



Centro Universitário de Brasília – UniCeub

Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas –
FATECS

Curso: Engenharia Civil

GABRIEL GARCIA JUNQUEIRA

MATRÍCULA: 21408408

**AVALIAÇÃO DE RESULTADOS DO ENSAIO TECNOLÓGICO NÃO
DESTRUTIVO DE ESCLEROMETRIA COM A UTILIZAÇÃO DE CORPOS DE
PROVA MOLDADOS EM LABORATÓRIO.**

BRASÍLIA 2018

GABRIEL GARCIA JUNQUEIRA

**AVALIAÇÃO DE RESULTADOS DE ENSAIO TECNOLÓGICO NÃO
DESTRUTIVO DE ESCLEROMETRIA COM A UTILIZAÇÃO DE CORPOS DE
PROVA MOLDADOS EM LABORATÓRIO.**

Trabalho de Curso (TC) apresentado ao
Centro Universitário de Brasília
(UniCEUB) como requisito para
conclusão do curso de Engenharia Civil.
Orientador: Professor Jorge A. da Cunha
Oliveira

BRASÍLIA 2018

GABRIEL GARCIA JUNQUEIRA

**AVALIAÇÃO DE RESULTADOS DE ENSAIO TECNOLÓGICO NÃO
DESTRUTIVO DE ESCLEROMETRIA COM A UTILIZAÇÃO DE CORPOS DE
PROVA MOLDADOS EM LABORATÓRIO.**

Trabalho de Curso (TC) apresentado ao
Centro Universitário de Brasília
(UniCEUB) como requisito para
conclusão do curso de Engenharia Civil.
Orientador: Professor Jorge A. da Cunha
Oliveira

Brasília, 29 de novembro de 2018.

Banca Examinadora

Jorge Antônio da Cunha Oliveira
Prof. Orientador

Jocinez Nogueira Lima. Eng. Civil MSc
Prof. Examinador

Jairo Nogueira. Eng. Civil
Prof. Examinador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado saúde e determinação para concluir o curso.

Ao meu orientador Professor Jorge Cunha, pela amizade e muitos ensinamentos.

Aos meus pais, Adriana e Dilton, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao meu irmão, Matheus, por ser um exemplo de empenho e determinação.

Dedico a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho tem por meio apresentar novas e vantajosas formas de identificar problemas em estruturas de concreto armado. Os ensaios não destrutivos (END) são técnicas utilizadas na engenharia para que a estrutura a ser diagnosticada seja para manutenção, construção, fabricação ou inspeção não seja danificada. Os END incluem métodos capazes de proporcionar informações e a quantidade de defeitos em respeito a um determinado produto, das características tecnológicas de um material, ou ainda, da monitoração da degradação em serviço de componentes, equipamentos e estruturas. Os principais ensaios não destrutivos são: Pacômetria, Ultrassonografia, Esclerometria, Termografia, entre outros. O trabalho aqui presente tem por meio avaliar três diferentes resistências de concreto, sendo elas, de 15 a 20 MPa, 25 a 30 MPa e o terceiro com resistência acima de 35MPa. O foco do trabalho é dar ênfase no ensaio não destrutivo de Esclerometria - que tem como principal função a avaliação da dureza superficial do concreto endurecido e fazer uma análise correlacionando o ensaio destrutivo de Compressão. Analisar friamente os dados e fazer ponderações sobre a veracidade da aplicação do método não destrutivo. Os ensaios foram realizados com vigas feitas em laboratório de 350mm x 350mm e o ensaio de rompimento a compressão foram executados com corpos de prova cilíndricos de 100mmx200mm.

Palavras-Chave: Ensaios não destrutivos. Concreto. Esclerometria. Compressão.

ABSTRACT

The present work aims to present new and advantageous ways of identifying problems in concrete armament structures. Non-destructive testing (NDT) is used in engineering for the construction of a structure for the maintenance of buildings. NDTs include methods capable of providing information and the number of defects with respect to a given product, the technological characteristics of a material, or the monitoring of degradation in service of components, equipment and structures. The main non-destructive tests are: Pacometry, Ultrasound, Sclerometry, Thermography, among others. The present work has by means of evaluating three different concrete resistances, being those of 15 to 20 MPa, 25 to 30 MPa and the third with resistance above 35MPa. The focus of this work is to emphasize the non-destructive test of Sclerometry - whose main function is to evaluate the surface hardness of the hardened concrete and to do an analysis correlating the destructive test of Compression. Coldly analyze the data and make considerations about the veracity of the application of the non-destructive method. The tests were performed with laboratory beams of 350mm x 350mm and the compression test were performed with cylindrical specimens of 100mmx200mm.

Keywords: Non-destructive testing. Concrete. Sclerometry. Compression.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Conceitos de durabilidade e desempenho	16
Figura 2 - Patologia nas fases da obra.	16
Figura 3 - Gráfico de Sitter.....	17
Figura 4 - Desenho de um reticulado para realização do ensaio.....	20
Figura 5 - Ábaco Índice Esclerométrico.....	20
Figura 6 - Realização do ensaio de pacômetria para verificar a localização das barras de aço.....	22
Figura 7 - Passo a passo da execução do SlumpTest	24
Figura 8 - Protótipo de viga.....	28
Figura 9 - Protótipo de viga.....	29
Figura 10 - Índice Esclerométrico	29
Figura 11 - Execução do Slump Test.....	30
Figura 12 – Slump Test.....	31
Figura 13 - Medição do Slump Test	31
Figura 14 - Corpos de prova em câmara úmida	33
Figura 15 - Concretagem da viga.....	33
Figura 16 - Enchimento da viga	34
Figura 17 - Cura dos Corpos de Prova e do protótipo da viga.....	34
Figura 18 – Pesagem dos materiais.....	35
Figura 19 - Pesagem dos materiais.	35
Figura 20 - Pesagem dos materiais	36
Figura 21 - Pesagem dos materiais.	36
Figura 22 - Execução do concreto	37
Figura 23 - Execução do concreto.	37
Figura 24 - Ensaio de compressão	38
Figura 25 - Ensaio de compressão	38
Figura 26 - Comparação entre os ensaios.	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Gráfico de correlação.....	40
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade do concreto.....	23
Tabela 2 - Traço de 15 a 20MPa	26
Tabela 3 - Traço do concreto de 25 a 30MPa	26
Tabela 4 - Concreto com resistência superior a 35MPa.....	27
Tabela 5 - Norma de moldagem de corpo de prova.	32
Tabela 6 - Resultados à compressão.....	40
Tabela 7 – Resultados a compressão.....	41
Tabela 8 – Resultados a compressão.....	41
Tabela 9 – Média dos resultados.	42

LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

END: Ensaio não destrutivo;

NBR: Norma Brasileira;

CP: Corpo de prova;

