ma. Danielly Araújo que tanto teve paciência nesses últimos semestres, sempre pronta para auxiliar e sanar todas as dúvidas. A todos os professores que tive em minha carreira acadêmica e que contribuíram ao longo da minha graduação. Aos meus amigos Adrean David, Fernando Júnior, João Pedro, Jeferson Faria, Bruno D'Paula, Maraísa Regina, Shirianne e a todos com quem partilhei essa fase de aprendizado. Tive momentos bastante prazerosos com vocês e tenho um carinho especial por todos.

*Dedico este trabalho:
Primeiramente à Deus, pelo dom da vida, inteligência e sabedoria;
aos meus pais, Adenilson e Ivoneth;
ao meu irmão, Wanderson;
às minhas avós, Ilta de Paula e Maria José (in memorian);
a Lorena Moraes;
a todos os meus familiares que tanto prezo;
a Messias Ramos da Cruz (in memorian);
e a Rodrigo Batista (in memorian).*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por me abençoar, pelo dom da inteligência, sabedoria, pela minha saúde que proporcionou ao longo de minha vida acadêmica. Por me mostrar o caminho em momentos desgastantes, mantendo-me firmado no meu objetivo, o título de graduação em engenharia civil.

Em segundo, agradeço aos meus pais, Adenilson e Ivoneth, aos quais devo a vida a eles por todo zelo, todo o cuidado, carinho, pelos conselhos e paciência em me conduzir a realização de mais um objetivo, e que espero um dia poder lhes retribuir. Meus agradecimentos também vão para meu irmão, pela amizade, por toda paciência e cuidado ao longo desses anos, que para nós foram anos difíceis, mas de muito aprendizado. A minha avó paterna Ilta de Paula por sempre estar me incentivando, por todo zelo, cuidado, empenho e todo suporte financeiro para a realização de meu objetivo. Meus agradecimentos também vão para minha avó materna Maria José (*in memoriam*), por todo zelo e criação que teve com minha família, que de alguma forma, contribuiu para que eu chegasse até aqui.

A minha namorada Lorena Moraes, por me acompanhar em toda minha trajetória acadêmica, me incentivando durante todo esse período, pelo carinho, atenção, pelo zelo com minha pessoa, mesmo diante aos estresses diários, não desistiu de me incentivar e não me deixar desistir do meu objetivo. A toda minha família pelo cuidado e atenção, aos meus irmãos de caminhada do grupo “Amor Maior”, por todo carinho, atenção e companheirismo que tiveram comigo ao longo deste período de estudos, e também aos meus irmãos de caminhada “Segue-me 2019”, por todo carinho e atenção para comigo. Aos meus amigos de longa data, também a Adrean David, Bruno D’ Paula, Fábio Filho, Fernando, João Pedro, Maraísa e Shirlane, a todos os meus colegas, àqueles com quem compartilhei longos anos neste período acadêmico e aos que me ajudaram nas elaborações de meus projetos.

Agradeço também a minha querida orientadora e professora Danielly Araújo por todo empenho, dedicação, que sempre esteve proativa para nos auxiliar no decorrer do curso e também orientar-nos. A todos os professores que tive ao longo de minha vida acadêmica, destacando os professores Eduardo Toledo, Igor Cezar, Luana Lopes, Robson Félix, Welinton Rosa, e também a Faculdade Evangélica de Goianésia por todo o suporte e serviço prestado para a minha formação.

RESUMO

A segurança das estruturas de concreto é um item intimamente ligado as condições de resistência de seu material constituinte. Existem ensaios destrutivos e não destrutivos que permitem estimar a resistência do concreto. No entanto, após a moldagem e cura do elemento estrutural a retirada de parte constituinte de sua geometria para aferir a resistência pode não ser admitida. Os ensaios não destrutivos constituem uma ferramenta importante para sanar este problema e a partir do princípio do ricochete, foi desenvolvido o ensaio de esclerometria destinado a caracterizar a dureza superficial do concreto. Com isto, a utilização de ensaios não destrutivos se faz viável e recomendada para obtenção de uma estimativa do desempenho estrutural. Este trabalho objetiva acompanhar a fase executiva de pilar de concreto armado em obra, retirando-se corpos de prova cilíndricos para ensaio destrutivo de compressão e comparar aos resultados do ensaio de esclerometria executado no pilar *in loco* e na mesma região de utilização da mistura de concreto ensaiada. Verificou-se que o ensaio destrutivo demonstrou resultados inferiores ao decorrer da idade de rompimento e submissão do processo não destrutivo do concreto, salve a idade de 7 dias, onde o método de compressão axial teve vantagem em relação ao método não destrutivo. O ensaio não destrutivo obteve resultados superiores quando comparados ao ensaio destrutivo, aos 14 dias teve um aumento de 96,08%, aos 21 dias demonstrou um novo aumento de 155,81% e por fim na idade de 28 dias um resultado de 297,76% superior quando comparado ao método destrutivo.

Palavras-chave: Ensaio destrutivo; ensaio não destrutivo; concreto; resistência.

ABSTRACT

The safety of concrete structures is an item closely linked to the strength conditions of its constituent material. There are destructive and non-destructive tests that allow estimating the strength of the concrete. However, after molding and curing the structural element, the removal of a constituent part of its geometry to assess the strength may not be allowed. The non-destructive tests are an important tool to solve this problem and from the ricochet principle, the sclerometry test was developed to characterize the concrete's surface hardness. With this, the use of non-destructive tests is feasible and recommended to obtain an estimate of structural performance. This work aims to accompany the executive phase of reinforced concrete pillar on site, removing cylindrical specimens for destructive compression testing and compare the results of the sclerometry test performed on the pillar in loco and in the same region where the concrete mixture is used. rehearsed. It was found that the destructive test demonstrated inferior results during the age of breaking and submission of the concrete's non-destructive process, save the age of 7 days, where the axilla compression method had an advantage over the non-destructive method. The non-destructive test obtained superior results when compared to the destructive test, at 14 days it had an increase of 196.08%, at 21 days it demonstrated a new increase of 155.81% and finally at the age of 28 days a result of 297, 76% higher when compared to the destructive method.

Keywords: Destructive testing; non-destructive testing; concrete; resistance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dimensões do cone	7
Figura 2 – Exemplo de realização do slump test	8
Figura 3 – Esquema de funcionamento do esclerômetro	12
Figura 4 – Aplicação do esclerômetro	13
Figura 5 – Detalhamento do esclerômetro	13
Figura 6 – Aparelhagem de aferição	17
Figura 7 – Exemplo de desenho para aplicação do ensaio esclerométrico	17
Figura 8 - Localização geográfica da obra	20
Figura 9 - Projeto arquitetônico	20
Figura 10 - Locação dos pilares ensaiados	21
Figura 11 - Pilar de estudo	23
Figura 12 – Betoneira	24
Figura 13 – Esclerômetro	25
Figura 14 – Bigorna	25
Figura 15 – Prensa hidráulica	26
Figura 16 – Concha	26
Figura 17 – Haste de compactação	27
Figura 18 – Moldes para corpo de prova	27
Figura 19 – Placa de base	28
Figura 20 – Micro retífica	28
Figura 21 – Arco de serra	29
Figura 22 – Corpos de prova confeccionados	30
Figura 23 – Aplicando a camada de óleo diesel	31
Figura 24 – Cimento portland utilizado no traço do concreto	31
Figura 25 – Areia utilizada no traço do concreto	32
Figura 26 – Brita 1 utilizada no traço do concreto	32
Figura 27 – Preenchimento dos corpos de prova	33
Figura 28 - Exemplo de adensamento do concreto no corpo de prova	34
Figura 29 – Processo de cura nas 24h iniciais	34
Figura 30 – Corpos de prova armazenados	35
Figura 31 – Corpo de prova desmoldado	35
Figura 32 – Rompendo os corpos de prova com 7 dias	36
Figura 33 – Resultados obtidos em tonelada-força com 7 dias	36

Figura 34 – Rompendo os corpos de prova com 14 dias.....	37
Figura 35 – Resultados obtidos em tonelada-força com 14 dias	38
Figura 36 – Rompendo os corpos de prova com 21 dias.....	39
Figura 37 – Resultados obtidos em tonelada-força com 21 dias	39
Figura 38 – Rompendo os corpos de prova com 28 dias.....	40
Figura 39 – Resultados obtidos em tonelada-força com 28 dias	41
Figura 40 – Aferição do esclerômetro	43
Figura 41 – Pilar em análise	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Desvio padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto	7
Tabela 2 – Dimensões internas do tronco de cone	8
Tabela 3 - Número de golpes para adensamento manual	9
Tabela 4 – Descrição dos itens do esclerômetro.....	14
Tabela 5 - Classe de agressividade	22
Tabela 6 - Relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto	22
Tabela 7 – Materiais utilizados.....	23
Tabela 8 – Equipamentos	24
Tabela 9 – Resultados do rompimento com 7 dias.....	37
Tabela 10 – Resultados do rompimento com 14 dias.....	38
Tabela 11 – Resultados do rompimento com 21 dias.....	40
Tabela 12 – Resultados do rompimento com 28 dias.....	41
Tabela 13 – Índices esclerométricos dos pilares com 7 dias	44
Tabela 14 – Índices esclerométricos dos pilares com 14 dias	45
Tabela 15 – Índices esclerométricos dos pilares com 21 dias	47
Tabela 16 – Índices esclerométricos dos pilares com 28 dias	48

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Gráfico de Hammer clássico	18
Gráfico 2 - Cargas de ruptura obtidas a cada 7 dias	42
Gráfico 3 - Média das tensões obtidas a cada 7 dias do ensaio destrutivo	42
Gráfico 4 - Análise gráfica para o pilar 2 com 14 dias.....	46
Gráfico 5 - Análise gráfica para os pilares 2 e 3 com 21 dias	48
Gráfico 6 - Análise do Gráfico de Hammer para ensaio esclerométrico realizado com 28 dias	49
Gráfico 7 – Evolução das resistências ao longo dos dias para cada pilar.....	50
Gráfico 8 - Comparação das resistências obtidas no ensaio destrutivo com o não destrutivo .	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ACI - *American Concrete Institute*.

Cm – Centímetros.

CP – Cimento Portland.

CP I – Corpo de prova 1.

CP II – Corpo de prova 2.

CP III – Corpo de prova 3.

CP IV – Corpo de prova 4.

CP V – Corpo de prova 5.

CP VI – Corpo de prova 6.

CP VII – Corpo de prova 7.

CP VIII – Corpo de prova 8.

CP IX – Corpo de prova 9.

CP X – Corpo de prova 10.

CP XI – Corpo de prova 11.

CP XII – Corpo de prova 12.

END – Ensaio não destrutivo.

GPa – Giga Pascal.

MPa – Mega pascal.

Mm – Milímetros.

NBR – Normas Técnicas.

NM – Normas do Mercosul.

N.m – Unidade de força por metro linear.

N – Newton.

P1 – Pilar 1.

P2 – Pilar 2.

P3 – Pilar 3.

PVC - Policloreto de vinila.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. JUSTIFICATIVA	4
1.2. OBJETIVO	4
1.2.1. Objetivos gerais	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
2.1. Ensaio de dosagem do concreto.....	5
2.1.1. Dosagem racional e experimental.....	5
2.1.2. Condições de preparo do concreto.....	6
2.1.3. Concreto com desvio padrão desconhecido.....	6
2.2. Ensaio de consistência.....	7
2.3. Procedimento <i>slump test</i>	8
2.4. Moldagem e cura dos corpos de prova.....	9
2.5. Adensamento de corpo de prova cilíndrico.....	9
2.6. Processo de cura dos corpos de prova.....	10
2.7. Ensaio de compressão axial de corpos de prova cilíndricos.....	10
2.8. Ensaio de esclerometria.....	10
2.8.1. Ensaio de esclerometria: Método da impressão.....	14
2.8.2. Ensaio de esclerometria: Método da reflexão por choque.....	15
2.8.3. As influências da superfície de contato no ensaio.....	15
2.8.4. Tipo de cimento e suas influências.....	16
2.8.5. Condições de umidade da superfície e suas influências.....	16
2.8.6. Uso incorreto do esclerômetro e suas influências.....	16
2.8.7. Aferição do esclerômetro.....	16
2.8.8. Dimensões da área de ensaio.....	17
2.8.9. Tratamento dos resultados.....	18
3. MATERIAL E METODOLOGIAS.....	19

3.1. Classe de resistência do concreto	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1. Corpos de prova.....	30
4.2. Ensaio destrutivo	35
4.2.1. Rompimento realizado com 7 dias.....	36
4.2.2. Rompimento realizado com 14 dias.....	37
4.2.3. Rompimento realizado com 21 dias.....	38
4.2.4. Rompimento realizado com 28 dias.....	40
4.2.5. Tratamento dos resultados	41
4.3 Ensaio não destrutivo	42
4.3.1 Aferição do equipamento.....	43
4.3.2 Área de ensaio	43
4.3.3 Ensaio esclerométrico com 7 dias	44
4.3.4 Ensaio esclerométrico com 14 dias	45
4.3.5 Ensaio esclerométrico com 21 dias	47
4.3.6 Ensaio esclerométrico com 28 dias	48
4.4 Análise comparativa entre os ensaios destrutivos e não destrutivos	50
5. CONCLUSÃO	54
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56

1. INTRODUÇÃO

A construção civil está presente na história da civilização desde os primórdios dos tempos, porém, antigamente não havia preocupações com a durabilidade estrutural e nem o controle rigoroso do que estava sendo produzido. Com isto, patologias em estruturas eram habituais interferindo-se no uso para o qual a edificação foram projetadas. Com os avanços das tecnologias construtivas, patologias puderam ser amenizadas e até mesmo mitigadas e a vida útil estrutural prolongada, pode-se afirmar isto ainda que não se saiba este tempo exatamente (DIAS, 2010).

Na construção de uma estrutura de concreto armado, atualmente, recorre-se a materiais de construção com tecnologias avançadas alinhadas ao baixo custo para a obra, com isso, faz-se necessário adotar métodos rigorosos quanto aos controles de qualidade, até mesmo dos materiais utilizados que compõem o concreto. Assim como as tecnologias implementadas nas técnicas executivas de uma edificação, existem vários métodos e tecnologias para avaliação da resistência do concreto durante a fase de execução de uma estrutura, seja ele no seu estado fresco, como também no seu estado já endurecido (MAZER, 2012).

No atual cenário de mercado, as exigências de qualidade e avaliações precisas das estruturas de concreto tornou-se um critério indispensável, visando sempre evitar o surgimento de patologias na construção. A aplicação de ensaios tem se tornado mais recorrente desde então, procurando sempre estender a vida útil da edificação, prologando o seu tempo de uso, amenizando a aparição de problemas que comprometem a estrutura global e localmente (DIAS, 2010).

Para isso utilizam-se os diagnósticos de resistência das estruturas, que podem ser obtidos no acompanhamento da execução e retirada de corpos de prova para ruptura. Já quando a estrutura está edificada, esse é um campo de estudo em expansão que através de perícias técnicas é possível aferir suas condições sem a necessidade de destruição da mesma. Dentre as metodologias utilizadas pelos peritos estão os ensaios destrutivos e não destrutivos, objetivando-se a constatação das condições reais de resistência de uma estrutura (DIAS, 2010).

Os métodos de ensaios destrutivos são aqueles em que após a aplicação do ensaio pode-se observar alguma deformidade, sinal e ruptura na peça ou corpo de prova em sito, podendo mesmo ainda ser utilizados ou a deformidade deixa-lo inutilizados. Segundo Dias (2010), há vários tipos de ensaios destrutivos, os mais conhecidos no ramo da construção civil são: ensaios de tração, de compressão, cisalhamento, de dobramento, flexão, torção, dureza, de fluência, fadiga e de também de impacto.

Os métodos de ensaios não destrutivos, além de serem aplicados em estruturas já prontas em que apresentam problemas necessitando de reparos e/ou reforços, também podem ser aplicados em estruturas que se encontram na fase de construção ou em estruturas novas. Os ensaios não destrutivos recebem este nome, pois não causam nenhum tipo de dano a estrutura submetida ao ensaio, ou apenas deixando pequenos danos de fácil reparação, em que não há a perda de resistência do elemento estrutural (EVANGELISTA, 2002).

