

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS CURITIBA
DEPARTAMENTO DE CONSTRUÇÃO CIVIL
CURSO DE TECNOLOGIA EM CONCRETO**

**ALEX LECHETA
DOUGLAS DE CONTO**

**ESTUDO COMPARATIVO DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO
DESTRUTIVOS PARA CONCRETO**

**CURITIBA
2012**

**ALEX LECHETA
DOUGLAS DE CONTO**

**ESTUDO COMPARATIVO DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO
DESTRUTIVOS PARA CONCRETO**

Monografia apresentada como requisito parcial
para obtenção do Título de Tecnólogo, do
Curso de Tecnologia de Concreto, da
Universidade Tecnológica do Paraná, Campus
Curitiba.

Orientador: Prof. Gilberto Walter Gogola

**CURITIBA
2012**

FOLHA DE APROVAÇÃO

ESTUDO COMPARATIVO DE ENSAIOS DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS PARA CONCRETO

Por

Alex Lecheta e Douglas de Conto

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Concreto, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, defendido e aprovado em 12 de abril de 2012, pela seguinte banca de avaliação:

Prof. Orientador – Gilberto Walter Gogola
UTFPR

Profa. Wellington Mazer
UTFPR

Eng. Jorge Luiz Christófolli
Concrebrás

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o produto de muita dedicação e o auxílio de muitas pessoas foi indispensável para que este estudo obtivesse êxito. Agradecemos a todos que colaboraram para que o título de Tecnólogo em Concreto Fosse alcançado.

A Deus pelo Dom da vida,

A família, que sempre esteve auxiliando nos momentos de dificuldade,

Ao Professor Gilberto Walter Gogola, Pela sabedoria, atenção, e apoio.

Ao Eng. Jorge Cristófolli da Cia. De Cimentos Itambé – Concrebras, Pelas orientações que auxiliaram no enriquecimento desta pesquisa.

Ao Eng. Sergio Davidovicz, pelas orientações e, por ter permitido a utilização do laboratório da Cia de Cimentos Itambé – Concrebras.

Ao Murilo Mann, pela colaboração e atenção dispensada na elaboração dos ensaios em laboratório.

Aos Laboratoristas e toda a equipe técnica da Concrebras os quais colaboraram de forma imprescindível.

Ao Professor Wellington Mazer pela ajuda na execução do ensaio de Ultra-son

A Cia. De Cimentos Itambé, pelo fornecimento de todos os materiais e equipamentos utilizados na pesquisa.

A todos os Professores do Departamento de construção civil da UTFPR, pelo empenho e dedicação em ensinar.

Aos Colegas de graduação.

RESUMO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil e o mais adequado para resistir a cargas de compressão. Visto que se trata de um material insubstituível e que, no seu envelhecimento esta sujeito a sofrer vários tipos de patologias e com elevados custos de reparo, há a necessidade de utilizar equipamentos e métodos de estudos para auxiliar no diagnóstico, como também avaliar os problemas e as causas das patologias. Os autores buscam estudar ensaios nos quais se torna possível verificar a qualidade e durabilidade do concreto, demonstrando a diferença de resultados entre os ensaios destrutivos com os ensaios não destrutivos para um mesmo corpo de prova (no caso um bloco de 1x05x0,5m). É importante ressaltar que a resistência do concreto depende das matérias prima, das propriedades do concreto fresco e da maneira que o mesmo será conduzido (lançado) na construção, como também os cuidados que lhe será dado após o seu endurecimento. A quantia de água com relação ao cimento, a granulometria dos agregados e o método de adensamento e cura são exemplos de fatores que determinam a resistência. Ensaio não destrutivos (esclerometria e ultra-sonografia) e de corpos de prova pré moldados tem como vantagem o fato de não necessitar retirar amostras da estrutura para obtenção de resultados, ou seja, não ocorre prejuízo estrutural. Por outro lado os ensaios destrutivos, obtidos através da extração de testemunho, possuem maior confiabilidade quanto a resistência real da estrutura. Tanto os destrutivos como os não destrutivos foram efetuados conforme as normas. Quanto às comparações, os resultados foram analisados nas idades de 7, 14, 21, 28 e 63 dias e os ensaios de esclerometria obtiveram, em todas as idades, resistências menores em relação aos outros ensaios. A resistência dos corpos de prova moldados foram superiores a dos corpos de prova extraídos, também em todas as idades.

Palavras-chave: concreto; patologias; destrutivos; não destrutivos; resistência.