Sumário

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	14
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 DURABILIDADE DA VIDA ÚTIL DO CONCRETO.....	15
3.2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	18
3.3. ENSAIOS DE ESCLERÔMETRIA.....	18
3.3. ENSAIO DE PACÔMETRIA.....	21
3.4. ENSAIO DESTRUTIVOS	22
3.4.1. ENSAIO DE COMPRESSÃO	22
3.5. ENSAIO DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE - SLUMP TEST.....	23
4. METODOLOGIA.....	25
4.1. CONCRETO COM RESISTÊNCIA ENTRE 15MPA A 20MPA	25
4.2. CONCRETO COM RESISTÊNCIA ENTRE 25MPA A 30MPA	26
4.3. CONCRETO COM RESISTÊNCIA ACIMA DE 35 MPA.....	26
4.4. ENSAIO DE ESCLERÔMETRIA	27
4.5. ENSAIO DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE – SLUMP TEST.....	30
4.6. ENSAIO DE COMPRESSÃO	34
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
5.1. RESULTADOS SOBRE O ENSAIO DE COMPRESSÃO	40
5.2. RESULTADOS DO ENSAIO DE ESCLERÔMETRIA	41
6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a maioria das edificações tem utilizado o concreto como material de construção, utilizado largamente como material predominantemente estrutural de sustentação. O concreto é o segundo material mais consumido no mundo, perdendo apenas para a água. Esse fenômeno ocorre devido suas inúmeras vantagens construtivas, como durabilidade, facilidade de adaptação a formas, boa resistência à choques, vibrações e altas temperaturas (Metha e Monteiro, 2014)

Apesar de ser um material amplamente utilizado na construção civil, o concreto adquire variações químicas e físicas ao longo do tempo, decorrentes do ambiente a ser exposto (exógenos) e/ou dos componentes utilizados para sua fabricação (endógenos).

Uma maneira de fazer o estudo sobre a durabilidade da estrutura e a deterioração ao longo da vida útil é por meio da utilização de ensaios de caráter não destrutivo. O objetivo da aplicação desses ensaios é obter conhecimento do real estado da estrutura, sem obter deterioração da peça a ser estudada e/ou analisada.

O esclerômetro de reflexão tem por finalidade a avaliação da dureza superficial do concreto endurecido. Esse método consiste fundamentalmente em uma massa – martelo que impulsionada por uma mola, se choca através de uma haste, com ponta em forma de uma calota esférica, com área de ensaio. (NBR 7584:2012 ITEM 3.1)

O presente trabalho mostra o processo de utilização do ensaio de esclerometria e sua correlação direta com o ensaio de compressão para fim comparativo e explicativo de patologias existentes na construção civil no Brasil.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho é a análise do ensaio não destrutivo de esclerometria comparado com ensaio de compressão de corpos de prova moldados em laboratório para verificar a eficácia dos resultados obtidos.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar três traços de concreto através de um estudo de dosagem para se obter três resultados de resistências a serem definidos.
- Realizar ensaios não destrutivos de esclerometria em corpos de prova moldados em laboratório.
- Realizar ensaios destrutivos de compressão em corpos de prova moldados em laboratório.
- Realizar uma análise dos resultados correlacionando os ensaios e a sua validação.

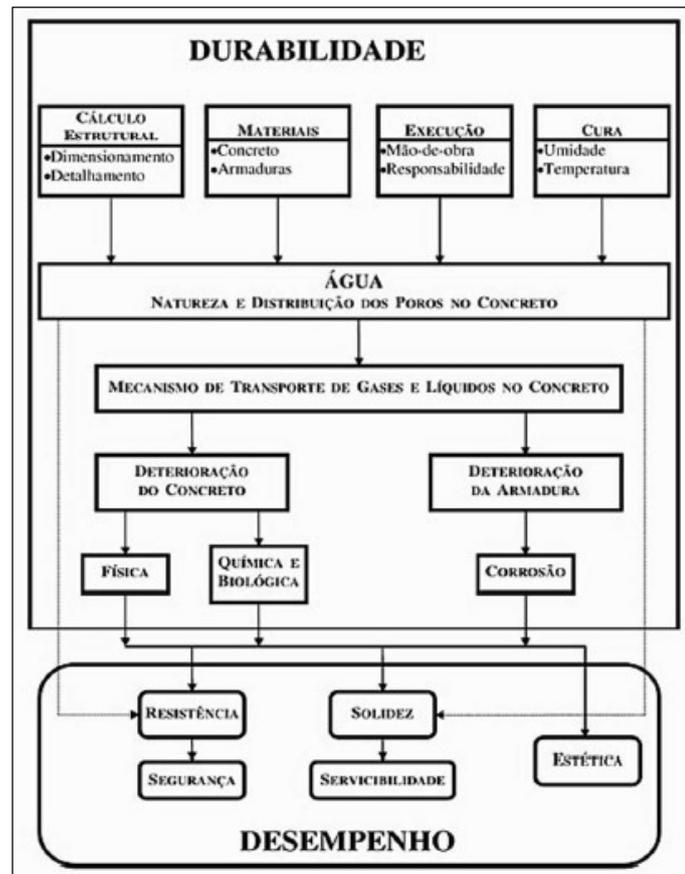
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DURABILIDADE DA VIDA ÚTIL DO CONCRETO

De acordo com Souza (1998) o concreto, como material de construção, é instável ao longo do tempo, isto é, altera as suas propriedades físicas e químicas em função das características de seus componentes, e devido à interação com o meio ambiente. Os elementos agressores são chamados de agentes de deterioração, enquanto que as consequências dos processos que comprometem o desempenho da estrutura é denominado de deterioração. Cada material reage de uma forma com os agentes de deterioração a que se são expostos.

Entende-se por vida útil de um material, o período pelo qual suas propriedades não ultrapassem os limites mínimos especificados por norma. É de extrema relevância compreender a vida útil e a curva de deterioração de cada material ou estrutura, para realizações de orçamentos reais, e realizar um programa de manutenção correto, seja ela manutenção preventiva ou manutenção corretiva. Já o desempenho de uma estrutura é o comportamento em serviço de cada produto, ao longo da vida útil, e ele mostrará o resultado do trabalho executado nas diferentes fases da obra. A durabilidade já é o parâmetro que se associa as características de deterioração do material aplicado em uma construção, relacionando-a com a agressividade ambiental, isto é, o quanto o meio interfere nas propriedades do concreto, para que se possa definir a vida útil da mesma.

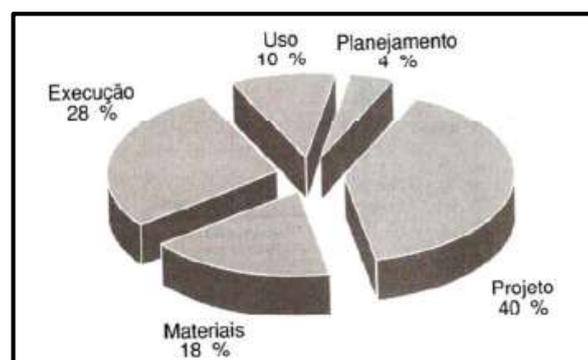
Figura 1 - Conceitos de durabilidade e desempenho



Fonte: C.E.B. - Boletim nº183 (1989)

Para Helene (1998), as patologias nas edificações, possuem sempre um ponto de partida, e a mesma elaborou um estudo para entender e estabelecer as fases que mais ocorrem problemas de patologia na construção de edificações, com o estudo constatou que a maior causa dos problemas vem dos projetos realizados de modo inadequado de acordo com a figura 02.