Os ensaios não destrutivos são bastantes utilizados pelo fato de oferecerem inúmeras vantagens, dentre elas a velocidade de execução e custo, levando-se em consideração aqueles ensaios que requer a retirada de amostras para análise, comprometendo fisicamente a estrutura em estudo (CÂMARA, 2006).

Quando se trata de ensaios destrutivos, vale ressaltar que um dos métodos mais utilizados na construção civil é o de resistência à compressão axial, o qual consiste na ruptura de corpos de prova de uma determinada amostra de concreto. Segundo Neville (2016), as amostras utilizadas pra realizar o ensaio devem conter uma superfície plana e com o mínimo possível de imperfeições, para que o esforço ao qual o corpo é submetido seja bem distribuído.

Para se realizar um ensaio à compressão com maior precisão, se torna necessário realizar uma série de etapas para isso. As mesmas consistem em um bom grau de adensamento do concreto dentro do corpo de prova e também um estado de perfeição da superfície, procurando uma alta planicidade (HELENE e TERZIAN, 1992). É de grande valia também, ressaltar que segundo Bezerra (2007), outro fator que leva grande influência é a velocidade na qual a carga será aplicada na amostra.

Esse tipo de ensaio é regido por normativas no Brasil e no mundo, sendo essas o manual de instrução para realização dos ensaios. No Brasil, utiliza-se a ABNT NBR 5739 (2018), sendo essa de enfoque ao ensaio de compressão em corpos de provas cilíndricos, porém, existem outras normas que regem processos realizados antes de submeter a amostra ao esforço axial.

Ressalta-se tão grande a importância da realização destes ensaios pois eles determinarão a qualidade do material, assim verificando se o mesmo atende aos requisitos solicitados quanto a resistência e esforços mecânicos (DIAS, 2010).

Da mesma forma, na busca de um diagnóstico para estruturas já construídas, recorre-se as inúmeras possibilidades de aplicação dos métodos de ensaios não destrutivos. Mazer (2012) cita a importância do auxílio dos ensaios não destrutivos para o profissional diagnosticar possíveis manifestações patológicas que a estrutura apresenta.

Faz-se necessário a presença de profissionais habilitados para o manuseio dos equipamentos usados na realização dos ensaios não destrutivos, pois o conhecimento e a experiência do profissional influenciarão diretamente no diagnóstico das possíveis patologias (EVANGELISTA, 2002).

O método de ensaio não destrutivo mais utilizado na construção civil atualmente é o método de ensaio por esclerometria. Este método baseia-se em submeter à superfície da estrutura de concreto em estudo a impactos do aparelho de forma padrão com muitos ensaios realizados, obtendo-se a média de resistência do concreto (CÂMARA, 2006). Este ensaio será explicado com mais detalhes no capítulo de metodologia deste trabalho.

O esclerômetro é um aparelho simples e não destrutivo que permite ao profissional a obtenção de dados *in loco*, dados estes como a resistência à compressão do elemento estrutural (EVANGELISTA, 2002). A princípio, o esclerômetro se trata de um ensaio de resistência superficial, uma vez que seus valores obtidos são meramente representativos, apesar de útil, se torna um instrumento de ensaio afim de obter níveis mínimos de resistências, posteriormente, adotar-se caso necessário, métodos mais completos para o estudo da estrutura (ACI 228.1R, 2003).

Esse tipo de ensaio é regido por normativas no Brasil e no mundo. No Brasil, utiliza-se a ABNT NBR 7584 (2012), tendo como principal objetivo a avaliação da dureza superficial, através do uso do esclerômetro de reflexão, sendo esse utilizado no concreto já endurecido.

O diagnóstico de patologias em uma estrutura pode ser considerado complexo e em alguns casos requerer aprofundamento no estudo de ensaios laboratoriais específicos. A revisão de projeto pode ser necessária e até mesmo a instrumentação e o acompanhamento da obra, para assim chegar à conclusão e o melhor método de reforço da estrutura (MAZER, 2012).

A utilização dos materiais são praticamente infinitas quando se trata da construção civil, são inúmeras suas combinações e finalidades. Sendo alguns desses de maior importância para o canteiro de obras, tendo uma necessidade maior na exatidão de suas análises, como o concreto. Visto isso, um dos materiais que o seu uso é comumente e de grande escala, o concreto é um destaque na engenharia civil, sendo aplicado em diferentes tipos de estruturas, mas sempre empenhando um papel de grande importância, sendo cada vez mais necessário garantir a qualidade do mesmo. Visto isso, vem surgindo em grande escala distintos tipos de ensaios, de modo que se possa analisar o comportamento do concreto com maior precisão.

1.1. JUSTIFICATIVA

É possível dizer que uma parte considerável do orçamento de uma obra está destinado a futuros reparos nas edificações, considerando que, em muitas construções, há carência de controles rigorosos de qualidade durante a fase de execução.

Ao se realizar ensaios de resistência do tipo destrutivo e não destrutivo busca-se o conhecimento do comportamento mecânico do concreto utilizado tanto na fase construtiva como também após a execução. Visa-se prevenir possíveis deficiências construtivas que resultem em dispêndios financeiros com correção, reparação estrutural além de restrições de uso, demolição e até mesmo perda de vidas. Com isto, os estudos que serão apresentados neste trabalho são justificáveis, uma vez que trará acesso a um maior conhecimento a partir da análise dos ensaios destrutivos (ensaio de compressão do concreto) e não destrutivos (ensaio de esclerometria), relacionando as resistências encontradas em laboratório com as resistências do concreto aplicado na obra.

1.2. OBJETIVO

Neste tópico estão apresentados os objetivos gerais e específicos deste trabalho.

1.2.1. Objetivos gerais

O objetivo deste trabalho é estabelecer uma relação de estudos das resistências do concreto obtidas através de ensaios destrutivo e não destrutivo realizados em pilares de concreto executado na obra.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar dois tipos de ensaios, sendo um destrutivo de rompimento de corpo de prova cilíndrico e outro não destrutivo de esclerometria;
- Coletar amostras de concreto em um pilar de obra executada sem controle rigoroso;
- Realizar o ensaio de ruptura dos corpos de prova cilíndricos;
- Realizar o ensaio não destrutivo de esclerometria nas idades correspondentes ao ensaio destrutivo no pilar *in loco* e em diferentes pontos do pilar de obra, sendo eles: base, centro e topo;
- Comparar os resultados obtidos com o ensaio destrutivo aos do ensaio não destrutivo das resistências obtidas no pilar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contém a revisão bibliográfica para embasamento teórico dos objetivos propostos deste trabalho de conclusão de curso. Primeiramente destacam-se os requisitos básico para a dosagem do concreto, prosseguindo com um estudo sobre a moldagem dos corpos de prova, slump test, aplicação do ensaio de compressão axial e também do esclerômetro. Finaliza-se o capítulo com as prescrições dos ensaios para obtenção da resistência à compressão destrutivo por ruptura de corpos cilíndricos e o ensaio não destrutivo de esclerometria.

2.1. Ensaio de dosagem do concreto

Segundo Escobedo (2012) quando se trabalha com a dosagem do concreto, se torna necessário ter um conhecimento das proporções de cada material a ser utilizado. Os materiais utilizados são diferentes tipos de cimentos, agregados miúdos e graúdos, água e aditivos. Ao se tomar ciência de tais parâmetros, é possível chegar ao traço que será empregado no concreto.

O cálculo do traço do concreto vai ser realizado em obra, a respeito disso a normativa regente ABNT NBR 12655 (2015) recomenda que é preciso realizar a determinação dos parâmetros, indispensáveis para se chegar ao traço desejado, tais como:

- Relação água/cimento;
- Consumo de água, cimento e areia;
- Determinação do volume de agregado graúdo e areia;

Após o conhecimento de todas essas incógnitas, com o auxílio de suas respectivas fórmulas, chega-se ao traço de concreto que será aplicado nas etapas construtivas do projeto.

Em busca de atender aos requisitos de resistências do projeto que serão definidas no tópico de materiais do capítulo 3, os estudos de dosagem do concreto seguirão as normativas conforme a ABNT NBR 12655 (2015) para a elaboração e execução do traço do concreto a seguir.

2.1.1. Dosagem racional e experimental

O método de dosagem é definido pela ABNT NBR 12655 (2015) como dosagem racional e experimental, pois será utilizado concreto de classe superior a C20. O estudo nesse tipo de dosagem deve-se utilizar materiais semelhantes aos da obra, sendo necessário a alteração dos cálculos caso alguma das matérias-primas sejam alteradas no projeto.

Segundo PILZ (2006), a resistência de dosagem do concreto deve atender as condições de variações decorrentes da obra. Para se chegar ao valor final, é necessário conhecer o desvio padrão (sd), tornando possível entender tais variáveis. A equação nº 1 que será adotada para cálculo da resistência de dosagem:

$$F_{cj} = f_{ck} + 1,65 \cdot sd \quad (1)$$

Onde:

F_{cj}: é a resistência média do concreto à compressão, prevista para a idade de j dias, expressa em megapascals (MPa);

F_{ck}: é a resistência característica do concreto à compressão, aos j dias, expressa em megapascals (MPa);

sd: é o desvio-padrão da dosagem, expresso em megapascals (MPa).

2.1.2. Condições de preparo do concreto

Dentro de diversas variáveis, a ABNT NBR 12655 (2015) recomenda que é preciso conhecer as condições de preparo do concreto, para que se possa calcular com mais exatidão a resistência de dosagem. Sendo um total de três condições, que divergem entre si e serão detalhadas na Figura 1.

É importante ressaltar que o experimento a ser desenvolvido neste trabalho se encaixa na condição B de dosagem do concreto, pois o concreto que será trabalhado tem resistência de 25 MPa.

Tabela 1 - Condições de preparo do concreto

Condição	Classe do Concreto	Regra
A	C10 até C80	O cimento e os agregados são medidos em massa, a água de amassamento é medida em massa ou volume com dispositivo dosador e corrigida em função da umidade dos agregados.
	C10 até C25	O cimento é medido em massa, a água de amassamento é medida em volume mediante dispositivo dosador e os agregados medidos em massa combinada com volume.
B		
C	C10 até C20	O cimento é medido em massa, os agregados são medidos em volume, a água de amassamento é medida em volume e a sua quantidade é corrigida em função da estimativa da umidade dos agregados da determinação da consistência do concreto, conforme disposto na ABNT NBR NM 67 ou outro método normalizado.

Fonte: ABNT NBR 12655 (2015)

2.1.3. Concreto com desvio padrão desconhecido

Quando não se conhece o valor do desvio padrão é instruído pela ABNT NBR 12655 (2015) que após tomar conhecimento da condição de preparo do concreto, deve-se com o auxílio da seguinte Tabela 1, adotar o desvio adequado para o tipo de dosagem. Sabendo que a classe

a ser executada no projeto é a de condição B, logo, se obtém um desvio padrão no valor de 5,5 MPa.

Tabela 2 – Desvio padrão a ser adotado em função da condição de preparo do concreto

Condição de preparo do concreto	Desvio-padrão MPa
A	4,0
B	5,5
C	7,0

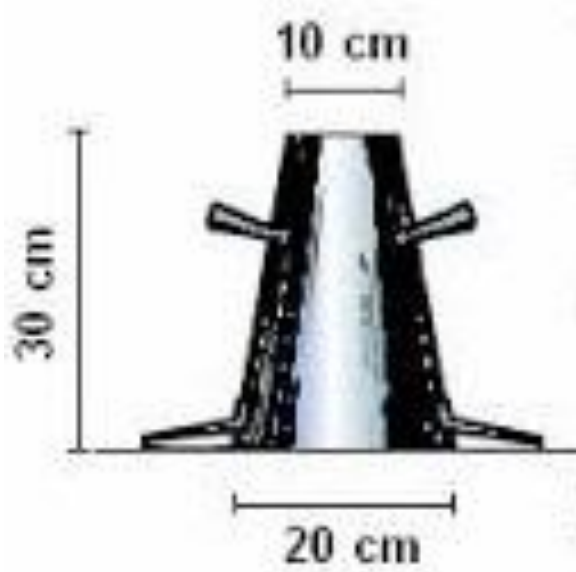
Fonte: ABNT NBR 12655 (2015)

2.2. Ensaio de consistência

Para se ter um concreto de qualidade, se torna necessário conhecer sua consistência, sendo assim é possível saber se o mesmo irá atender os requisitos impostos pelo projeto. Para realizar determinado procedimento, é utilizado o método conhecido por *slump test* ou abatimento de cone. O mesmo é regido pela ABNT NBR NM 67 (1996), onde é detalhado todo o passo-a-passo que deve ser feito.

A partir do momento em que se tem o concreto dentro da betoneira em execução, é retirado uma amostra fresca e a mesma é colocada em um molde em forma de cone (Figura 2), esse tronco é colocado em cima de uma base lisa. Segundo a ABNT NBR NM 67 (1996), o molde deve ser feito de um metal inoxidável, evitando que o concreto cause algum defeito no mesmo, seu interior deve ser totalmente liso, sem nenhum impedimento ou seja, totalmente livre de modo que o concreto possa preencher todo o corpo de prova. As dimensões internas estão detalhadas na Tabela 2.

Figura 1 – Dimensões do cone



Fonte: Clube do concreto (2018)

Tabela 3 – Dimensões internas do tronco de cone

Local	Dimensão
Diâmetro da base inferior	200mm
Diâmetro da base superior	100mm
Altura	300mm

Fonte: ABNT NBR NM 67 (1996)

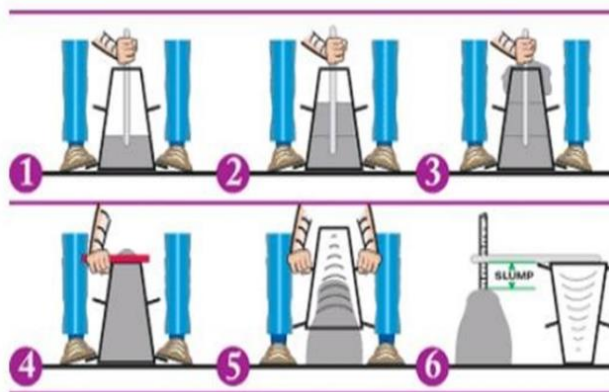
2.3. Procedimento *slump test*

De acordo com ABNT NBR NM 67 (1996) coleta-se uma amostra de concreto fresco de dentro da betoneira, é colocado dentro do tronco de cone rapidamente, sendo preenchido em três camadas, cada uma com um terço do tamanho do cone e colocado sob sua placa de base. Durante o preenchimento do molde, o aplicador deve estar com os pés sob os apoios do cone, deixando-o bem firme na base. A cada camada que é preenchida o concreto recebe cerca de 25 golpes com a haste de compactação, procurando diminuir os vazios.

Após o preenchimento do cone, a placa de base deve ser limpada. Retira-se lentamente o molde em direção vertical, de modo que o concreto não seja submetido a movimentos horizontais, todo esse processo deve ser realizado em no máximo dez segundos, o mesmo é ilustrado na Figura 3.

Assim que for retirado o corpo de prova, é preciso que o mesmo seja colocado ao lado do concreto desmoldado e deve ser medido a diferença entre seus tamanhos, encontrado assim seu abatimento. Caso o concreto não fique em posição vertical e desmorone, é considerado que o mesmo não tem as características necessárias para sua aplicação, sendo assim ele será descartado. Se o concreto não desmoronar, ele poderá ser utilizado e deverá ser coletado e colocado em corpos de provas, onde serão submetidos a ensaios de resistência posteriormente.

Figura 2 – Exemplo de realização do slump test



Fonte: Clube do concreto (2018)

2.4. Moldagem e cura dos corpos de prova

De acordo com a ABNT NBR 5738 (2015) um corpo de prova cilíndrico deve ter uma altura igual ou o dobro do seu próprio diâmetro, esse valor pode variar entre 10 cm a 40 cm, vale ressaltar que o mesmo deve ser pelo menos duas vezes maior que o raio da medida máxima do agregado graúdo.