ABSTRACT

Concrete is the most used material in construction and better suited to resist compressive loads. Since it is an indispensable material and that in its aging is subject to suffering from various types of conditions and with high repair costs, there is a need for equipment and methods of studies to help in the diagnosis, as well as evaluating problems and the causes of diseases. The authors seek to examine trials in which it becomes possible to check the quality and durability of concrete, showing the difference between the results of destructive tests with the non-destructive tests for the same specimen (In this case a block 1x 0,5x 0,5 m). Importantly, the strength of concrete depends on the raw materials. The properties of fresh concrete and the way that it will be carried out (released) in construction, as well as the care you will be given after its hardening. Water to cement ratio, the aggregates and the method of compaction and curing are examples of factors that determine resistance. Non-destructive testing (concrete test hammer and ultrasonic testing) and concrete test specimens has the advantage of the fact of not needing to take samples of the structure to obtain results, ie no structural damage occurs. On the other hand the destructive tests, obtained by extracting samples, have greater reliability in the real resistance of structure. Both destructive and non-destructive were performed according to the rules. As for comparison the results were evaluated at the ages of 7, 14, 21, 28 and 63 days and the concrete test hammer were obtained in all ages, lower resistance than others tests. The resistance of the molded specimens were higher than the samples taken, also in all ages.

Keywords: Concrete; diseases; destructive; non-destructive; resistance.

LISTA DE TABELAS

TABELA 01 – Relação das ondas sonoras com a qualidade do concreto.....	31
TABELA 02 – Característica química e física do cimento.....	34
TABELA 03 – Característica física dos agregados miúdos.....	36
TABELA 04 – Granulometria do agregado miúdo natural.....	36
TABELA 05 – Granulometria do agregado miúdo industrial.....	37
TABELA 06 – Granulometria da composição dos agregados miúdos industrial e natural.....	38
TABELA 07 – Granulometria dos agregados graúdos.....	39
TABELA 08 – Característica física dos agregados graúdos.....	40
TABELA 09 – Características do Aditivo.....	40
TABELA 10 – Resistência a compressão cps 10x20cm.....	50
TABELA 11 – Resultados e dados dos corpos de prova extraídos.....	52
TABELA 12 – Resultados obtidos no ensaio de esclerometria.....	53
TABELA 13 – Resultados dos ensaios de ultrassom.....	54
TABELA 14 – Avaliação da qualidade do concreto através do ultrassom.....	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Evolução média de resistência à compressão dos diferentes tipos de cimento Portland.....	19
FIGURA 02 – Ilustração da sequencia de execução do ensaio de esclerometria...	29
FIGURA 03 - Caminhão betoneira com capacidade de 8m ³	34
FIGURA 04 – Estoque de Areia Industrial de origem Calcário.....	35
FIGURA 05 – Estoque de areia fina natural de origem quartzosa.....	35
FIGURA 06 – Gráfico de granulometria do agregado miúdo natural.....	37
FIGURA 07 – Gráfico de granulometria do agregado miúdo industrial.....	38
FIGURA 08 – Gráfico de granulometria da composição dos agregados industrial e natural.....	39
FIGURA 09 – Gráfico de granulometria do agregado graúdo.....	40
FIGURA 10 – Ensaio de abatimento do tronco de cone (ensaio slump test).....	42
FIGURA 11 – Ensaio do teor de ar incorporado em aparelho.....	42
FIGURA 12 – Moldagem do bloco 1x0,5x0,5m em estrutura metálica.....	43
FIGURA 13 – Máquina para ensaios de resistência.....	44
FIGURA 14 – Esclerometro utilizado e demarcação das áreas de impacto.....	46
FIGURA 15 – Bloco e equipamento para extração de testemunhos.....	47
FIGURA 16 – Capeamento dos corpos de prova extraídos.....	48
FIGURA 17 – Equipamento de Ultra som.....	49
FIGURA 18 - Posicionamento dos transdutores em posição oposta.....	49
FIGURA 19 – Evolução da resistência média à compressão.....	50
FIGURA 20 – Evolução da resistência media dos testemunhos extraídos.....	53
FIGURA 21 – Evolução dos resultados do ensaio de esclerometria.....	54
FIGURA 22 – Evolução da resistência dos cps extraídos e cps moldados.....	56
FIGURA 23 – Percentual superior da resistência dos corpos de prova moldados com relação aos testemunhos extraídos.....	56
FIGURA 24 – Evolução da resistência entre os corpos de prova moldados 10x20 e o ensaio de esclerometria.....	57
FIGURA 25 – Percentual superior da resistência dos corpos de prova moldados com relação ao ensaio de esclerometria.....	57
FIGURA 26 – Resistência dos ensaios aos 28 dias.....	58

LISTA DE SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACI	American Concrete Institute
ARI	Alta Resistência Inicial
CP	Cimento Portland
CPII-Z	Cimento Portland Composto com Pozolana
IBRACON	Instituto Brasileiro do Concreto
KN	Kilonewton
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul