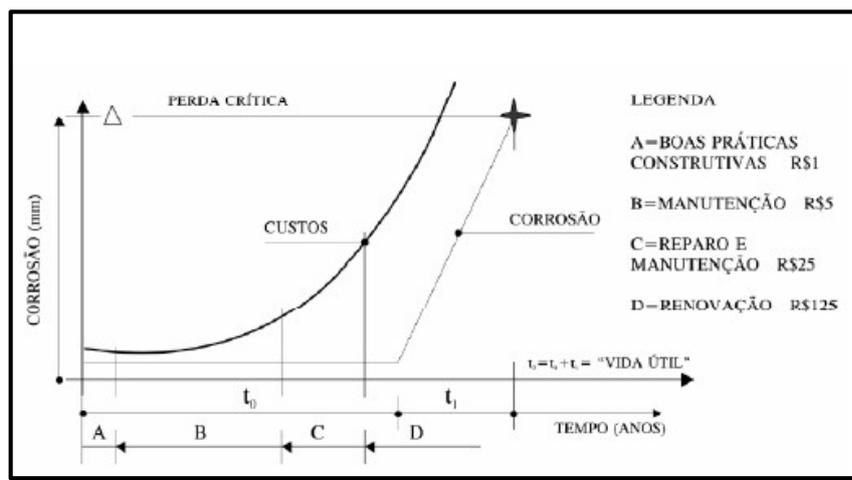
Figura 2 - Patologia nas fases da obra.



Fonte: Helene (1998).

No entanto quando se aborda o tema de durabilidade e vida útil da edificação, é importante relatar sobre os altos valores na recuperação de estruturas de concreto, deteriorados por corrosão da armadura, e Sitter (1983) através de estudos desenvolveu um parâmetro denominado como “lei dos cinco”, que ressalta a importância da manutenção preventiva, no período inicial da corrosão, em relação às manutenções corretivas executadas no período de propagação.

Figura 3 - Gráfico de Sitter



Fonte: Sitter (1983).

Na figura 03 pode se observar os estágios da corrosão em relação ao custo. É possível notar que quanto mais tardio se começar a tratar o problema mais caro torna a solução. O autor define como valor de custo um, às decisões conferidas no prazo de projeto denominando-o de etapa “A”, como detalhes construtivos de projeto, especificar os devidos materiais que serão utilizados, estipular o cobrimento adequado da armadura, cura do concreto, dentre outros. Caso o processo de corrosão já se encontrar em processo, e ser necessário a proteção superficial do concreto, sinalizado como etapa “B”, o custo aumentará cinco vezes o seu valor. Na etapa “C”, a estrutura já está com sinais de corrosão, e o reparo aumenta em 25% do valor inicial. E se ainda assim nenhum reparo foi realizado e chegar a etapa “D”, aonde o processo de corrosão já está crítico, o valor de custo será 125% maior do que o valor de custo inicial.

Com essa relação de custo sobre a demora para se tratar o problema podemos chegar as manutenções preventivas que são feitas ao longo dos anos em que a estrutura vai se envelhecendo para não ocorrer o colapso por exemplo de uma estrutura. Essas manutenções de caráter preventiva tem por finalidade mapear os riscos e tratar sem que cause uma maior preocupação. Essas manutenções podem

ser feitas de várias formas e tipos, com isso, temos as manutenções que são necessárias executar ensaios não destrutivos e ensaios destrutivos.

3.2. ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Com a necessidade de adquirir informações sobre o concreto na estrutura sem danificar a mesma, foi desenvolvido uma grande diversidade de ensaio de campo, denominado END. Os ensaios tecnológicos não destrutivos, não provocam mudança do desempenho da estrutura. Estes ensaios vão além da percepção visual, tato, olfação, audição e gustação, permitindo obter maior conhecimento sobre o que está executado (Neville,2011).

Os métodos não destrutivos consistem em suma, a não denegrir a estrutura em que está sendo realizado o ensaio, isto é, não é necessária a eliminação do objeto após a execução do ensaio.

Segundo Neville (2011), os END podem ser classificados de acordo com o produto fornecido pelo aparelho. Alguns ensaios avaliam a resistência em campo e outros verificam outras características como vazios, deterioração e falhas. Desta forma, é de suma importância entender as restrições específicas de cada ensaio e suas informações, pois é de grande relevância ao obter os resultados, interpretar as informações obtidas com uma análise coerente do ensaio em que foi desenvolvido.

3.3. ENSAIOS DE ESCLERÔMETRIA

Este ensaio é estabelecido na NBR 7584/2013: Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão- Método de ensaio.

O ensaio consiste no princípio do ricochete e é baseado em realizar impactos na superfície da estrutura e medir o retorno da força aplicada após o impacto. O equipamento utilizado é chamado de esclerômetro de Schimidt.

Tal aparelho, de acordo com a NBR 7584 (ABNT 2013) consiste em “uma massa-martelo, que, impulsionada por uma mola, choca-se, através de uma haste, com ponta em forma de calota esférica, com a área de ensaio”.

A região de estudo deve ser localizada, preferencialmente, nas faces verticais dos elementos, distantes de locais com segregação, juntas, armação excessiva, canos, cantos, etc. Antes do início do ensaio, a região deve ser polida por um disco de carborundum através de movimentos circulares a fim de reparar as irregularidades existentes no local do ensaio. Caso haja uma camada superficial alterada sobre a superfície do concreto, uma máquina de polimento deverá ser utilizada, a fim de retirá-la.

O local escolhido para a realização do ensaio deve ser dividido em 16 pontos igualmente distribuídos e espaçados numa distância mínima de 30mm (Figura 01). Em cada ponto, deve ser efetuado 01 impacto, cada um produzirá uma reflexão (retorno) variando com a dureza superficial da região, totalizando assim, 16 resultados. Cada impacto realizado com o esclerômetro de Schmidt fornece um índice esclerométrico. Segundo a NBR 7584/2013, o resultado a ser calculado em cada área de ensaio é o índice esclerométrico médio efetivo. Para se obter esse resultado deve-se:

- Calcular a média aritmética dos 16 índices esclerométricos correspondentes a uma única área de ensaio.
- Desprezar todo índice esclerométrico individual que esteja afastado em mais de 10% do valor médio obtido e calcular nova média aritmética.
- O índice esclerométrico médio final deve ser obtido com no mínimo cinco valores individuais.