Segundo a ABNT NBR 5738 (2015) os corpos de provas devem ser revestidos internamente com uma camada fina de óleo mineral, facilitando assim o processo de rompimento do mesmo. Feito isso, retira-se amostras de concreto e preenche cada uma das amostras, sucessivamente. Vale ressaltar que meio a toda essa metodologia, é de suma importância realizar o adensamento correto do material, procurando preencher todos os vazios.

Logo após realizar todas etapas precedentes, inicia-se então o processo de cura. A ABNT NBR 5738 (2015) informa que de imediato é preciso deixar as amostras em superfície plana e livre de vibrações, em um prazo de 24h ou 48h. Após decorrido todo esse período, os mesmos são levados para a câmara úmida, onde são armazenados dentro de um tanque de água e só serão retirados no tempo correto de cada rompimento.

2.5. Adensamento de corpo de prova cilíndrico

Para que o concreto seja totalmente integrado ao corpo de prova, evitando buracos ou bolhas no processo, a ABNT NBR 5738 (2015) pede para seja feito um processo de adensamento. O principal motivo é para que se tenha um melhor acabamento no concreto, procurando uma uniformidade. A norma diz também que existem dois tipos de adensamentos, podendo ser realizados de forma mecânica onde é utilizado vibradores ou pode ser feito manualmente, na Tabela 3 é demonstrado como é determinado o número de golpes necessários. Será utilizado um processo manual, com o auxílio de uma haste de compactação. É realizado um número de golpes no concreto já inserido no corpo de prova, o total de impactos varia conforme a dimensão do molde.

Tabela 4 - Número de golpes para adensamento manual

Tipo de corpo-de-prova	Dimensão básica (Ø) mm	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	9	225

Fonte: ABNT NBR 5738 (2015)

2.6. Processo de cura dos corpos de prova

De acordo com a ABNT NBR 5738 (2015) o processo de cura inicial deve ser feito após a moldagem dos corpos de prova, onde os mesmos são colocados em uma superfície plana e consistente, de forma que fiquem livres de qualquer vibração ou ação do tempo. Esse procedimento deve ser respeitado nas primeiras 24h depois da coleta dos moldes.

Após decorrido o prazo estabelecido pela norma, os mesmos devem ser levados para câmaras úmidas, onde são armazenados dentro de um tanque de água e serão retirados conforme os dias programados para a desmoldagem.

2.7. Ensaio de compressão axial de corpos de prova cilíndricos

Conforme a ABNT NBR 5739 (2018) ao se iniciar o processo de compressão dos moldes, é necessário que a base dos mesmos esteja uniforme. Depois de conferido a uniformidade dos corpos de prova, o mesmo está preparado para ser submetido a um ensaio de compressão de força axial. A amostra deve estar centralizada corretamente na máquina, procurando manter uma uniformidade na aplicação da carga.

É necessário seguir os seguintes passos, de acordo com a ABNT NBR 5739 (2018), que correspondem quando a utilização correta dos corpos de prova:

- Deve-se atender uma relação entre altura e diâmetro;
- As amostras só são retiradas da câmara úmida no exato momento em que serão rompidas;
- Determinar o diâmetro da seção transversal, com a margem de erro de mais ou menos 0,1 mm;
- Ambos os pratos do aparelho, tanto o superior quanto o inferior devem estar limpos e secos, livres de qualquer irregularidade;
- Manter a constância na velocidade de aplicação da carga durante todo o ensaio;
- O ensaio só deve ser interrompido quando ocorrer uma queda significativa na velocidade de submissão da carga.

2.8. Ensaio de esclerometria

Segundo Andriolo e Sgarboza (1993) são diversas as propriedades que podem ser analisadas com técnicas de ensaios não destrutivos, quando aplicadas no objeto em estudo, podem ser encontradas os principais dados:

- Resistência;
- Massa específica;
- Módulo de elasticidade;

- Permeabilidade;
- Localização das armaduras;
- Fissurações.

Tendo como foco o ensaio de esclerometria que é um dos métodos de ensaios não destrutivos, no qual o corpo de prova em experimento é mantido em seu estado de conservação. O caso em estudo neste trabalho se torna interessante, pois pode ser aplicado em estruturas já finalizadas a partir do momento que se desejar investigar ou estudar a mesma. Seu objetivo principal condiz com a mesma metodologia adotada no teste de compressão axial, que é analisar a resistência do concreto endurecido, porém ambos se diferem na questão de execução. Quando se diz a respeito da esclerometria, a mesma consiste em um sistema de aparelhagem em que é possível estimar a dureza do concreto.

Segundo Hudson e Harisson (2000) o esclerômetro tem se tornado um dos métodos mais utilizados, quando se procura encontrar a dureza superficial de alguma área. Esse fato ocorre devido ao aparelho ser de simples manuseio e aplicação, é demonstrado na Figura 6 como é o dispositivo internamente e na Tabela 4 se tem a descrição dos mesmo.

Nas Figuras 4, 5 e 6 do presente trabalho visualiza-se com nitidez os componentes do aparelho que foi citado acima. Conforme a ABNT NBR 7584 (2012) o dispositivo tem como base principal, um tipo de massa-martelo, que ao alcançar um certo nível de impulso através de uma mola e posteriormente se chocar, com o auxílio de uma haste, a uma ponta com formato de calota esférica, sendo essa apoiada no objeto em estudo, liberando assim uma certa quantia de energia mecânica.

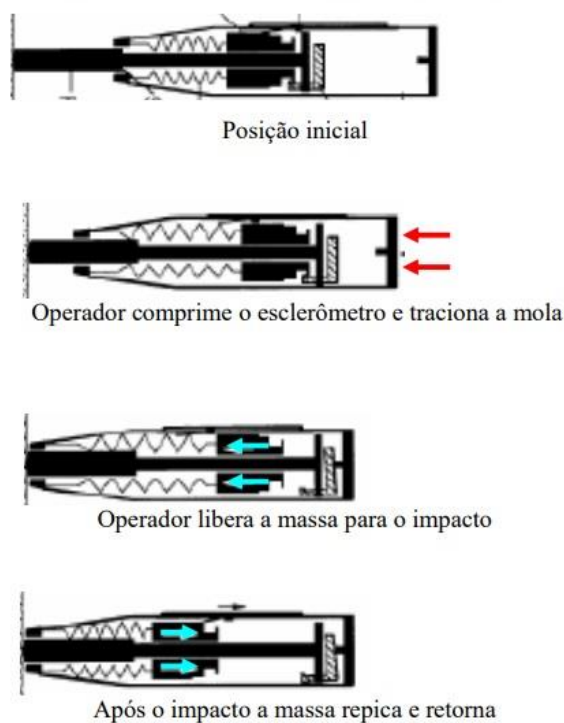
Conforme Mehta e Monteiro (2014) parte dessa energia mecânica liberada é utilizada para causar uma pequena deformação na estrutura, já o restante dessa energia fica conservada em um modo elástico e isso faz com que a massa-martelo retorne a uma posição próxima da inicial. A variação entre o posicionamento inicial e final da mesma fornece o valor da resistência superficial do elemento onde ocorreu o impacto.

De acordo com Thomaz (2007) o funcionamento do dispositivo constitui-se de uma massa ligada a uma mola, a mesma contém uma quantidade energia quando é esticada até um certo ponto quando se está comprimindo a haste do aparelho contra a área de contato. Quando se comprime a haste em uma área de concreto, a mola ficará livre e a massa sofrerá um ricochete e irá se chocar contra a própria haste. Mantendo ainda o contato com a superfície em questão, será perceptível notar uma distância percorrida, devido a massa de retorno, resultando em uma porcentagem da energia agregada do concreto e por fim determinará o índice esclerométrico.

Bottega (2010) relata que em relação a área onde o ensaio será realizado não pode ter locais que estão atingidos por exsudação, juntas de concretagem, secreção entre outros. Vale ressaltar ainda que é importante evitar cantos e bases das estruturas. Este autor achou necessário salientar que a superfície em que será aplicada o ensaio devem estar limpas e secas, e deve-se optar por locais onde estiver o mais plano possível. A ABNT NBR 7584 (2012) indica ainda o polimento com uma pedra de *carborundum* do lugar em questão.

Conforme Bauer (2008) o ensaio de esclerometria consiste em medir a dureza de determinada estrutura, pois o mesmo tem como principal objetivo realizar a análise do choque entre dois materiais, nas Figuras 4 e 5 é demonstrado o processo. Vale constar que uma dessas estruturas deve estar totalmente fixa. Tal método pode ser aplicado de duas maneiras, uma é conhecida como método da impressão e a outra como método da reflexão por choque.

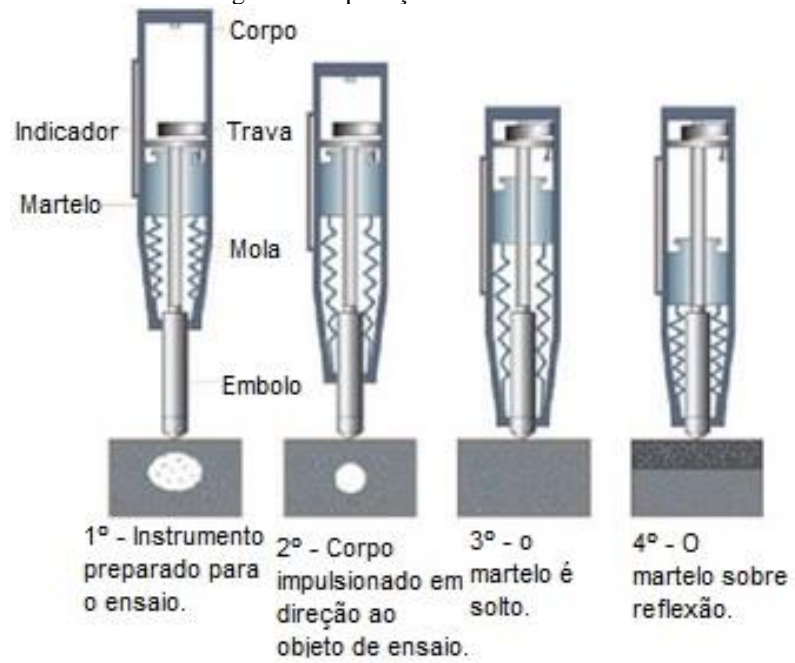
Figura 3 – Esquema de funcionamento do esclerômetro



Fonte: Thomaz (2007)

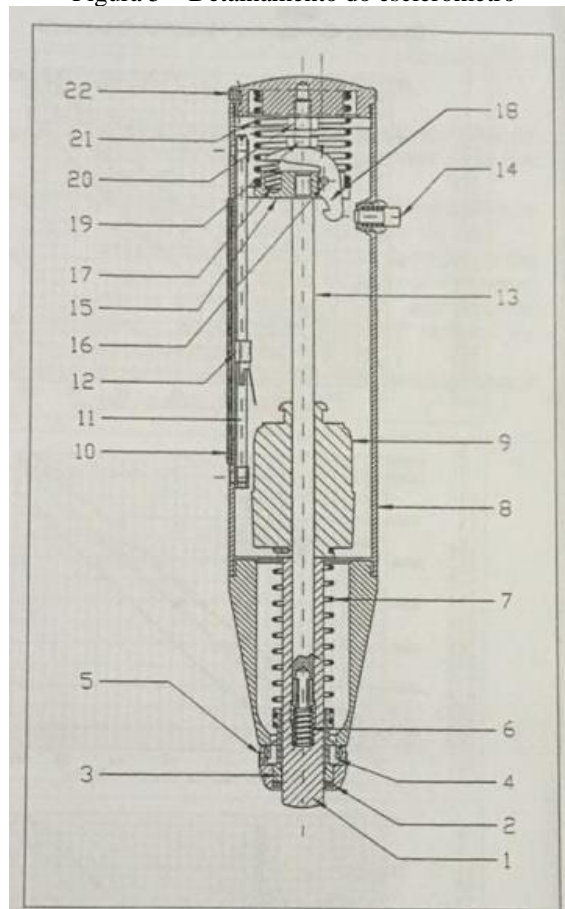
É importante ressaltar que quanto maior é a dureza da superfície de contato, menor vai ser a quantidade de energia, que ao mesmo tempo é convertida em permanente, fazendo com que se aumente o recuo ou a reflexão da massa-martelo. Vale constar também que segundo o manual Silver Schmidt (2010), os aparelhos em geral costumam ter uma pequena falha a respeito do seu valor de impacto, fazendo com que o mesmo acabe variando os valores e isso ocorre devido ao ângulo em que é aplicado os golpes.

Figura 4 – Aplicação do esclerômetro



Fonte: Mehta e Monteiro (2014)

Figura 5 – Detalhamento do esclerômetro



Fonte: Manual de instruções (2019)

Tabela 5 – Descrição dos itens do esclerômetro

Item	Descrição
1	Êmbolo de impacto
2	Arruela de feltro
3	Manga guia
4	Anel de duas partes
5	Porca
6	Mola de retenção
7	Mola de impacto
8	Habitação
9	Martelo
10	Escala graduada
11	Haste guia
12	Indicador
13	Barra de guia do martelo
14	Liga/desliga
15	Disco
16	PIN
17	Mola da lingueta
18	Lingueta
19	Parafuso de disparo
20	Porca de fixação
21	Mola de compressão
22	Contra-capac

Fonte: Manual de instruções (2019)

2.8.1. Ensaio de esclerometria: Método da impressão

Segundo Bauer (2008) esse método é realizado com o auxílio de um esclerômetro Gaede, o mesmo tem como função medir uma pequena parte da energia total do movimento que o dispositivo opera e posteriormente esse esforço é transformado em deformação permanente. Por fim é avaliado o diâmetro da deformação que foi ocasionada na superfície de contato, essa impressão é efeito da deformidade feita pela esfera do aparelho.

2.8.2. Ensaio de esclerometria: Método da reflexão por choque

De acordo com Bauer (2008) esse método se baseia em encontrar a energia ocasionada entre o choque de dois corpos, que fornece uma variação de posição entre energia inicial aplicada e energia final e a partir disso é possível determinar valores a respeito da deformação da estrutura.

Segundo a ABNT NBR 7584 (2012) o esclerômetro a ser utilizado vai ser escolhido de acordo com as características do concreto e também de acordo com o grau de precisão necessário na obtenção dos resultados dos ensaios realizados. Tendo ciência disso, pode-se optar pelos seguintes tipos de aparelhos:

- Obras com grandes volumes de concreto, como por exemplo pistas de aeroportos, o esclerômetro indicado para esse tipo é o com energia de percussão de 30 N.m;
- Em obras de pequeno porte, o dispositivo com energia de percussão de 2,25 N.m é o suficiente;
- Concretos de baixa resistência ou concreto magro, um aparelho com energia de percussão de 0,90 N.m é o necessário;
- Elementos de concretos com pequenas dimensões e frágeis a qualquer tipo grosseiro de golpe, um esclerômetro com energia de percussão de 0,75 N.m é o mais adequado.

2.8.3. As influências da superfície de contato no ensaio

De acordo com a ABNT NBR 7584 (2012) o tipo de cimento, tipo de superfície e suas condições de umidade, idade da estrutura e mal uso do esclerômetro influenciam significativamente a precisão dos resultados. Fatores como tipo de cura, tipo de agregado e carbonatação devem ser considerados também.

Segundo Evangelista (2002) a precisão do esclerômetro está em grande parte ligada as condições em que se encontra a área onde será realizada o ensaio. Afirma ainda que as estruturas onde é feito o desempenho do concreto costuma ser mais resistentes do que as que não são realizadas tal procedimento.

A ABNT NBR 7584 (2012) pede para que seja evitadas áreas com grandes irregularidades, sujas ou com curvas, pois tais intempéries afetam diretamente os resultados obtidos.

2.8.4. Tipo de cimento e suas influências

O tipo de cimento está diretamente ligado na influência do resultado do ensaio de esclerometria, sendo esse fator o mais expressivo. A ABNT NBR 7584 (2012) diz que a cada vez que ocorrer a mudança da categoria de cimento, o ensaio deve ser realizado novamente.