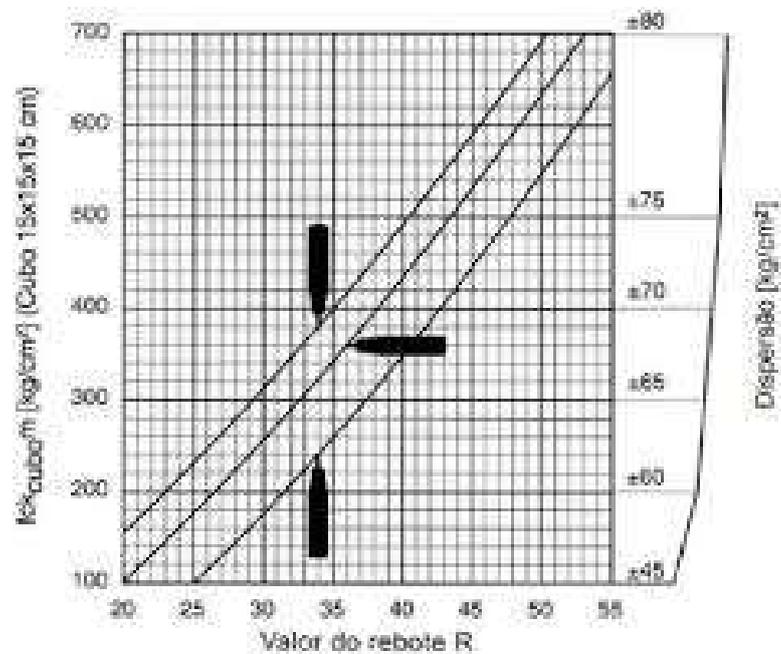
Figura 4 - Desenho de um reticulado para realização do ensaio.



Fonte: Autor, (2018).

Os valores finais de resistência do concreto à compressão foram adquiridos por meio da correlação do índice esclerométrico médio efetivo com o sentido de aplicação do impacto do equipamento, através do ábaco representado na Figura 05.

Figura 5 - Ábaco Índice Esclerométrico.



Fonte: NBR GVGT

Segundo Neville (1997) o índice esclerométrico é o resultado da energia absorvida pelo concreto, estando assim relacionado com a resistência e com a rigidez do mesmo isto é, a resistência de um corpo à deformação por uma força aplicada. A rigidez é influenciada pelo tipo de agregado utilizado. O índice esclerométrico não está relacionado, somente, com a resistência do concreto mas também com o tipo de agregado utilizado.

O ensaio tecnológico não destrutivo de Esclerometria tem por finalidade medir a dureza superficial do concreto e com isso é possível fazer correlações com outros ensaios tanto destrutivos quanto não destrutivos, neste trabalho irá ser possível analisar a correlação do ensaio de esclerometria (END) com o ensaio destrutivo de compressão.

3.3. ENSAIO DE PACÔMETRIA

Para a realização deste ensaio de pacômetria, é indispensável a utilização de um equipamento denominado pacômetro. O mesmo tem a funcionalidade de determinar com relativa precisão a espessura de cobrimento, a posição das armaduras inseridas na massa de concreto e o diâmetro das barras de aço (Metha e Monteiro,2014). No mercado atual oferece diferentes tipos de pacômetros, existem modelos que proporcionam o cobrimento nominal, a localização do aço e a real bitola da ferragem encontrada.

Segundo Metha e Monteiro (2014), o pacômetro consegue alcançar a barra de aço, pois divergente do concreto, as barras de aço interagem fortemente com as ondas eletromagnéticas de baixa frequência aplicadas a superfície do concreto, assim sendo fácil localizá-las.

Além, de obter da localização e o estado das barras de aço no concreto armado, o pacômetro é largamente utilizado em ensaios combinados. O ensaio de Pacômetria foi executando previamente do ensaio de esclerômetria tendo em vista que se no ensaio de esclerômetria acertar uma barra de aço, o ensaio será realizado de forma equivocadamente.

Figura 6 - Realização do ensaio de pacômetria para verificar a localização das barras de aço.



Fonte: Autor, 2018.

O Pacômetro, aparelho fornecido pela faculdade Uniceub, deve ser deslocado lentamente sobre a área ensaiada, a fim de detectar as ferragens e obter os resultados com maior precisão. Ao acender a luz vermelha é detectada a ferragem, é fornecida a bitola e o cobrimento nominal, conforme a Figura 06.

3.4. ENSAIO DESTRUTIVOS

3.4.1. ENSAIO DE COMPRESSÃO

Os ensaios destrutivos são aqueles que provocam danos significativos e até mesmo a inutilidade dos materiais ou corpos de prova utilizados. Como são executados, geralmente, para verificar as propriedades das peças e sua capacidade de suportar esforços, é necessário destruir os materiais em estudo. Os ensaios mais comuns são: tração, compressão, cisalhamento, dureza, fratura, flexão, torção.

De acordo com a NBR 5739:2007 - *Concreto - Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos*, até a idade de ensaio, os corpos-de-prova devem ser mantidos em processo de cura úmida ou saturada. As faces de aplicação de carga dos corpos-de-prova (topos inferior e superior) devem ser rematadas de acordo com

o prescrito pela NBR 5738, em se tratando de corpos-de-prova moldados, e pela NBR 7680, em se tratando de corpos-de-prova extraídos.

Os corpos-de-prova a serem ensaiados devem atender à relação altura/diâmetro (h/d) nunca maior que 2,02.

Os corpos-de-prova devem ser rompidos à compressão em uma dada idade especificada, com as tolerâncias de tempo descritas na Tabela 2. Em se tratando de corpos-de-prova moldados de acordo com a NBR 5738, a idade deve ser contada a partir do momento em que o cimento é posto em contato com a água de mistura.

Tabela 1 - Tolerância de tempo para o ensaio de compressão em função da idade do concreto.

Idade de ensaio	Tolerância permitida h
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

NOTA Para outras idades de ensaio, a tolerância deve ser obtida por interpolação.

Fonte: NBR 5739:2007

3.5. ENSAIO DE ABATIMENTO DE TRONCO DE CONE - SLUMP TEST

Para Lobo Carneiro (1953) não há nenhum ensaio satisfatório por meio do qual se possa medir o grau de trabalhabilidade de um concreto. O “slump test” é o ensaio adotado pelos americanos, por exemplo, pretende medi-lo pelo “índice de consistência”, que é o abatimento de um tronco de cone de concreto fresco moldado em forma especial e segundo uma técnica normatizada.

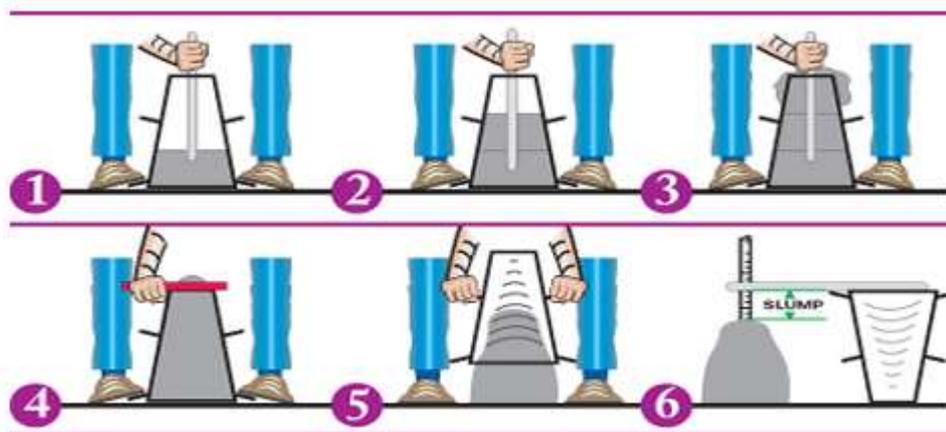
O slump test foi realizado conforme NBR NM 67 – *Determinação da consistência pelo abatimento de tronco de cone*. Para realização do ensaio, foram utilizados os moldes, bases superior e inferior, haste de compactação e placa de base fornecidos pelo laboratório do UniCeub, com medidas aplicáveis conforme especificado na norma NBR NM 67. Com o molde e a placa de base previamente umedecidos, o operador posiciona os pés sobre as aletas e executa o slump test. O molde foi preenchido com três camadas de concreto, sendo cada camada compactada

com 25 golpes da haste de socamento. Após a compactação das 3 camadas, o molde foi retirado de forma cautelosa na direção vertical, de cima para baixo, com tempo de retirada entre 5 e 10 segundos. Após retirar o molde, o aplicador do ensaio deve medir o abatimento do concreto, determinado pela diferença entre a altura do molde e a altura do eixo do corpo-de-prova, como é possível observar na figura 07.

O Slump Test, ensaio do abatimento do concreto é realizado para verificar a trabalhabilidade do concreto em seu estado plástico, buscando medir sua consistência e avaliar se está adequado para o uso a qual é destinado.

Trabalhabilidade do concreto nada mais é propriedade do concreto fresco que identifica sua maior ou menor eficiência para ser empregado com maior ou menor facilidade sem a perda de sua homogeneidade. Caracteriza-se pela medida da consistência do concreto.

Figura 7 - Passo a passo da execução do SlumpTest



Fonte: Clube do Concreto (2014).

4. METODOLOGIA

Para a elaboração do trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil do UniCeub, foi determinado que seria realizado uma avaliação de resultados de ensaio de Esclerometria em corpos de prova com diferentes resistências, moldados em laboratório e posteriormente comparados com o ensaio destrutivo correlacionado ao mesmo chamado de ensaio de compressão.

Primeiramente foram executados 3 (três) tipos de concretos com diferentes resistências no laboratório do bloco 11(onze) do UniCeub. O primeiro traço a ser feito foi dosado para que a resistência atingisse aproximadamente entre 15 MPa e 20MPa. A meta para o segundo traço era que atingisse em torno de 30MPa a 35MPa pois é o traço mais utilizado nas construtoras do Brasil atualmente. O último concreto a ser confeccionado, foi estudado para atingir a resistência acima de 35MPa para que assim, possa ser analisado as diferenças entre as três diferenças de resistência. Os traços foram definidos previamente com o auxílio do professor orientador.

4.1. CONCRETO COM RESISTÊNCIA ENTRE 15MPA A 20MPA

O concreto com resistência entre 15MPa a 20 MPa foi o primeiro a ser executado no dia 24/07/2018 no laboratório do bloco 11 do Uniceub. O traço passado pelo professor orientador Msc Jorge da Cunha foi dimensionado para apenas um ensaio demonstrativo para seus alunos, com isso, foi necessário um ajuste na porcentagem de todos os materiais. Ao colocar na betoneira foi notado que a aparência do concreto estava “muito britado”, ou seja, um concreto mais rígido e menos trabalhável. Com isso foi realizado novo ajuste colocando maior quantidade de cimento, areia e água para uma melhor trabalhabilidade do concreto. A tabela 02 apresenta os valores em questão.

Tabela 2 - Traço de 15 a 20MPa

Traço de 20 Mpa	Traço Original	Quantitativo	Traço Realizado	Traço Finalizado
Cimento (Kg)	1	3	3	3,9
Areia (Kg)	2,791	3	8,373	9,373
Brita (Kg)	3,85	3	11,55	11,55
Água (L)	0,7	3	2,1	2,8419

Fonte: Autor (2018).

4.2. CONCRETO COM RESISTÊNCIA ENTRE 25MPa A 30MPa

O concreto com resistência em torno de 25MPa a 30 MPa foi o segundo traço a ser executado no dia 24/07/2018 no laboratório do bloco 11 do Uniceub. O traço passado pelo professor orientador Msc Jorge da Cunha foi dimensionado para apenas um ensaio demonstrativo para seus alunos, com isso, foi necessário um ajuste na porcentagem de todos os materiais para que houvesse o preenchimento de todos os corpos de prova de todos os alunos que estavam presente no laboratório. Ao colocar na betoneira foi notado que a aparência do concreto estava “muito britado”, ou seja, um concreto mais rígido e menos trabalhável. Com isso foi realizado novo ajuste colocando maior quantidade de cimento, areia e água para uma melhor trabalhabilidade do concreto. A tabela 03 apresenta os valores em questão.

Tabela 3 - Traço do concreto de 25 a 30MPa

Traço entre 25 a 30 Mpa	Traço Original	Quantitativo	Traço Realizado	Traço Finalizado
Cimento (Kg)	1	11,57	11,57	12,57
Areia (Kg)	1,761	11,57	20,37	20,570
Brita (Kg)	2,75	11,57	31,82	31,82
Água (L)	0,5	11,57	5,785	6,785

Fonte: Autor (2018).

4.3. CONCRETO COM RESISTÊNCIA ACIMA DE 35 MPa

O concreto com resistência superior a de 35 MPa foi confeccionado no dia 06 de Agosto de 2018 na parte da tarde no laboratório do Uniceub localizado no Bloco 11. O traço previamente definido segue abaixo com uma proporção 2,5 vezes maior

para que todos os estudantes ali presentes pudessem preencher todas as suas respectivas formas. O traço foi disponibilizado pelo professor Flavio de Queiroz Costa. A tabela 04 apresenta os valores em questão.

Tabela 4 - Concreto com resistência superior a 35MPa

Alto Desempenho	Traço Original(Kg)	Quantitativo	Traço Realizado(Kg)
Cimento	6	2,5	15
Areia	7,2	2,5	18
Brita	11	2,5	27,5
Água	2,17	2,5	5,425
Microssilica(15% cim)	1,1	2,5	2,75
Superplastificante(2,5%)	0,2	2,5	0,5

Fonte: Autor (2018).

Após a pesagem de todos os materiais, foram colocados na betoneira seguindo passo a passo, como foi especificado no procedimento:

- 1º) Mistura seca de brita, areia e cimento. Misturar até homogeneizar.
- 2º) Acrescentar a microssilica em duas partes com a betoneira em operação. Exige tempo de mistura mais prolongado.
- 3º) Diluir o superplastificante na água e acrescentar na mistura. Misturar até obter boa consistência.

4.4. ENSAIO DE ESCLERÔMETRIA

No dia 05 de setembro de 2018 conforme a norma NBR7584:2012, foram realizados os ensaios de esclerometria para obter os resultados e fazer as respectivas análises. O ensaio tecnológico não destrutivo de esclerometria é capaz de medir a dureza superficial do concreto endurecido, isto é, o quanto o concreto suporta com o atrito do equipamento, fornecendo elementos para analisar a qualidade do concreto e com isso se há riscos ou danos na estrutura.

Segundo a NBR7584:2012 ITEM 3.1.1, o aparelho utilizado foi o esclerômetro com energia de percussão de 2,25 N.m, sem fita registradora de automática e é utilizado nos casos mais comuns das construções. A norma ressalta que é necessário realizar o ensaio em uma superfície plana, seca e limpa para obter resultados condizentes com a realidade. É cabível salientar que o aparelho estava aferido conforme norma NBR7584:2012 ITEM 3.1.2.