A importância de se conhecer o tipo de cimento utilizado cabe ao fato de que é possível encontrar diferentes tipos desse material no mercado. Por exemplo, se na dosagem do concreto for utilizado um concreto de alta resistência, esse fator irá influenciar no índice esclerométrico (TEODORU, 1988).

2.8.5. Condições de umidade da superfície e suas influências

O teor de umidade faz com que o valor do índice esclerométrico seja alterado, se a área em questão estiver úmida, terá um percentual de redução em seu valor. Por outro lado, se a mesma se encontrar seca, terá um resultado mais preciso (METHA e MONTEIRO, 2008).

2.8.6. Uso incorreto do esclerômetro e suas influências

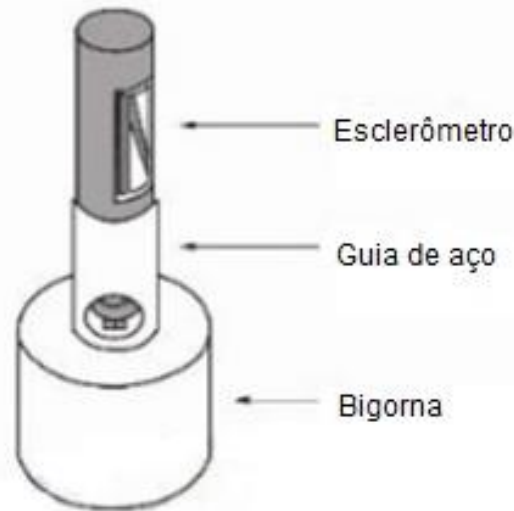
Grande parte das normativas que regem sobre o uso e aplicação do ensaio de esclerometria, recomenda que o dispositivo seja sempre utilizado em uma posição ortogonalmente à superfície em que será aplicado. A ABNT NBR 7584 (2012) regulamenta as dimensões necessárias quanto à sua aplicação pede-se que o ponto onde será colocado o aparelho deve estar a uma distância mínima de 50mm das extremidades da peça. Porém, não se encontra diferença significativa quanto ao ponto em que será colocado o esclerômetro.

2.8.7. Aferição do esclerômetro

De acordo com a ABNT NBR 7584 (2012), o aparelho deverá ser aferido antes de seu primeiro funcionamento ou a cada 300 golpes deferidos na mesma área de ensaio, a mesma ainda pede os seguintes cuidados:

- Recomenda-se utilizar uma bigorna de aço especial, constituída por uma guia do mesmo material, tendo uma massa equivalente a 16kg. Essa aparelhagem deve ser submetida a uma base nivelada e fixa, a mesma é ilustrada na Figura 7;
- Realizar um quantitativo de no mínimo 10 golpes sobre a bigorna, a cada verificação;
- Se em uma das verificações feita o índice esclerométrico médio for inferior a 75, o aparelho não deverá ser utilizado, sendo necessário então realizar o seu devido ajuste;

Figura 6 – Aparelhagem de aferição

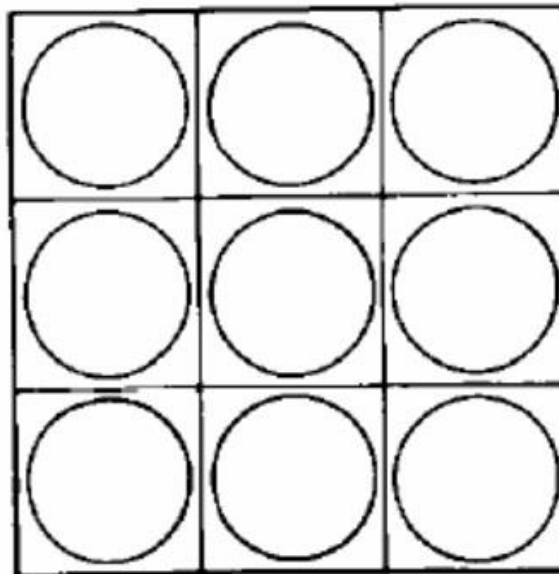


Fonte: ABNT NBR 7584(2012)

2.8.8. Dimensões da área de ensaio

Após realizado todos os procedimentos citados acima, como polimento, a escolha de uma superfície sem imperfeições, será necessário agora realizar a delimitação do local a ser trabalhado. Pede-se uma dimensão mínima de 90 cm² e no máximo 400 cm², conforme ABNT NBR 7584 (2012). Recomenda que sejam feitos dois ensaios em peças com dimensões maiores e apenas um em dimensões inferiores, sempre em lados opostos. Em cada uma das áreas de ensaio são necessários 16 golpes, não sendo permitido realizar mais de um golpe em um único ponto. Tais impactos devem ser distribuídos uniformemente. É aconselhado que seja feito um desenho determinando cada dimensão onde será realizado cada uma das colisões, conforme será demonstrada na Figura 8.

Figura 7 – Exemplo de desenho para aplicação do ensaio esclerométrico



Fonte: ABNT NBR 7584(2012)

Vale ressaltar ainda que a distância entre centros da circunferência, tenha o valor de no mínimo 3 cm. Já em relação à altura das estruturas ensaiadas, a ABNT NBR 7584 (2012) ressalta que se a mesma tiver uma estatura superior a 100 mm, não haverá empecilhos na realização do ensaio. Em casos onde a peça tiver altura inferior a tal valor, pode ocorrer que a mesma não tenha rigidez suficiente, impedindo assim o uso do esclerômetro.

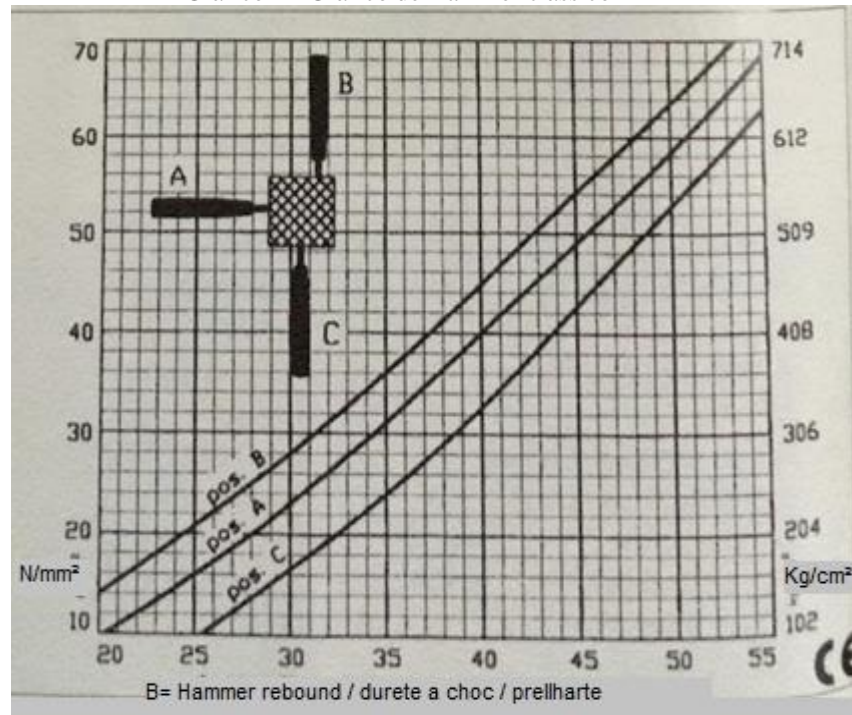
No tópico a seguir serão apresentados os resultados e discussões acerca dos ensaios de esclerometria e ruptura de corpos de prova cilíndricos realizados no concreto do pilar executado *in loco*.

2.8.9. Tratamento dos resultados

Segundo Guimarães e Santos (2015), é preciso fazer os cálculos da média aritmética obtida das leituras em cada ponto da área delimitada na realização do ensaio esclerométrico. Posteriormente, faz-se necessário desconsiderar os valores obtidos que estão 10% afastados da média calculada dos pontos em análise, para mais ou para menos, porém para a obtenção do resultado final deve ser considerado no mínimo 5 valores válidos, caso contrário deve-se descartar a área do ensaio.

A média obtida pelos valores do ensaio esclerométrico é convertido para a unidade em MPa através da tabela de Diagrama Modelo Clássico Para Concreto fornecida no manual do aparelho esclerométrico utilizado no ensaio, apresentada abaixo no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Gráfico de Hammer clássico



Fonte: Proceq (2010)

3. MATERIAL E METODOLOGIAS

Para desenvolvimento desta pesquisa são realizados dois tipos de ensaios, um por método destrutivo e outro não destrutivo. Ambos serão realizados na execução de um pilar de obra, onde foram coletado 12 corpos de prova cilíndricos com diâmetro de 100mm e altura de 200mm e posteriormente submetidos a um ensaio de compressão axial. Foi utilizado também, um aparelho conhecido por martelo de Schmidt, que tem com função medir a resistência da estrutura se baseando em diferentes pontos. Os materiais utilizados estão descritos na Tabela 7.

A obra em que foram realizados os dois ensaios está localizado na cidade de Goianésia-GO, no residencial Colina Park (Figura 9). O sistema estrutural desenvolvido na construção do imóvel é o mais usual na região, utilizou-se concreto armado. A mesma não possui laje e conta apenas com planta arquitetônica, não tendo os demais projetos, como o estrutural.

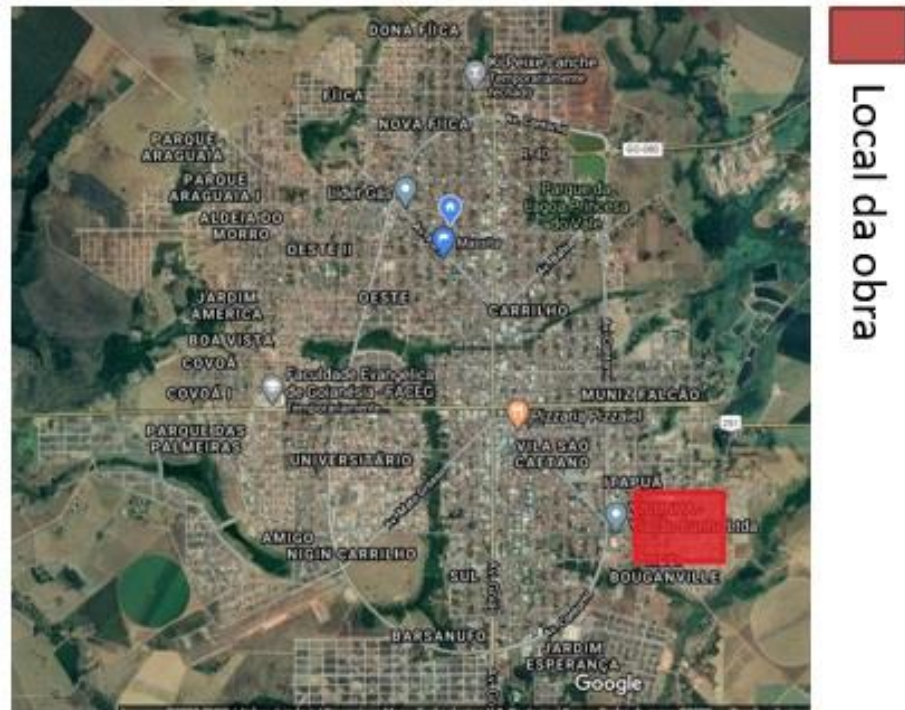
Por não se ter um projeto estrutural, informações como as ferragens que foram utilizadas e classe do concreto se tornam desconhecidas. Para o conhecimento técnico desses itens, será adotado os valores considerados pela ABNT NBR 6118 (2014), que disserta sobre estruturas de concreto armado e será debatido nos próximos tópicos.

Pensando ainda na questão estrutural da obra, porém voltado para a questão do sistema construtivo do pilar, onde no mesmo foram utilizados colunas de ferros que já vem montadas de fábrica e como foi dito acima não se teve um projeto onde determine a armadura necessária para suportar os esforços a que estão submetidos e nem especifique o quantitativo de ferros utilizados para a fabricação dos mesmos. Adotou-se dimensões através de um processo empírico no valor de 10x20 cm e observa-se aqui que a ABNT NBR 6118 (2014) não permite qualquer pilar com uma seção transversal inferior a 360 cm².

É importante ressaltar que a partir dessa obra que as amostras de concreto foram retiradas e também se encontra os pilares que foram submetidos ao ensaio de esclerometria. Vale salientar que o traço de ambos os ensaios são os mesmos, tanto o destrutivo quanto o não destrutivo.

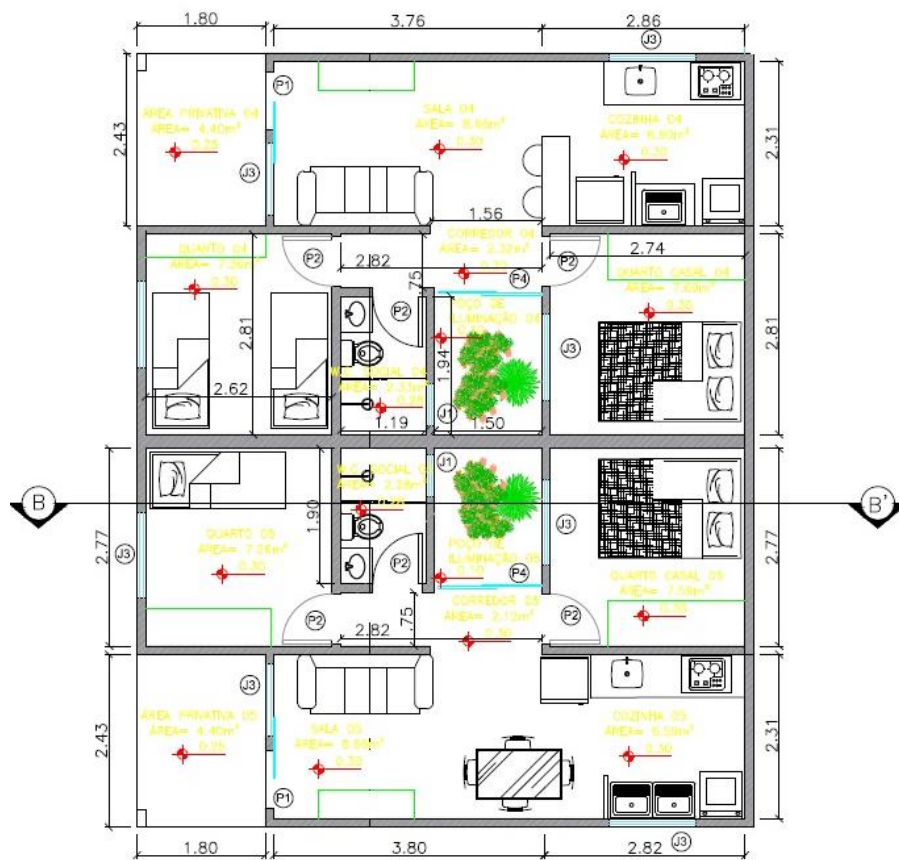
Na Figura 10 tem-se a planta baixa da edificação fornecida pelos responsáveis técnicos por esta obra, onde a mesma se trata de duas quitinetes com apenas o pavimento térreo, cada quitinete possui área construída de aproximadamente 43m². A locação dos pilares da edificação e também os quais foram utilizados o concreto para moldagem dos corpos de prova que foram submetidos ao ensaio de compressão axial e ensaio não destrutivo por meio do esclerômetro, estão relatados na Figura 11.