Antes da execução do ensaio é essencial a aplicação em movimentos circulares do disco de carborundum para o polimento manual da área ser ensaiada. Após esse procedimento o ensaio deverá ser feito seguindo algumas outros procedimento baseado na NBR7584:2012. O item 4.2 da mesma, ressalta a área do ensaio em que deve ocorrer.

Antes da continuação do ensaio, foi utilizado o equipamento Pacômetro para a identificação da localização das barras de aço no protótipo para que com isso, minimizasse a chance do erro tendo em vista que, se o ensaio de esclerometria atingir barras de aço, o resultado obtido não está adequado com a realidade. O protótipo de viga onde foi realizado o ensaio contem seção de 350mmx350mm e as figuras 08 e 09 mostram onde estavam localizadas as barras de aço e a área a ser ensaiada.

Figura 8 - Protótipo de viga



Fonte: Autor (2018).

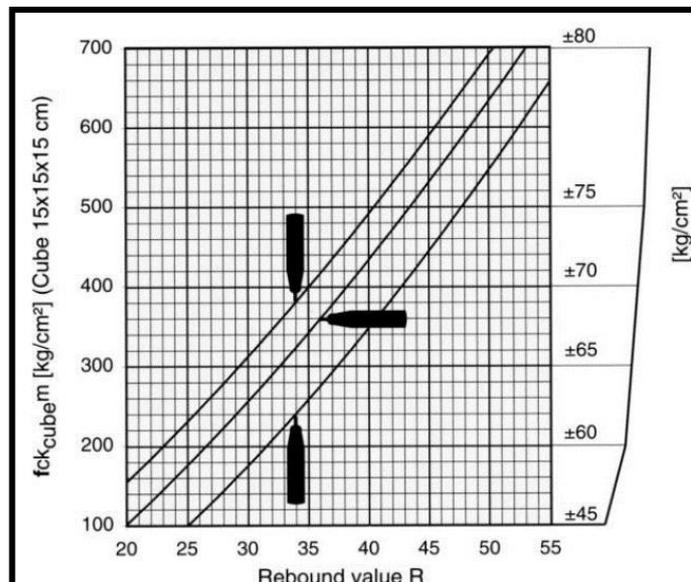
Figura 9 - Protótipo de viga



Fonte: Autor (2018).

Para a obtenção dos resultados foi utilizado o índice esclerométrico que de acordo com o modo em que o ensaio é executado é verificado através do ábaco o resultado referente a aplicação.

Figura 10 - Índice Esclerométrico



Fonte: NBR GVGT

Os impactos do ensaio foram realizados conforme o item 4.3 da NBR7584:2012 sendo assim foram realizados 16 impactos sobre o protótipo e os resultados acerca

de cada traço de concreto será mostrado no próximo capítulo. Para uma melhor amostragem do resultados, não foi retirado nenhum valor de resultado sendo assim, o índice esclerométrico médio final foi obtido dividindo a soma dos resultados por 16, número equivalente ao total de golpes por protótipo de viga. O ensaio foi realizado utilizando o esclerômetro de cima para baixo, podendo então observar que foi utilizada a primeira linha do ábaco para verificar os resultados. Para cada traço moldado foram confeccionados dois protótipos de viga.

4.5. Ensaio de abatimento de tronco de cone – Slump Test

O Slump Test foi feito em todos os corpos de prova, totalizando assim doze execuções desse método, sendo 04 para cada traço de resistência. Para o traço de resistência entre 15 a 20MPa e para o traço de 25 a 30MPa o ensaio era para se obter 10cm +/- 2cm. Já para o concreto com resistência acima de 35 MPa o slumpTest era para se obter um valor de trabalhabilidade entre 18cm +/- 2cm. As figuras mostram a realização do ensaio.

Figura 11 - Execução do Slump Test



Fonte: Autor (2018).

Figura 12 – Slump Test

Fonte: Autor (2018).

Figura 13 - Medição do Slump Test

Fonte: Autor (2018).

Posteriormente a execução do slump test, foram moldados os corpos-de-prova dos 3 traços conforme a NBR 5738/2003- *Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova*. Os moldes utilizados continham 10cm de diâmetro de base e 20 cm de altura, e a haste de adensamento também obedecia os valores exigidos pela norma ($16,0 \pm 0,2$) mm de diâmetro e comprimento de 600mm a 800mm, com um ou os dois extremos em forma semiesférica, com diâmetro semelhante ao da haste. Os doze

moldes dos corpos de prova foram revestidos previamente com uma camada fina de óleo mineral. Após introduzir o concreto, a concha foi deslocada ao redor da borda do molde, de forma a assegurar uma distribuição simétrica e, imediatamente, com a haste em movimento circular, nivelar o concreto antes de iniciar seu adensamento. Feito isso, o concreto foi introduzido no molde em camadas de volume aproximadamente igual e cada camada foi adensada utilizando a haste, que deve penetrar no concreto com seu extremo em forma de semiesfera o número de vezes definido por norma onde pode se observar na tabela 5.

Tabela 5 - Norma de moldagem de corpo de prova.

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica (d) 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	–	–
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	250	2	3	200
	450 ^b	3	–	–

^b Para concretos com abatimento superior a 160 mm, a quantidade de camadas deve ser reduzida à metade da estabelecida nesta Tabela. Caso o número de camadas resulte fracionário, arredondar para o inteiro superior mais próximo.

^c No caso de dimensão básica de 450 mm, somente é permitido adensamento mecânico.

Fonte: NBR 5738:2003

Após a execução do traço corretamente seguindo a norma vigente, os corpos de prova e protótipos da viga foram colocados em câmara úmida entre 48 horas e 72 horas. Posteriormente foram desmoldados e posicionados em um tanque contendo água por no mínimo 28 dias para a cura do concreto.

Figura 14 - Corpos de prova em câmara úmida



Fonte: Autor (2018).

Figura 15 - Concretagem da viga.



Fonte: Autor (2018).

Figura 16 - Enchimento da viga



Fonte: Autor (2018).

Figura 17 - Cura dos Corpos de Prova e do protótipo da viga.



Fonte: Autor (2018).

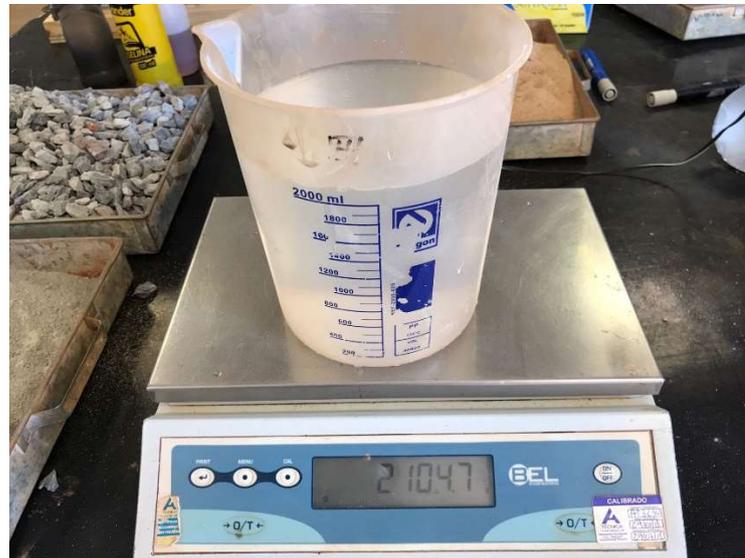
4.6. ENSAIO DE COMPRESSÃO

No dia 05 de setembro de 2018 foram realizados os ensaios de compressão no laboratório do Uniceub com o auxílio dos laboratoristas afim de auxiliar e observar se o mesmo está sendo conforme a norma NBR 5739:2007.