Figura 8 - Localização geográfica da obra



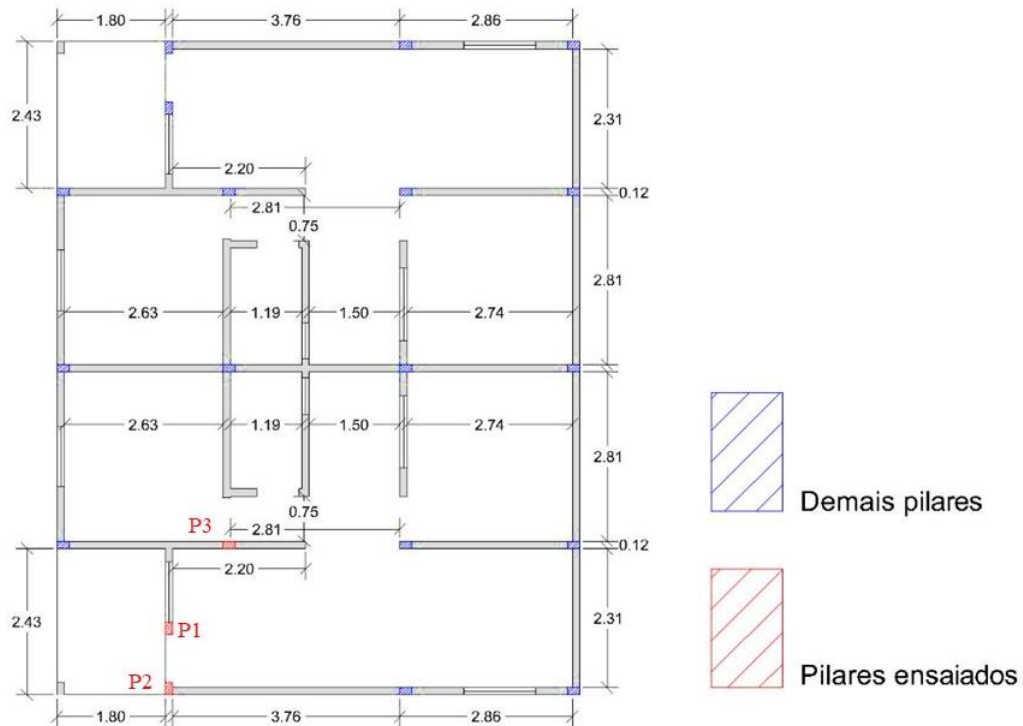
Fonte: Google Maps (2020)

Figura 9 - Projeto arquitetônico



Fonte: Autor não identificado

Figura 10 - Locação dos pilares ensaiados



Fonte: Autor não identificado

É necessário evidenciar que no processo não destrutivo pode haver diferenças nos resultados finais quando comparados ao ensaio de compressão, visto que os corpos de prova a serem rompidos não contém ferragens, esse fator pode influenciar na resistência obtida quando forem submetidos a prensa hidráulica.

3.1. Classe de resistência do concreto

Conforme a ABNT NBR 6118 (2014) no que se diz em relação a qualidade da estrutura da obra, é primordial a consideração da durabilidade da mesma. Esse fator é elaborado durante o projeto estrutural, que geralmente deve descrever o cobrimento das armaduras e à classe de resistência do concreto. Dentro da norma é estabelecido uma relação entre o ambiente em que a edificação está exposta e a sua qualidade. Vendo isso foi desenvolvida a Tabela 5 na qual é possível observar a classe de agressividade e também os riscos em que a construção está sujeita.

Tabela 6 - Classe de agressividade

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{a, b}	Pequeno
III	Forte	Marinha ^a	Grande
		Industrial ^{a, b}	
IV	Muito forte	Industrial ^{a, c}	Elevado
		Respingos de maré	

^a Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

^b Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (uma classe acima) em obras em regiões de clima seco, com umidade média relativa do ar menor ou igual a 65 %, partes da estrutura protegidas de chuva em ambientes predominantemente secos ou regiões onde raramente chove.

^c Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose e papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

A partir dessa tabela é possível determinar a classe de agressividade ambiental da obra. Por ser uma edificação urbana, o ambiente em que a mesma se encontra fornece um grau pequeno de risco quanto a deterioração da sua estrutura. Portanto, essa é uma construção que deve ter em consideração um grau de agressividade moderado. É a partir dessas informações que se encontra a classe de resistência do concreto, que relaciona essa dados na Tabela 6 abaixo, também disponibilizada pela ABNT NBR 6118 (2014).

Tabela 7 - Relação entre a classe de agressividade e a qualidade do concreto

Concreto ^a	Tipo ^{b, c}	Classe de agressividade			
		I	II	III	IV
Relação água/cimento em massa	CA	≤ 0,65	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,45
	CP	≤ 0,60	≤ 0,55	≤ 0,50	≤ 0,45
Classe de concreto (ABNT NBR 8953)	CA	≥ C20	≥ C25	≥ C30	≥ C40
	CP	≥ C25	≥ C30	≥ C35	≥ C40

^a O concreto empregado na execução das estruturas deve cumprir com os requisitos estabelecidos na ABNT NBR 12655.

^b CA corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto armado.

^c CP corresponde a componentes e elementos estruturais de concreto protendido.

Fonte: ABNT NBR 6118 (2014)

Sabendo que a obra em questão se encaixa nos parâmetros da classe II, segundo a tabela de classe de agressividade (Tabela 6), é determinado então que a categoria do concreto da mesma é C25. Na Figura 12 tem-se a apresentação do pilar em análise.

Tabela 8 – Materiais utilizados

QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	ENSAIO
01	Martelo Schmitd com energia de percussão de 2,25 N.m (Figura 14)	END
01	Pilar de obra (Figura 12)	END
12	Corpos de prova cilíndricos	Ensaio destrutivo
01	Prensa hidráulica (Figura 16)	Ensaio destrutivo
01	Bigorna para calibração (Figura 15)	END
01	Haste de compactação (Figura 18)	Ensaio destrutivo
01	Betoneira 400 litros (Figura 13)	Ensaio destrutivo

Fonte: Os autores (2020)

Figura 11 - Pilar de estudo



Fonte: Os autores (2020)

Na Figura 12 apresentada acima, é mostrado o pilar de obra moldado *in loco*, onde será feito o ensaio não destrutivo. É importante destacar que o traço do concreto é o mesmo para ambos os processos de ensaio, procurando manter as características de modo que não interfira ou favoreça algum dos métodos adotados, no aspecto de análise dos resultados finais.

Alguns materiais utilizados nos ensaios propostos ainda devem ser ressaltados aqui. Segue na Tabela 8, todos os materiais e equipamentos necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

Tabela 9 – Equipamentos

Equipamentos	
Arco de serra (Figura 22)	Moldes corpos de prova cilíndrico (Figura 19)
Betoneira 400 litros	Óleo diesel
Cano de pvc com diâmetro de 100 mm	Placa de base (Figura 20)
Colher de pedreiro	Tampões de 100mm para cano pvc
Concha (Figura 17)	
Micro retífica (Figura 21)	

Fonte: Os autores (2019)

- Betoneira marca CSM Concreta de 400 litros;

Figura 12 – Betoneira



Fonte: Os autores (2020)

- Esclerômetro marca COLAR;

Figura 13 – Esclerômetro



Fonte: Os autores (2020)

- Bigorna marca SOLOTEST;

Figura 14 – Bigorna



Fonte: Os autores (2020)

- Prensa hidráulica;

Figura 15 – Prensa hidráulica



Fonte: Os autores (2018)

- Concha para manuseio dos materiais;

Figura 16 – Concha



Fonte: Os autores (2019)

- Haste de compactação para slump teste;

Figura 17 – Haste de compactação



Fonte: Clube do concreto (2018)

- Moldes para corpo de prova cilíndrico;

Figura 18 – Moldes para corpo de prova



Fonte: Os autores (2020)

- Placa de base;

Figura 19 – Placa de base



Fonte: Os autores (2019)

- Micro retífica;

Figura 20 – Micro retífica



Fonte: Os autores (2020)

- Arco de serra;

Figura 21 – Arco de serra



Fonte: Os autores (2020)

Para os métodos adotados para esta pesquisa são os ensaios de resistência a compressão do concreto onde foram moldados corpos de prova obedecendo a ABNT NBR 5738 (2015) e ABNT NBR 5739 (2018) que rege sobre compressão de corpos de provas cilíndricos, como também foi utilizado o ensaio de resistência por esclerometria, obedecendo a ABNT NBR 7584 (2012). Para a realização de tais ensaios, necessita-se que seja realizado a dosagem do concreto obedecendo a ABNT NBR 12655 (2015), podendo ser aplicável para concreto de cimento Portland em estruturas de engenharia, estruturas moldadas em obra, estruturas pré-moldadas e componentes estruturais pré-fabricados para edificações.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo estão apresentados os resultados e discussões do trabalho. São apresentados primeiramente o processo de confecção dos moldes e preparação dos corpos de prova. Após esta etapa, são apresentados os ensaios destrutivos realizados nos corpos de prova aos 7, 14, 21 e 28 dias utilizando-se a prensa hidráulica e os ensaios de esclerometria realizados nos pilares. É importante ressaltar que a coleta dos corpos de prova foram retiradas de um único traço do concreto feito através de betoneira em obra e os pilares ensaiados também foram preenchidos com o mesmo, ou seja, o concreto é o mesmo para os dois tipos de ensaios realizados.

4.1. Corpos de prova

O processo de moldagem dos corpos de prova foram elaborados em atendimento a norma ABNT NBR 5738 (2015). Os moldes dos corpos de prova cilíndrico foram fabricados em cano PVC com diâmetro de 100mm e altura de 200mm, com as suas extremidades vedadas com um tampão de 100mm. Ao todo foram fabricados 12 corpos de provas que estão ilustrados na Figura 23 tendo como seu destino final o recebimento do concreto.

Figura 22 – Corpos de prova confeccionados



Fonte: Os autores (2020)

Após a confecção dos moldes, os mesmos são preparados para receber o concreto sendo submetidos a uma fina camada de óleo diesel. Segundo Gonçalves (2006) a aplicação desse tipo de lubrificante não vai influenciar na resistência do concreto, desde que seja retirado o excesso. Tal prática também é normatizada pela ABNT NBR 5738 (2015) e tem o intuito de facilitar a desmoldagem das amostras. O processo descrito é ilustrado na Figura 24.

O concreto foi misturado em obra com auxílio de uma betoneira utilizando-se como componentes o cimento portland CP II F-40 (Figura 25), a areia (Figura 26) e a brita 1 (Figura 27). O traço adotado em obra é de 1:3:1, sendo utilizado respectivamente os componentes citados acima. Importante ressaltar que o item que relaciona água e cimento (a/c) (Tabela 6) no tópico 3.1, não foi obedecido na realização de dosagem do concreto, sendo um fator que modifica os resultados desejados, interferindo diretamente na resistência do concreto.

É importante ressaltar que o projeto não teve um traço estabelecido em projeto conforme é recomendado pelas normativas ABNT NBR 12655 (2006). O concreto foi executado de forma empírica, misturado na obra sem controle técnico rigoroso dos materiais e quantidades. Ressalta-se ainda que o intuito do trabalho é o acompanhamento desta etapa sem influenciar tecnicamente nas decisões da obra.

Figura 23 – Aplicando a camada de óleo diesel



Fonte: Os autores (2020)

Figura 24 – Cimento portland utilizado no traço do concreto



Fonte: Os autores (2020)

Figura 25 – Areia utilizada no traço do concreto



Fonte: Os autores (2020)

Figura 26 – Brita 1 utilizada no traço do concreto



Fonte: Os autores (2020)

Nos materiais citados acima, cujo quais compõem a fabricação do traço de concreto deve ocorrer de maneira correta o armazenamento dos mesmo. Porém, na obra em que foi retirado os corpos de prova para rompimento, foi possível analisar que esses componentes não tinham uma armazenagem adequada no canteiro de obras, ficavam expostos ao ar livre, exceto os sacos de cimentos que ficavam protegidos das ações climáticas, porém em contato direto com o solo e não ocorria também a separação dos mesmos. Essas condições de conservação inteferem os resultados finais de forma negativa.

Após realizar a coleta do concreto da betoneira (Figura 28), os corpos de provas são adensados de forma manual, conforme foi descrito no tópico 2.5 do presente trabalho. Com o auxílio de uma haste de compactação, é prospectado 24 golpes ao todo, sendo os 12 primeiros realizados com o volume do molde preenchido pela metade e os golpes restantes, quando o volume foi todo preenchido. Abaixo tem-se um exemplo desse procedimento ilustrado na Figura 29.

Figura 27 – Preenchimento dos corpos de prova



Fonte: Os autores (2020)

Figura 28 - Exemplo de adensamento do concreto no corpo de prova



Fonte: Os autores (2018)

Com a etapa de preenchimento e adensamento concluída, como ilustram as Figuras 28 e 28, o próximo passo é realizar o processo de cura do concreto, conforme foi descrito no tópico 2.6. Os corpos de prova foram deixados no local onde foram moldados, por um prazo de 24h, estocados de forma que não recebam impacto, vibrações e protegidos contra ações do tempo (Figura 30). Ao fim deste prazo, foram recolhidos e submetidos a um tanque com água, para iniciar o processo de cura, como mostra a Figura 31. Os moldes são retirados no tanque de água e desmoldados de acordo com a programação de rompimento dos mesmos, citada no tópico 4.

Figura 29 – Processo de cura nas 24h iniciais



Fonte: Os autores (2020)

Figura 30 – Corpos de prova armazenados



Fonte: Os autores (2020)

Figura 31 – Corpo de prova desmoldado



Fonte: Os autores (2020)

4.2. Ensaio destrutivo

Os processos de ruptura dos corpos de prova foram realizados em atendimento à ABNT NBR 5739 (2018). Os corpos de prova foram submetidos ao aumento de carga gradualmente até sua ruptura utilizando a prensa hidráulica ilustrada na Figura 16.

4.2.1. Rompimento realizado com 7 dias

Decorrido os sete primeiros dias do processo de cura do concreto, foram ensaiados três corpos de prova como ilustra a Figura 33. Observa-se na Figura 34, que o maior valor de carga que causou ruptura encontrado foi de 2,65kgf, causando uma tensão de 3,31 MPa.

Figura 32 – Rompendo os corpos de prova com 7 dias



Fonte: Os autores (2020)

Figura 33 – Resultados obtidos em tonelada-força com 7 dias



Fonte: Os autores (2020)

Observa-se na Tabela 9 que a maior resistência obtida neste ensaio representa apenas 13,24% da resistência de projeto de 25 MPa esperada para os 28 dias em edificações construídas em zona urbana.

Tabela 10 – Resultados do rompimento com 7 dias

Corpo de prova	Área (mm ²)	Força (N)	Resultado (MPa)
CP I	7.853,98	25.015,5	3,18
CP II	7.853,98	25.996,5	3,31
CP III	7.853,98	19031,4	2,42

Fonte: Os autores (2020)

4.2.2. Rompimento realizado com 14 dias

Concluído o período de 14 dias de cura do concreto, é submetido mais três corpos de prova ao ensaio destrutivo. O processo de ruptura está ilustrado na Figura 35 e na Figura 36, ilustram-se os valores de carga de ruptura. Observa-se que a maior carga suportada por estes corpos de prova foi de 4,17 kgf, resultando na tensão de 5,21 MPa.

Figura 34 – Rompendo os corpos de prova com 14 dias



Fonte: Os autores (2020)

Figura 35 – Resultados obtidos em tonelada-força com 14 dias



Fonte: Os autores (2020)

É possível observar na Tabela 10 que a maior resistência obtida neste ensaio representa apenas 20,84% da resistência de 25 MPa esperada aos 28 dias para edificações construídas em zona urbana. Observa-se também que houve um aumento de apenas 1,52 kgf na maior carga de ruptura do ensaio de 14 dias em relação ao ensaio aos 7 dias.

Tabela 11 – Resultados do rompimento com 14 dias

Corpo de prova	Área (mm ²)	Força (N)	Resultado obtido (MPa)
CP IV	7.853,98	38.651,4	4,92
CP V	7.853,98	40.613,4	5,17
CP VI	7.853,98	40.907,7	5,21

Fonte: Os autores (2020)

4.2.3. Rompimento realizado com 21 dias

Decorrido 21 dias de cura das amostras de concreto, são ensaiados mais três corpos de prova. Nas Figuras 37 e 38 estão ilustrados os ensaios e as cargas de ruptura respectivamente. É possível destacar que a maior carga suportada por este grupo é de 3,67 kgf, resultando na tensão de 4,58 MPa.