Os corpos de prova cilíndricos foram confeccionados conforme NBR5738:2015 e suas dimensões são de 100mmx200mm. Os corpos de prova foram pesados e executados in loco, respeitando passo a passo o procedimento e após 28 dias de cura

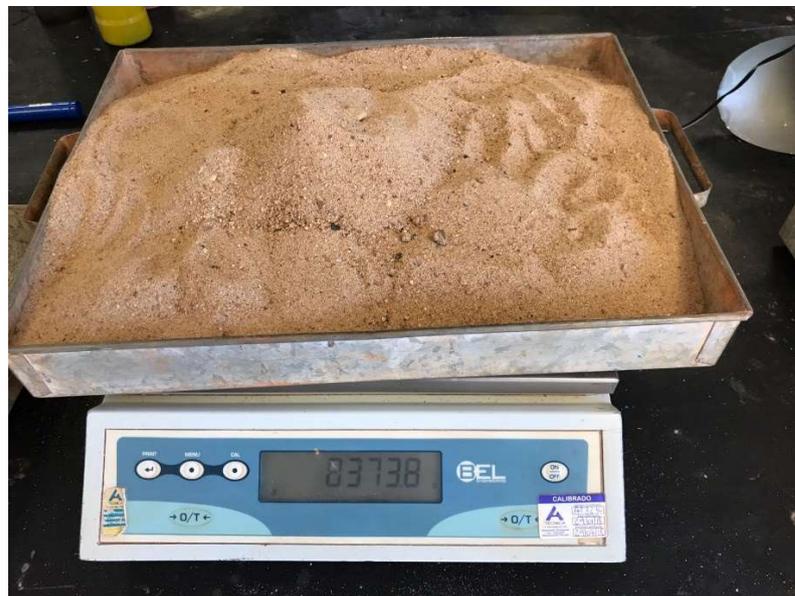
foi feito o ensaio de compressão. As fotos abaixo mostram algumas partes do procedimento.

Figura 18 – Pesagem dos materiais.



Fonte: Autor (2018).

Figura 19 - Pesagem dos materiais.



Fonte: Autor (2018).

Figura 20 - Pesagem dos materiais



Fonte: Autor (2018).

Figura 21 - Pesagem dos materiais.



Fonte: Autor (2018).

Figura 22 - Execução do concreto



Fonte: Autor (2018).

Figura 23 - Execução do concreto.



Fonte: Autor (2018).

Figura 24 - Ensaio de compressão



Fonte: Autor (2018).

Figura 25 - Ensaio de compressão



Fonte Autor (2018).

As figuras 24 e 25 mostram o ensaio de compressão sendo executado conforme a norma vigente e com isso valida o processo de moldagem do concreto. Os resultados e discussões acerca do ensaio destrutivo de compressão e do ensaio tecnológico não destrutivo de esclerometria serão mostrados no próximo capítulo afim de salientar a fundo os resultados comparativos e ressaltar a importância dos ensaios correlacionados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. RESULTADOS SOBRE O ENSAIO DE COMPRESSÃO

Após o mínimo 28 dias de cura dos corpos de prova como é solicitado em norma, os mesmos foram rompidos na prensa do laboratório do bloco 11 do Uniceub sob supervisão de técnicos laboratoriais. O ensaio de compressão serve para analisar o quanto a amostra em análise suporta até chegar ao colapso.

Os resultados obtidos através dos ensaios de esclerometria e ensaios a compressão fizeram notar que existe uma pequena discrepância do resultado de um ensaio para outro. Com isso pode-se analisar alguns fatores para os dois ensaios serem feitos de forma conjunta. Um validando o outro. Esses fatores serão citados a posteriormente.

Tabela 6 - Resultados à compressão

Corpo De Prova	Resistência a compressão (MPa)	Média (Mpa)
Corpo de prova 01	15,5	15,66
Corpo de prova 02	15,71	
Corpo de prova 03	14,84	
Corpo de prova 04	16,58	

Fonte: Autor (2018).

Os corpos de prova nominados de 01 a 04 são os referentes ao primeiro traço executado, no qual era esperado uma resistência de entre 15MPa a 20MPa. Como é possível observar na tabela 04, os resultados alcançados foram entre 14 e 16MPa, fazendo assim com que a média obtida fosse de 15,66MPa e com isso validando a amostragem. Portanto o estudo para a dosagem do traço do concreto foi correto. Isso foi possível observar através do ensaio de resistência a compressão.

Já no segundo traço executado, onde era de se esperar uma resistência em torno de 25MPa a 30MPa foram registrados os seguintes valores:

Tabela 7 – Resultados a compressão

Corpo De Prova	Resistência a compressão (MPa)	Média (MPa)
Corpo de prova 05	27,12	26,41
Corpo de prova 06	26,41	
Corpo de prova 07	26,05	
Corpo de prova 08	26,06	

Fonte: Autor (2018).

Os corpos de prova de 05 a 08 são referentes ao traço inicial de resistência entre 25MPa a 30MPa. Na tabela 05 mostra a resistência obtida através do ensaio de compressão validando o a dosagem do concreto pois era de se esperar uma resistência entre 25 a 30Mpa.

O último traço realizado era previsto uma resistência acima de 35MPa, para poder analisar os três diferentes tipos de concreto. Os corpos de prova numerados de 09 a 12 mostram a resistência a compressão do respectivo traço na tabela a seguir.

Tabela 8 – Resultados a compressão.

Corpo De Prova	Resistência a compressão (MPa)	Média (MPa)
Corpo de prova 09	42,16	51,59
Corpo de prova 10	61,27	
Corpo de prova 11	52,54	
Corpo de prova 12	50,37	

Fonte: Autor (2018).

5.2. RESULTADOS DO ENSAIO DE ESCLERÔMETRIA

Os resultados esperados ao ensaio de esclerômetria também tiveram algumas divergências de valores a ser mencionados. A tabela a seguir mostra a diferença entre o valor em MPa obtido através do uso do esclerômetro e os valores dos corpos de prova quando submetidos ao ensaio de compressão. Vale ressaltar que o ensaio de esclerômetria visa medir a dureza superficial do concreto, isto é, a capacidade do material ao choque ou ao risco superficial.

Tabela 9 – Média dos resultados.

Traço do concreto	Média dos Resultados do Esclerômetro (MPa)	Média dos Resultados a Compressão (MPa)
Concreto de 15 a 20 MPa	16,0	15,66
Concreto de 25 a 30 MPa	23,0	26,41
Concreto acima de 35 MPa	41,0	51,59

Fonte: Autor (2018).

Com base na tabela 09 é necessário fazer algumas considerações. Os resultados do traço 01 que são referentes ao concreto de 15 a 20MPa são consideráveis iguais e com isso comprovam a relevância do ensaio de esclerometria junto com o ensaio de compressão. Os resultados do concreto de 25 a 35 MPa mostram um acerto de 87% entre o ensaio não destrutivo e o ensaio destrutivo tornando assim o ensaio válido. Os valores do traço 03 mostram resultados relativamente diferentes porem o ensaio foi realizado conforme norma e o ensaio de esclerometria atingiu o resultado acima de 35MPa tornando assim a amostragem do ensaio válida.

A diferença de valores entre um ensaio e o outro acontece devido alguns fatores que podem ser tanto falha humana quanto falha do ensaio em si. O ensaio de esclerometria contém algumas limitações e com isso acontece essa discrepância dos resultados. A figura 26 mostra a comparação em porcentagem dos ensaios e a validação do ensaio de esclerometria.

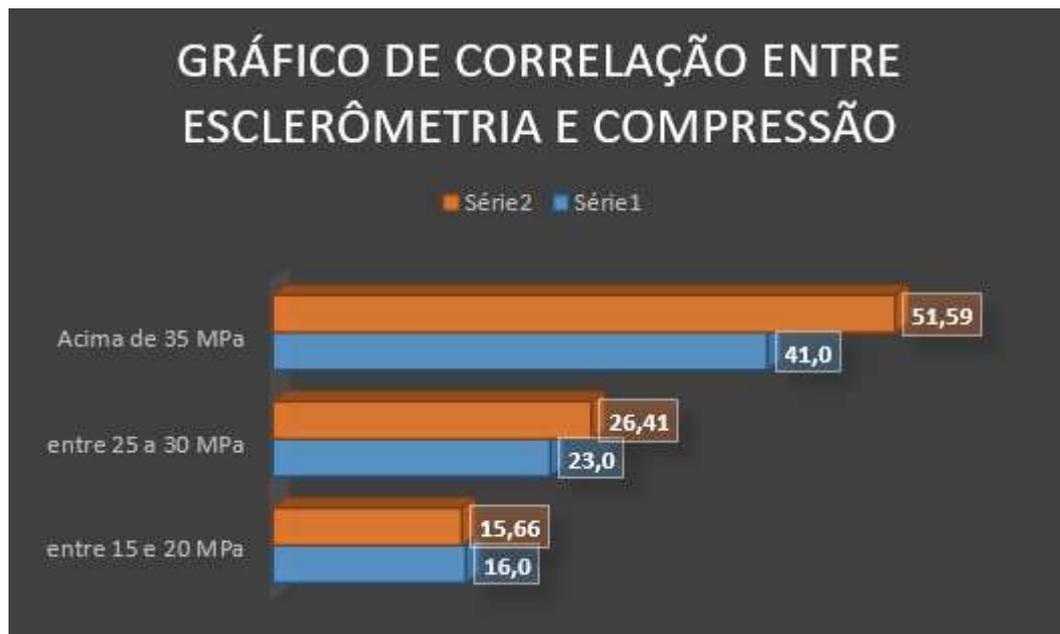
Figura 26 - Comparação entre os ensaios.

Média dos Resultados do Esclerômetro (MPa)	Média dos Resultados a Compressão (MPa)
16,0	15,66
23,0	26,41
41,0	51,59
80,0	93,66
85%	

Fonte: Autor (2018).

Por fim, o gráfico 01 mostra a correlação entre os três traços e os resultados dos ensaios citados acima. No gráfico é possível observar qual era o objetivo inicial da dosagem do concreto, quanto foi obtido no resultado de compressão e o que foi verificado no ensaio tecnológico não destrutivo de esclerometria.

Gráfico 01 – Gráfico de Correlação



Fonte: Autor (2018).

No gráfico 01 onde leia-se “Série 1” é relativo ao ensaio não destrutivo de esclerometria e “Série 2” são os resultados respectivos ao ensaio destrutivos de compressão. Todos os resultados estão na unidade de MPa. Com o auxílio desse gráfico serão feitas as conclusões finais e as devidas recomendações no próximo capítulo.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Com o presente trabalho notou-se que os ensaios tecnológicos não destrutivos (END), são importantes para a avaliação do estado real da estrutura de concreto armado. Pôde-se analisar que o ensaio de esclerometria condiz com a realidade e que sua aplicação é eficiente e rápida, porém como há algumas limitações do ensaio é sempre de maior confiança fazer o ensaio de compressão para validar o ensaio não destrutivo.

O ensaio de esclerometria é de grande servia para mapeamento de região podendo analisar uma grande área em pouco espaço de tempo. Já o ensaio de compressão pode se obter a definição da resistência da área em análise.

Com a análise de todas as amostras e dados, é possível comprovar que o ensaio de esclerometria tem uma veracidade de 85% da amostra real do ensaio destrutivo de compressão. Pode-se assim ser validar a relevância dos ensaios conjuntos para se obter a resistência da área a ser estudada.

É importante salientar que para a maior exatidão dos dados, se for possível, é relevante a mescla do ensaio não destrutivo de esclerometria com o ensaio destrutivo de compressão já que os dados obtidos através desses dois ensaios permitem conclusões mais próximas da realidade. Com a realização desse trabalho foi possível observar que o ensaio não destrutivo serve de apoio para o ensaio destrutivo, sendo assim, a necessidade de realizar os dois em conjunto.

Como sugestões para trabalhos futuros proponha-se:

Realizar outros ensaios de caráter não destrutivos como Ultrassonografia, para fazer a comparação dos dados entre os END.

Aumentar a quantidade de corpos de prova para ter uma maior amostragem de dados podendo assim ter uma maior exatidão dos dados e fazer uma análise mais profunda da correlação entre o ensaio de esclerometria e ensaio de compressão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- HELENE, P. R. L. Introdução da durabilidade no projeto das estruturas de concreto. In: WORKSHOP DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES ANTAC, 1997. p. 31-42.
- SITTER, W. R. Costs for Service Life Optimization the “Law of Fives”. Comitê Euro International de Beton – CEB. Boletim Técnico. Copenhagen, Denmark, n.152, p.131 – 134, 1983.
- SOUZA, Vicente Custódio Moreira de; RIPPER, Thomaz. Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto. 1. Ed. São Paulo: Pini, 1998.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. “Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais” – 2ª Edição – Ed. Pini, São Paulo, 2014.
- LOBO CARNEIRO. “Dosagem de concretos.” – 1ª Edição – Ed. Inst Nacional de tecnologia, Belo Horizonte, 1953.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7584: Concreto endurecido- Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão- Método de ensaio, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Concreto – procedimento para moldagem e cura de corpos de prova, 2015
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NBR 5379: Concreto – Ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 67: Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, 1998.
- AZEVEDO, Minos Trocoli de. Patologia das Estruturas de Concreto: In: Isaia, g. c. (ed.) concreto: Ciência e tecnologia. 1. ed. São Paulo: IBRACON, 2011. v. 2. 1095-1128