Figura 36 – Rompendo os corpos de prova com 21 dias



Fonte: Os autores (2020)

Figura 37 – Resultados obtidos em tonelada-força com 21 dias



Fonte: Os autores (2020)

É possível observar na Tabela 11 que a maior resistência encontrada neste ensaio representa apenas 18,32% da resistência esperada de 25 MPa aos 28 dias para edificações em zona urbana. Observa-se também que houve uma redução de 0,50 kgf na maior carga de ruptura do ensaio de 21 dias em relação ao de 14 dias.

Tabela 12 – Resultados do rompimento com 21 dias

Corpo de prova	Área (mm ²)	Força (N)	Resultado obtido (MPa)
CP VII	7.853,98	35.414,1	4,51
CP VIII	7.853,98	30.018,6	3,82
CP IX	7.853,98	36.002,7	4,58

Fonte: Os autores (2020)

4.2.4. Rompimento realizado com 28 dias

A etapa final dos rompimentos consiste na submissão dos últimos três corpos de prova restantes aos 28 dias. Os mesmos são retirados do processo de cura e submetidos ao ensaio de compressão axial, conforme descrito no tópico 3.5. Nos últimos dias de cura, para que o concreto da obra esteja em conformidade com a ABNT NBR 6118 (2014) esperava-se que o concreto alcançasse uma resistência mínima de 25 MPa. Porém, o maior valor de carga de ruptura encontrado aos 28 dias foi de 4,11 kgf resultando na tensão de ou 5,13 MPa, como é ilustrado na Figura 39 e na Tabela 12.

Figura 38 – Rompendo os corpos de prova com 28 dias



Fonte: Os autores (2020)

Figura 39 – Resultados obtidos em tonelada-força com 28 dias



Fonte: Os autores (2020)

A partir da Tabela 12, pode-se verificar que a maior resistência encontrada, 5,13 Mpa, representa apenas 20,52% do valor estabelecido esperado para as edificações de zona urbana. Observa-se ainda que houve um aumento de 0,44kgf na maior carga de ruptura do ensaio de 28 dias em relação ao de 21 dias.

Tabela 13 – Resultados do rompimento com 28 dias

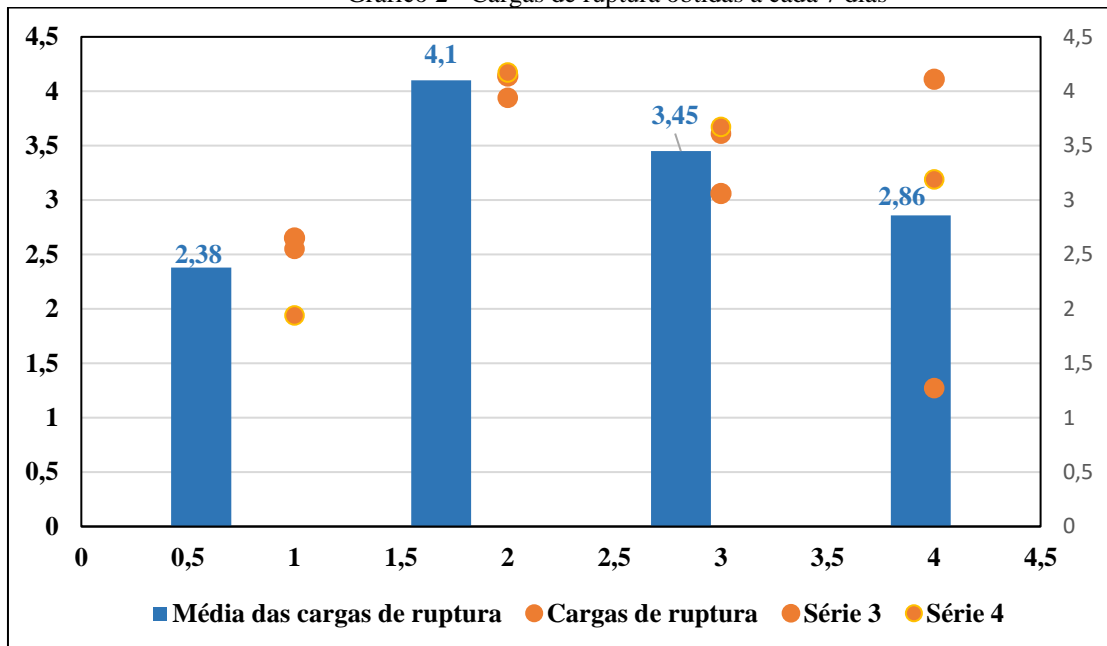
Corpo de prova	Área (mm ²)	Força (N)	Resultado obtido (MPa)
CP X	7.853,98	12.458,7	1,59
CP XI	7.853,98	40.319,1	5,13
CP XII	7.853,98	31.293,9	3,98

Fonte: Os autores (2020)

4.2.5. Tratamento dos resultados

No Gráfico 2 ilustra-se a evolução dos valores de carga de ruptura obtidos para os corpos de prova. Observa-se que ao invés de aumento gradativo de capacidade de carga, houve pontos de redução de resistência no ensaio de 21 dias, em relação ao ensaio de 14 dias e nos demais ensaios houve aumento de resistência em relação ao ensaio anterior. Ao se analisar o gráfico abaixo, é possível perceber que no rompimento dos corpos de prova com 28 dias obtém-se resistências inferiores aos ensaios com 7 dias. Ressalta-se que o concreto foi retirado de betonada única e que a mesma foi inserida nos três pilares ensaiados com esclerometria que será discutido adiante no tópico 4.3.

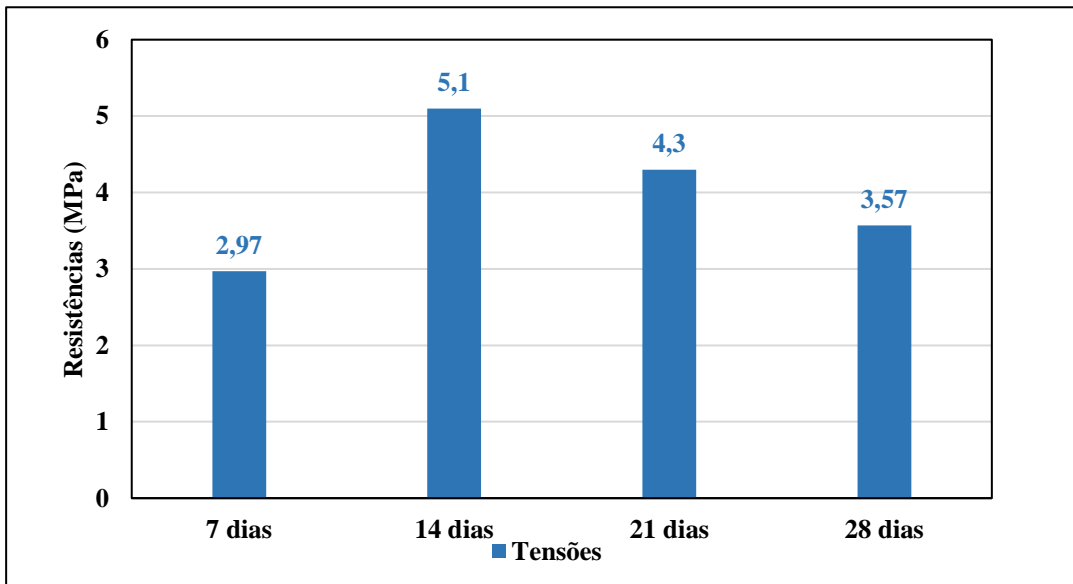
Gráfico 2 - Cargas de ruptura obtidas a cada 7 dias



Fonte: Os autores (2020)

No Gráfico 3 é demonstrado a conversão dos valores das cargas de ruptura, obtidas em tonelada-força. Observa-se ainda que os corpos de provas rompidos na idade de 14 dias ainda leva vantagem se comparados aos demais intervalos de idade.

Gráfico 3 - Média das tensões obtidas a cada 7 dias do ensaio destrutivo



Fonte: Os autores (2020)

4.3 Ensaio não destrutivo

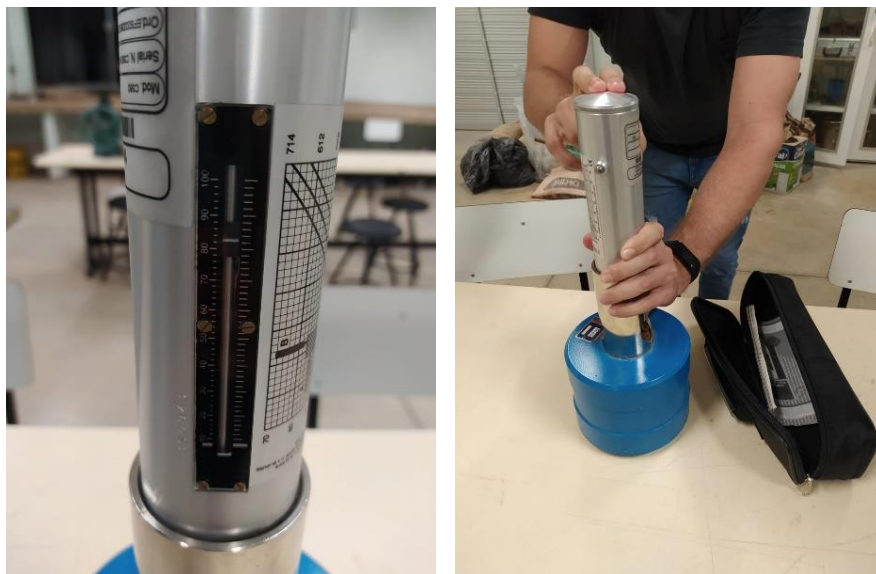
Este item consiste na apresentação dos resultados e da realização do ensaio esclerométrico em conformidade com a norma ABNT NBR 7584 (2012). Primeiramente é apresentada a aferição do equipamento e determinação da área a ser ensaiada no elemento estrutural na localização da betonada de concreto ensaiada no ensaio não destrutivo e

posteriormente, as resistências a compressão obtidas com o ensaio não destrutivo de esclerometria.

4.3.1 Aferição do equipamento

Seguindo as normativas da ABNT NBR 7584 (2012), conforme descrito no tópico 2.6.7 para a aferição do esclerômetro. Com o auxílio de uma bigorna de aço especial de 16kg e possuindo uma guia do mesmo material realizaram-se aferições com 10 golpes contra o equipamento. Com este procedimento foi obtida uma média do índice esclerométrico igual a 82, índice este satisfatório na realização do ensaio não destrutivo, pois a norma estabelece um índice esclerométrico igual ou superior a 75. Na Figura 41 observa-se a ilustração da aferição do equipamento.

Figura 40 – Aferição do esclerômetro



Fonte: Os autores (2020).

4.3.2 Área de ensaio

Respeitando a ABNT NBR 7584 (2012) como descrito no tópico 2.8 deste presente trabalho, primeiro foi marcada a área de análise para realização do ensaio de esclerometria e posteriormente o tratamento da superfície com pedra abrasiva no intuito de eliminar as possíveis deformações decorrentes da desforma dos pilares. Nesta etapa, adotaram-se as nomenclaturas para os pilares analisados no ensaio tais como Pilar 1, Pilar 2 e Pilar 3 cujas localizações foram locadas em planta, sendo ilustrados na Figura 11 do capítulo 3. Ressalta-se que nos pilares P1, P2 e P3 foi utilizado o mesmo concreto da betonada do ensaio destrutivo. Na Figura 42 é apresentada a realização do tratamento da superfície do pilar e também a realização do ensaio esclerométrico.

Figura 41 – Pilar em análise



Fonte: Os autores (2020).

4.3.3 Ensaio esclerométrico com 7 dias

Como pretendido nos objetivos do trabalho, assim como no ensaio de rompimento dos copos de prova, após passados sete dias do processo de cura do concreto, realizou-se o ensaio esclerométrico nos pilares em que foram aplicados o concreto fornecido para a moldagem dos corpos de prova. Após a realização dos ensaios esclerométricos na idade de 7 dias, obtiveram-se as seguintes leituras, conforme apresentado na Tabela 13.

Tabela 14 – Índices esclerométricos dos pilares com 7 dias

Índice Esclerométrico	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 3
Ensaio 1	14	18	17
Ensaio 2	16	18	17
Ensaio 3	16	16	18
Ensaio 4	16	18	18
Ensaio 5	16	18	16
Ensaio 6	<i>13</i>	16	19
Ensaio 7	16	18	18
Ensaio 8	16	18	18
Ensaio 9	<i>12</i>	19	18
Média	15,71	17,66	17,66

Fonte: Os autores (2020)

Respeitando os métodos de tratamento dos resultados obtidos com o ensaio esclerométrico, assim como descrito no tópico 2.8.9, faz-se necessário os cálculos da média aritmética das leituras. Após calculada a média aritmética dos ensaios obtidos *in loco* para cada pilar em análise, se necessário, é preciso descartar as leituras que se encontram distantes em mais de 10% de cada um dos índices (Tabela 13), para mais ou para menos à partir desta média obtida. Sendo assim, para o pilar 1 são consideradas as leituras que correspondem no intervalo entre 13,50 e 16,50, desconsiderando-se as leituras que não estão neste intervalo. Para o pilar 2

e 3, consideraram-se as leituras que correspondem no intervalo entre 15,90 e 19,44, desconsiderando-se as leituras fora deste intervalo.

A Tabela 13 apresenta em negrito os valores que serão utilizados para o cálculo da média do índice esclerométrico, bem como as leituras desconsideradas em itálico para o ensaio na idade de 7 dias do concreto. Os resultados obtidos para o pilar 1, fez-se necessário desconsiderar as leituras do ensaio 6 e ensaio 9 pois encontram-se fora do intervalo da média aritmética, para os demais pilares não foi necessária a desconsideração de nenhuma das leituras. Prosseguindo o experimento, é preciso calcular a média dos índices esclerométricos válidos para obter-se a resistência do concreto na idade de 7 dias a partir do ensaio não destrutivo.

Com o auxílio do Gráfico de Hammer Clássico fornecido no manual do equipamento esclerométrico e apresentado no Gráfico 1 observa-se que a curva a ser avaliada é a curva A, pois o ensaio foi realizado com o esclerômetro na posição horizontal. Observa-se também que o índice esclerométrico mínimo para aplicação deste ensaio é 20, haja vista que o ensaio esclerométrico é aplicável para resistências superiores a 10 MPa. No entanto, os índices obtidos no ensaio aos 7 dias da moldagem do pilar na obra tem valores inferiores a este mínimo, o que já indica que o concreto está em uma fase não estrutural nesta idade com resistência inferior a 10 MPa.

4.3.4 Ensaio esclerométrico com 14 dias

Realizada a visita técnica na obra para a execução do ensaio não destrutivo do concreto na idade de 14 dias, obtiveram-se as seguintes leituras do equipamento esclerométrico, conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 15 – Índices esclerométricos dos pilares com 14 dias

Índice Esclerométrico	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 3
Ensaio 1	17	19	19
Ensaio 2	17	20	19
Ensaio 3	16	20	20
Ensaio 4	17	19	19
Ensaio 5	18	21	<i>17</i>
Ensaio 6	<i>15</i>	19	21
Ensaio 7	18	20	20
Ensaio 8	<i>19</i>	20	19
Ensaio 9	16	22	20
Média	17	20	19,63

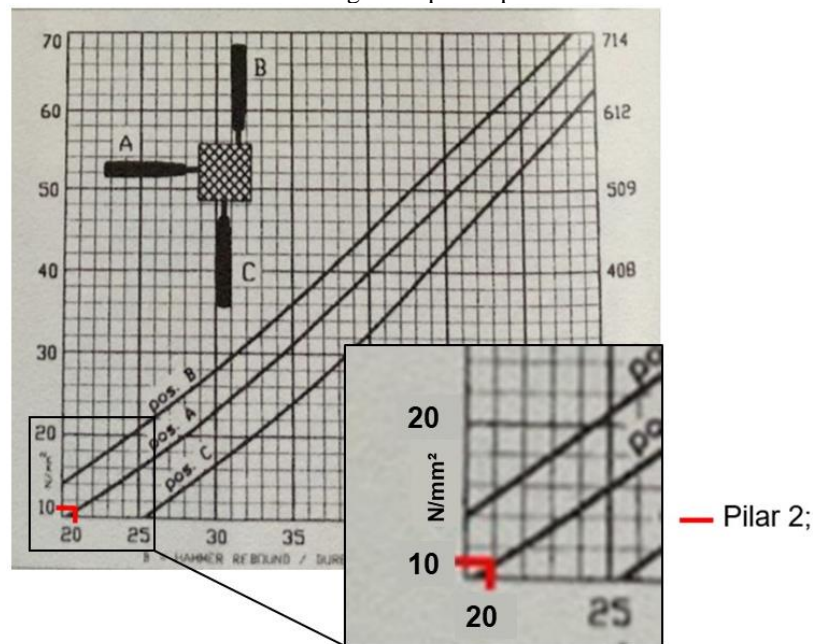
Fonte: Os autores (2020).

Assim como apresentado no método realizado na idade do concreto anteriormente, o cálculo da média aritmética das leituras esclerométricas é realizado e e consideram-se os índices em uma margem de 10% para mais ou para menos a partir desta média obtida. Para o pilar 1, consideram-se todas as leituras que compreendem o intervalo entre 15,30 e 18,70, desconsiderando as demais leituras do instrumento fora deste intervalo. Para o pilar 2, são considerados os valores que compreendem o intervalo entre 18,00 e 22,00, desconsiderando também as leituras que não se encontram neste intervalo. Já analisando os índices do pilar 3, pode-se considerar todas as leituras que compreendem no intervalo entre 17,39 e 21,26, descartando demais valores que estão fora deste intervalo.

A Tabela 14 apresenta em negrito os valores que serão utilizados para o cálculo da média do índice esclerométrico, bem como as leituras desconsideradas em itálico para o ensaio na idade de 14 dias do concreto. Consideram-se as leituras do esclerômetro, conforme já analisadas acima e apresentada na Tabela 14, que compreendem como a desconsideração dos ensaios 6 e 8 para o pilar 1, e do ensaio 5 para o pilar 3.

Nesta etapa do ensaio não destrutivo pode-se observar que o único pilar a ser considerado para análise gráfica é o P2, pois o mesmo se encontra nos valores limites fornecidos pelo Gráfico de Hammer (Gráfico 1). Já os pilares 1 e 3 não se encontram nas resistências mínimas estabelecidas, sendo os mesmos considerados com valores abaixo de 10 MPa.

Gráfico 4 - Análise gráfica para o pilar 2 com 14 dias



Fonte: Adaptado de Proceq (2010)

É importante ressaltar que o pilar 2 obtém então uma resistência correspondente de 10 MPa.

4.3.5 Ensaio esclerométrico com 21 dias

Completando-se a idade de 21 dias do concreto moldado em obra, realizou-se a visita técnica para a aplicação do ensaio não destrutivo e as leituras feitas estão apresentadas na Tabela 15.

Tabela 16 – Índices esclerométricos dos pilares com 21 dias

Índice	Esclerométrico	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 3
Ensaio 1		17	22	20
Ensaio 2		17	20	21
Ensaio 3		16	19	20
Ensaio 4		17	22	20
Ensaio 5		17	20	19
Ensaio 6		18	20	19
Ensaio 7		17	22	22
Ensaio 8		18	19	18
Ensaio 9		17	22	21
Média		17,11	20,66	20

Fonte: Os autores (2020).

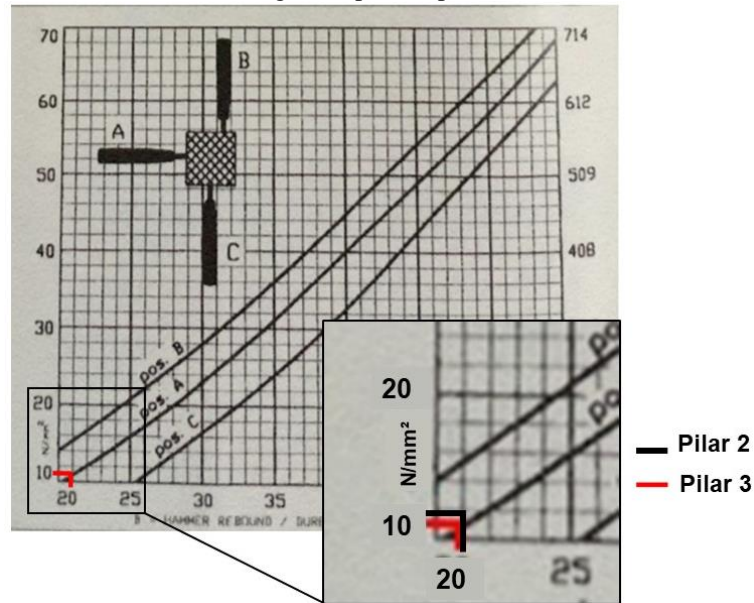
Seguindo os métodos de cálculo para o ensaio não destrutivo, obtém-se a média aritmética das leituras anotadas *in loco*, conforme a Tabela 15, para a determinação da resistência do concreto na idade de 21 dias dos pilares. Sendo assim, faz-se necessário a consideração das leituras que compreendem no intervalo dos índices esclerométricos do pilar 1 entre os valores de 15,40 e 18,82. Para análise do pilar 2, todas as leituras que compreendem entre os valores de 18,60 e 22,73 são consideradas, e as demais que não compreendem este intervalo, desconsideradas. Já o pilar 3, pode-se considerar todas as leituras que compreendem no intervalo entre 18,00 e 22,00.

Não fez-se necessário desconsiderar nenhuma das leituras obtidas do ensaio não destrutivo nos pilares 1 e 2, porém fez-se necessário a desconsideração da leituras obtidas nos ensaios 7 e 8 do pilar 3. A Tabela 15 apresenta em negrito os valores que serão utilizados para o cálculo da média do índice esclerométrico, bem como as leituras desconsideradas em itálico para o ensaio na idade de 21 dias do concreto.

Para o pilar 1 observou-se um baixo valor da média esclerométrica, logo, o mesmo tem baixa resistência estrutural nesta idade não se encontrando no intervalo de resistência fornecida pelo Gráfico de Hammer, pois sua resistência encontra-se abaixo de 10 MPa. Já para os pilares 2 e 3, pode-se obter a resistência do concreto moldado na obra pelo Gráfico de

Hammer (Gráfico 1), os valores compreendem em 11 MPa para o pilar 2 e 10 MPa para o pilar 3.

Gráfico 5 - Análise gráfica para os pilares 2 e 3 com 21 dias



Fonte: Adaptado de Proceq (2010)

4.3.6 Ensaio esclerométrico com 28 dias

No ensaio efetuado para a idade de 28 dias do concreto moldado em obra, obteve-se as leituras dos índices esclerométricos ilustradas na Tabela 16. Observa-se que todas elas são capazes de serem analisados através do Gráfico de Hammer fornecido pelo aparelho de esclerômetro, pois são superiores a 20.

Tabela 17 – Índices esclerométricos dos pilares com 28 dias

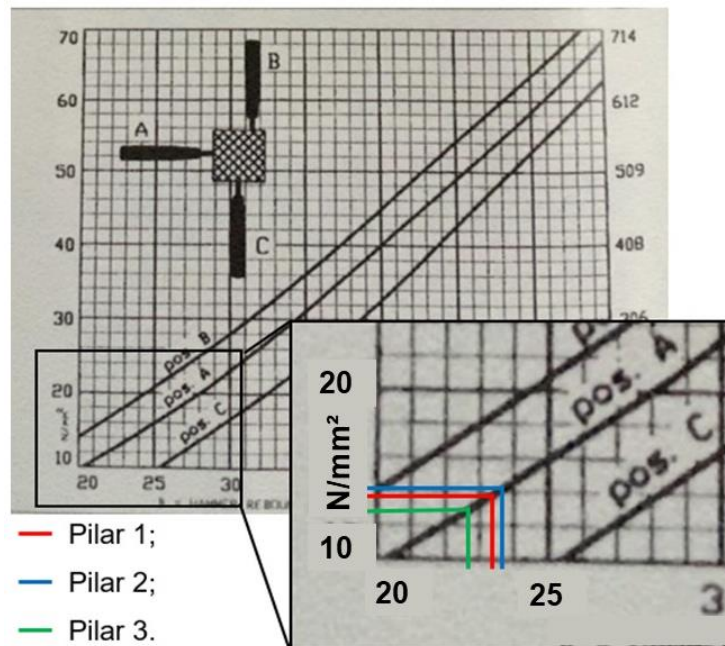
Índice Esclerométrico	Pilar 1	Pilar 2	Pilar 3
Ensaio 1	23	24	25
Ensaio 2	24	23	23
Ensaio 3	24	22	22
Ensaio 4	24	23	23
Ensaio 5	22	24	26
Ensaio 6	24	24	23
Ensaio 7	22	25	24
Ensaio 8	24	23	21
Ensaio 9	24	24	22
Média	23,44	23,55	22,88

Fonte: Os autores (2020).

Em domínio das leituras obtidas na realização do ensaio, faz-se necessário o tratamento das mesmas através da média aritmética para o cálculo do índice esclerométrico. Prossegue-se o ensaio com a desconsideração das leituras que se encontram 10% para mais ou para menos à partir desta média. Para que a análise do pilar 1 seja válida, será necessário a consideração de todos os valores que compreendem no intervalo entre os valores de 21,10 e 25,79. O pilar 2 pode ser validado sua análise a partir das leituras que compreendem no intervalo entre os valores de 21,20 e 25,90. Por último, para análise do pilar 3, devem ser considerado as leituras que compreendem entre os valores de 20,90 e 25,54.

Nesta etapa do ensaio esclerométrico também não fez-se necessário a desconsideração das leituras obtidas em obra dos pilares 1 e 2, porém para o pilar 3 foi preciso a desconsideração da leitura obtida no ensaio 5 ilustrada em itálico na Tabela 16. No ensaio realizado com idade de 28 dias, foi possível encontrar a resistência dos três pilares através da análise do Gráfico de Hammer (Gráfico 6), pois ambos estavam dentro dos valores limites no qual o gráfico considera.

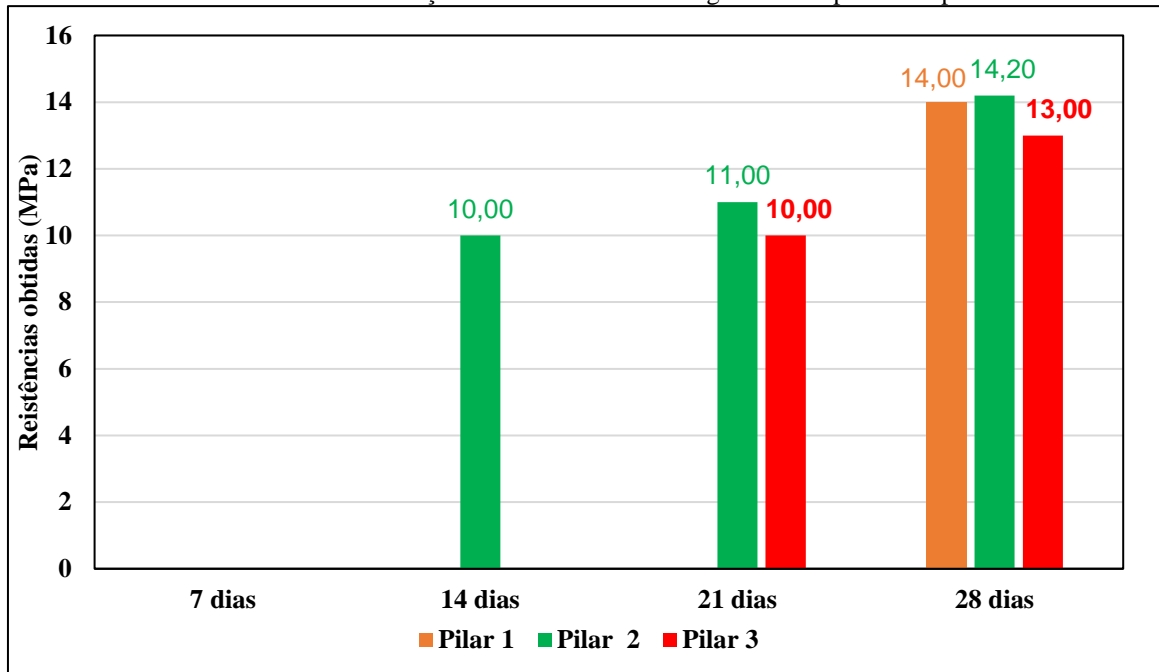
Gráfico 6 - Análise do Gráfico de Hammer para ensaio esclerométrico realizado com 28 dias



Fonte: Adaptado de Proceq (2010)

Conforme apresentado no Gráfico de Hammer (Gráfico 1), pode-se obter a resistência de cada pilar analisado com as médias esclerométricas feitas a partir das leituras do ensaio não destrutivo realizado *in loco* para o concreto na idade de 28 dias. A resistência correspondente para o pilar 1 é 14 MPa, também foi obtido o valor de 14,20 MPa para a resistência do pilar 2 e por fim no pilar 3 obteve-se uma resistência de 13 MPa.

Gráfico 7 – Evolução das resistências ao longo dos dias para cada pilar



Fonte: Os autores (2020)

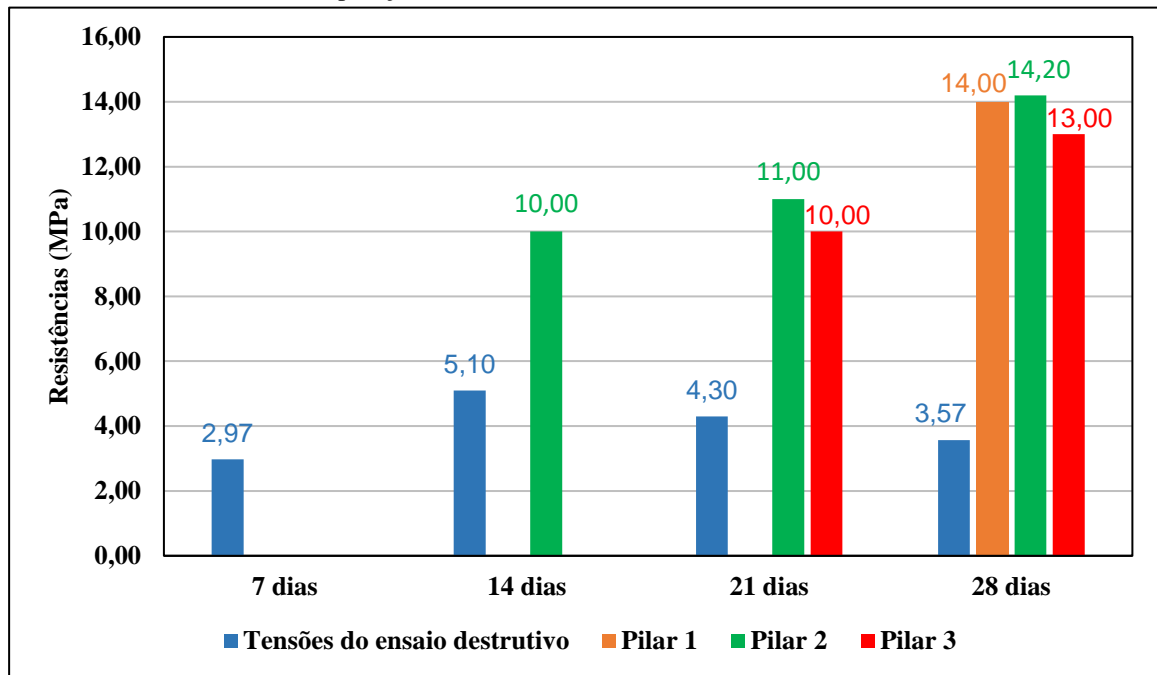
No Gráfico 7 observa-se a evolução dos valores de resistência obtidas com os ensaios de esclerometria. Apesar de haverem resistências que não puderam ser lidas graficamente, com a percepção do aumento dos índices esclerométricos observa-se que houve um aumento gradativo de capacidade de carga nos pilares. Observa-se particularmente no pilar 1, no qual também foi efetuado ensaio destrutivo, uma resistência aos 28 dias com percentual de 56% em relação à resistência de 25 MPa recomendada pela ANBT NBR 6118 (2014) para edificações urbanas, enquanto para os pilares 2 e 3, 56,8% e 52% respectivamente.

É importante ressaltar que as percentagens foram calculadas e comparadas aos ensaios na idade de 28 dias. Com estes valores obtidos, verifica-se a não conformidade com esta tão importante prescrição normativa que visa a durabilidade e segurança das estruturas.

4.4 Análise comparativa entre os ensaios destrutivos e não destrutivos

A partir dos valores da resistência do concreto obtido no ensaio destrutivo e ensaio não destrutivo realizados no pilar 1, 2 e 3, é possível correlacionar os valores de resistência a compressão nas idades do concreto em 7 dias, 14 dias, 21 dias e 28 dias. Conforme apresentado no Gráfico 8.

Gráfico 8 - Comparação das resistências obtidas no ensaio destrutivo com o não destrutivo



Fonte: Os autores (2020)

No Gráfico 8, observa-se nos trechos iniciais aos 7 dias, que não são possíveis análises comparativas entre os tipos de ensaios, pois o concreto não atingiu resistência estrutural suficiente para aplicação do ensaio de esclerometria de 10 MPa. Comparando-se os resultados aos 14 dias, percebe-se que a esclerometria do pilar 2 apresenta um resultado de resistência 96,08% superior ao ensaio de ruptura. Aos 21 dias, os pilares 2 e 3 apresentam resistência superior a do destrutivo. Já aos 28, todos os pilares ensaiados não destrutivamente, apresentaram resistências maiores.

Observa-se na planta ilustrada na Figura 11 que o pilar 2 é um pilar de extremidade e ainda no Gráfico 8, pode-se verificar que a resistência a compressão do concreto foi a que apresentou melhor desempenho com ganho de resistência dentre os pilares. No entanto, não atendeu aos requisitos de qualidade recomendados para edificações construídas em zona urbana.

A grande diferença nos resultados obtidos com o ensaio destrutivo e o ensaio não destrutivo deve-se ao fato da relação água/cimento utilizado no traço do concreto ao moldar o corpo de prova, tenha sido fabricado sem uma dosagem rígida, a perda de água do corpo de prova para o meio em que se encontrava após a moldagem, mesmo estando em condições ideais indicadas segundo a norma ABNT NBR 5738 (2015), sofrendo um encurtamento longitudinal. Pode-se levar também para o ensaio esclerométrico em consideração o confinamento do concreto dos pilares na obra e o acréscimo das armaduras utilizadas na construção dos mesmos, este fator influencia diretamente no resultado uma vez que o corpo de prova pode se expandir

lateralmente quando submetido a compressão axial exercida pela prensa hidráulica utilizada no ensaio.

A baixa resistência à compressão axial a qual foi submetida os corpos de prova também podem ser atribuídos ao tipo de material utilizado na moldagem dos mesmos, pois se tratando de material PVC onde o mesmo pode ter afetado, mesmo que respeitando as normativas para confecção dos moldes, afetando minimamente no resultado. Porém, o fator mais importante deste ensaio destrutivo que afetou diretamente a resistência à compressão axial do concreto é a não calibração da prensa hidráulica utilizada no ensaio, pois foi verificada uma baixa resistência à compressão do concreto em trabalhos acadêmicos realizados no mesmo período e que o mesmo concreto utilizado nestes outros trabalhos acadêmicos, resultaram em resistências superiores quando submetidos à compressão axial em outras prensas hidráulicas.

Entender a importância de se fazer uma minuciosa análise do traço do concreto é essencial para que se chegue ao resultado de resistência desejado, o detalhamento desse estudo foi especificado a partir do tópico 2.1. Segundo Tutikian (2011) todo tipo de concreto necessita de alcançar uma determinada trabalhabilidade e isso deve ser adequado de acordo com cada situação.

Geralmente todos os itens necessários vem descritos em projetos estruturais, como por exemplo as fôrmas, armaduras e demais detalhes. Além de se formular um traço conforme estabelece a ABNT NBR 12655 (2015), é importante estar realizando o ensaio de consistência ou slump test, o processo do mesmo é descrito no trabalho nos tópicos 2.2 e 2.3 e normatizado pela ABNT NBR NM 67 (1998).

A falta de um ensaio de dosagem do concreto antes de efetuar a fabricação do mesmo e a análise do ensaio de abatimento, já com o concreto fresco afeta consideravelmente sua qualidade. Esses fatores influenciam diretamente os parâmetros de qualidade do concreto, sendo esses, o principal, segundo Tutikian (2011) o ensaio de resistência à compressão. Ainda de acordo com Helene (2011) tem-se ainda outros fatores que são prejudicados na falta do controle de qualidade do concreto, como sua trabalhabilidade, durabilidade, deformabilidade. Quando se tem uma deterioração desses componentes citados acima, toda uma estrutura pode ser comprometida ocasionando inúmeras patologias.

Segundo Helene (2011) o concreto endurecido tem suas propriedades redigidas por um profissional com conhecimentos aprofundados em projetos de estruturas, já com o concreto fresco essas determinações são realizadas através de equipamentos e métodos executivos, como o transporte, adensamento e lançamento do concreto.

Enfatizando-se a importância de um estudo detalhado da dosagem do concreto, Metha e Monteiro (2008) diz que os fundamentos dessa ciência tem uma relação consolidada com fundamentos científicos, mas que também tem seu desenvolvimento ligado as partes experimentais, onde os profissionais jamais devem deixar de lado o estudo e a prática desse tipo de conhecimento.

Visto que não se teve o controle técnico necessário para a obra de onde foi retirado as amostras e feito o ensaio não destrutivo, não se teve resultados satisfatório nas resistências para pilares de concreto armado construídos em zona urbana, que conforme a ABNT NBR 6118 (2014) seria necessário um concreto com resistência mínima de 25 MPa.

Observa-se nos resultados dos ensaios destrutivos e não destrutivos que apesar das resistências obtidas no ensaio destrutivo para o pilar 1 ser maior que as obtidas no ensaio destrutivo, a obra não houve êxito com relação a obtenção da resistência mínima de 25 MPa sugerida pela ABNT NBR 6118 (2014) para edificações construídas em zona urbana com risco de deterioração da estrutura pequeno. Ressalta-se que não houve especificação de traço para o concreto em projeto e o concreto foi misturado de maneira empírica pelos trabalhadores da obra sem fiscalização técnica.

No ensaio destrutivo observou-se no Gráfico 2, do tópico 4.2.5 que ao invés de aumento gradativo de capacidade de carga houve período de redução de resistência, enquanto no ensaio não destrutivo, apenas aumento gradativo.

É importante ressaltar a importância do controle de qualidade dos materiais empregados em obra e da especificação do traço correto para o concreto em projeto. A ABNT NBR 8953 (2015) recomenda como resistência mínima para concreto estrutural o valor de 25 MPa e diz ainda que concretos de classe C20 não são considerados estruturais e se forem utilizado como tal, o mesmo deve atender os requisitos estabelecidos pela ABNT NBR 6118 (2014) e ABNT NBR 12655 (2015). A ABNT NBR 6118 (2014) permite ainda a utilização de concretos com resistência de 15 MPa para fundações e obras provisórias. Observa-se que o concreto misturado nesta obra não atingiu a resistência adequada para ser aplicado em estruturas de concreto visando sua segurança e durabilidade, então não deveria ser aplicado na execução do pilar.

5. CONCLUSÃO

Ao longo do trabalho foram realizados dois tipos de ensaios propostos nos objetivos, um dos ensaios foi feito através de métodos destrutivos de compressão axial de corpo cilíndrico e o outro ensaio foi o não destrutivo adotando-se o ensaio esclerométrico. Foram coletados amostras de concreto de uma dosagem sem controle rigoroso e feito a aplicação do aparelho de esclerometria em pilares da mesma obra de onde foram retirados os moldes de concreto. Com a confecção dos corpos de prova, os mesmos foram submetidos ao ensaio determinado no tópico 2.7. Considerando as mesmas idades do concreto para o processo não destrutivo, onde os pilares foram ensaiados conforme descrito no item 2.8. Com este ensaio pode-se concluir que as condições de resistência do concreto utilizado na obra não atendem os requisitos mínimos, que é o atendimento a classe C25 e isso pode comprometer a segurança da estrutura, trazendo problemas futuros, como diversas patologias.

Durante todo o procedimento esclerométrico, os ensaios foram efetuados em diferentes pontos de três pilares com idades diferentes. Os principais pontos de aplicação foram a base superior e inferior e o centro dos respectivos pilares, com intuito de realizar uma análise mais precisa do mesmo. Com este ensaio pode-se concluir que o mesmo teve resultados mais próximos ao valor estabelecido através da ABNT NBR 6118 (2014), porém os resultados também não atendem os parâmetros mínimo para o tipo de obra, não alcançando assim a resistência definida.

Sabe-se que o método de compressão axial é o mais utilizado atualmente, porém o ensaio de esclerometria tem ganhado destaque. Mas é importante enfatizar que ao longo dos estudos realizados no presente trabalho, na análise não destrutiva as condições do concreto que foram ensaiadas tiveram diferenciação se comparadas ao ensaio destrutivo pela inserção de armaduras. Com a comparação destes dois ensaios pode-se concluir que o método não destrutivo obteve resultados superiores e mais satisfatórios em relação ao destrutivo, porém ambos forneceram resultados abaixo do esperado.

Com a idade de 7 dias do concreto em ambos os ensaios adotados, é possível analisar que o método adotado para o ensaio destrutivo obteve mais precisão, visto que foi possível obter sua resistência na idade mencionada e no ensaio esclerométrico não foi encontrado um valor de resistência, devido ao fato de que nesse tipo de ensaio não é possível estar obtendo leituras inferiores a 10 MPa.

Ao se alcançar a idade de 14 dias, foram obtidos valores de 10 MPa e 5,1 MPa, correspondentes ao ensaio esclerométrico e o de compressão axial, respectivamente. Na

seguinte idade é notório a diferença nas leituras fornecidas, tendo se um aumento de 96,08% no valor do ensaio de ruptura do concreto.

Ao se comparar os ensaios quando atingem a idade de 21 dias, é alcançado valores correspondente a 4,3 MPa através do método destrutivo e um resultado de 11 MPa para o ensaio não destrutivo, obtendo então um aumento de 155,81% quando comparado ao procedimento de compressão axial.

Quando ambos os ensaios atingem a idade final adotada no trabalho, que é de 28 dias, o ensaio esclerométrico continua fornecendo valores bem superiores quando comparados ao do ensaio destrutivo. É fornecido resultados com valores de 3,57 MPa para o ensaio de compressão e 14,2 MPa para o ensaio esclerométrico, tendo então um aumento de 297,76% em relação ao ensaio de ruptura.

É importante ressaltar que os motivos que levaram a obtenção dos valores inferiores não devem ser atribuídos aos métodos de ensaios adotados, mas sim aos erros durante a execução em todo o procedimento da concepção estrutural da obra.

Neste trabalho deparou-se com as dificuldades da execução da obra sem controle rigoroso dos materiais, ou traço especificado em projeto, visto que muitos profissionais deixam de lado os pré-requisitos para uma obra bem elaborada e com um grau elevado de qualidade. Isso afetou notadamente os resultados de resistência obtidas inferiores à resistência mínima recomendada pela ABNT NBR 6118 (2014).

Para continuidade do estudo aqui proposto, recomenda-se a avaliação estrutural da evolução gradativa da resistência mecânica dos pilares 1, 2 e 3 por meio do ensaio de esclerometria. Recomenda-se também como trabalho futuro, um estudo das qualidades, durabilidade e patologias geradas nesta edificação em virtude das baixas resistências obtidas neste trabalho. Além disso, sugere-se também um estudo voltado para o acompanhamento nas obras a respeito da execução dos métodos construtivos de acordo com as normativas estabelecidas, procurando vistoriar e comprovar a eficácia de determinadas normas nos canteiros de obra.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 12655. **Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento.** Ed. 3, 15 de janeiro de 2015.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5738. **Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova.** Ed. 2, 28 de janeiro de 2015.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5739. **Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.** Ed. 3, 30 de maio de 2018.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 6118. **Projeto de estruturas de Concreto - Procedimento.** Ed. 3, 29 de abril de 2014.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 7584. **Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio.** Ed. 2, 11 de dezembro de 2012.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 8953. **Concreto para fins estruturais – Classificação pela massa específica, por grupos de resistência e consistência.** Ed. 3, 29 de janeiro de 2015.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NM 67. **Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Ed. 1, 30 de março de 1998.
- ACI 228. 1R-03. **In-place Methods to estimate concrete strength.** ACI. Farmington Hills, MI. 2003.
- ANDRIOLO, F. R. SGARBOZA, B. C. **Inspeção e Controle de Qualidade do Concreto.** São Paulo, 1993.
- BAUER, L.A.F. **Materiais de construção**, vol 1. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- BEZERRA, A. C. S. **Influência das variáveis de ensaio nos resultados de resistência à compressão de concretos: uma análise experimental e computacional.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
- Bottega, F. **Análise do ensaio esclerométrico, um ensaio não destrutivo, nas estruturas de concreto.** Julho de 2010. Criciúma, Santa Catarina, Brasil. Acesso em 12 de fevereiro de 2020. Disponível em <<http://www.bib.unesc.net/biblioteca/sumario/000043/000043E8.pdf>>
- CÂMARA, E. **Avaliação da resistência à compressão de concretos utilizados na grande Florianópolis através de ensaios não destrutivos.** 2006. 212 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Ufsc - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- CONCRETO, C. **Resistência à compressão do concreto: um teste de diversas interferências.** 2014. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2014/02/resistencia-compressao-do-concreto-um.html>>. Acesso em: 20 fev. 2020.
- DIAS, D. C. **Tipos de ensaios mecânicos.** Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium. Lins - SP, 2010.

ESCOBEDO, C. J. M. **La durabilidad en las estructuras de concreto reforzado desde la perspectiva de la norma española para estructuras de concreto.** IMCYC: Concreto y Cemento, v. 4, nº 1, p. 63-86. México. 2012.

EVANGELISTA, A.C.J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos.** 2002. 239 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 2002.

GUIMARÃES, M.S.; SANTOS, T.C. **Relatório de ensaio esclerométrico.** 2015. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/6647314/relatorio-ensaio-esclerometrico>. Acesso em: 28 mar. 2020.

HELENE, P., TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** Ed. Pini, São Paulo, 1992.

HUDSON, J. A.; HARRISON, J. P.; **Engineering Rock Mechanics: An Introduction to the Principles;** Pergamon, 1ª edição, UK, 2000.

MAZER, W. **Inspeção e ensaios em estruturas de concreto.** - Curso de Especialização em Patologia das Construções, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2012.

METHA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Microestrutura, propriedades e materiais.** 3ª edição, IBRACON, São Paulo, 2008.

NEVILLE A. M. **Propriedades do Concreto.** 5. ed. Porto Alegre-RS: Bookman, 2016.

PILZ, S.E. **Produção de concreto: Verificação da variabilidade da resistência à compressão do concreto em empresas construtoras da cidade de Chapecó.** Curso de mestrado profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre. 2006.

PROCEQ S/A; **Manual silver schmidt.** Suíça, versão 01, 2010.

TEODORU, G. V. **The use of simultaneous nondestructive tests to predict the compressive, strength of concrete. Nondestructive Testing.** American Concret Institute SP-112, Detroit, 1988, pp. 137-152.

THOMAZ, E. C. S.; **Esclerômetro.** 2008. Material do curso ministrado no Instituto Militar De Engenharia - IME.

TUTIKIAN, B.F.; HELENE, P. **Dosagem dos concretos de cimento Portland.** 2011. Artigo científico. IBRACON.