LISTA DE SIMBOLOS e ABREVIATURAS

acum.	acumulado
a/c	relação água/cimento
B1	Brita 1
Cia	Companhia
Cps	Corpos de provas
CP	Corpo de Prova
D. Max	Diâmetro Maximo
ECI	Elasticidade
fc	resistência do concreto
fck	resistência característica a compressão
fc _m	resistência característica a compressão media
GPa	gigapascal
M. Finura	Modulo de Finura
M (g)	massa em gramas
MPa	megapascal
#	malha da peneira

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.3 ESTRUTURAS DO TRABALHO.....	14
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	15
2.1 INTRODUÇÃO.....	15
2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO NO CONCRETO.....	16
2.2.1 Relação água/cimento.....	16
2.2.2 Agregado.....	17
2.2.2.1 Agregado graúdo.....	18
2.2.2.2 Agregado miúdo.....	18
2.2.3 Cimento.....	19
2.2.4 Água de amassamento.....	20
2.2.5 Teor de ar incorporado.....	20
2.2.6 Temperatura de manipulação do concreto.....	21
2.2.7 Mistura e manipulação do concreto, transporte, lançamento, e adensamento.....	21
2.2.8 Condições de cura.....	22
2.2.9 Parâmetros de ensaio.....	23
2.3 INSPEÇÃO E DIAGNOSTICO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO	23
2.3.1 Moldagem e ruptura dos corpos de prova.....	24
2.3.2 Extração de testemunhos.....	24
2.3.3 Esclerometria.....	28
2.3.4 Ultra-sonografia.....	30
3 PROGRAMA EXPERIMENTAL	33
3.1 INTRODUÇÃO.....	33
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS.....	34
3.2.1 Cimento.....	34
3.2.2 Agregado miúdo.....	35
3.2.3 Agregado Graúdo.....	39
3.2.4 Aditivo.....	40
3.3 DOSAGEM DO CONCRETO.....	41
3.4 FABRICAÇÃO DO CONCRETO.....	41
3.5 ENSAIO COM CONCRETO FRESCO.....	41
3.6 MOLDAGEM DO BLOCO.....	42
3.7 MOLDAGEM DOS COPOS DE PROVA.....	43
3.8 CURA DO CONCRETO.....	43
3.9 ENSAIOS COM CONCRETO ENDURECIDO.....	44
3.9.1 Ensaio de Resistência a compressão.....	45
3.9.2 Esclerometria.....	45
3.9.3 Ensaio de testemunhos extraídos.....	47
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	50
4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS.....	50
4.1.1 Resistência a compressão de corpos de prova moldados.....	50
4.1.2 Resistência a compressão de testemunhos extraídos dos blocos.....	51
4.1.3 Esclerometria.....	53
4.1.4 Ultra som.....	54
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DE RESULTADOS.....	55

4.2.1 Resistencia a compressão dos Corpos de prova 10x20cm moldados X testemunhos extraídos.....	55
4.2.2 Resistência a compressão cps 10x20cm X esclerometria.....	57
4.2.3 Resultado do estudo.....	58
5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	59
5.1 CONCLUSÕES.....	59
5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS.....	60
6 REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado na construção e pela sua característica de se moldar em varias formas é amplamente utilizado em todo tipo de construção. Estima se que anualmente são consumidas 11 bilhões de toneladas o que da em média 1,9 tonelada de concreto por habitante. No Brasil o concreto dosado em central chega a uma marca de 30 milhões de metros cúbicos ano, com exceção da água nenhum outro material é mais utilizado pelo homem (IBRACON, 2009).

Considerando que o concreto é constituído de diversos elementos com formas, dimensões e propriedades variadas, é cada vez mais importante que se tenha um controle tecnológico no qual evite problemas diversos principalmente no seu estado endurecido.

No passado a avaliação das características do concreto baseava-se principalmente no atendimento as resistências mecânicas, mas com o envelhecimento destas estruturas e o surgimento de problemas, passou-se a estudar as causas de ocorrências dos mesmos, e as respectivas ações preventivas.

1.1 JUSTIFICATIVA

Considerando o crescimento da construção civil no âmbito mundial, e por vezes falta de controle tecnológico do concreto, ocorreu por diversos motivos o aparecimento de problemas no concreto gerando duvidas quanto a qualidade e durabilidade, tendo em vista as variáveis que se podem ter durante a produção, transporte, lançamento, adensamento e cura.

Com base no aparecimento destes problemas, buscou-se estudar ensaios nos quais se torna possível verificar a qualidade e durabilidade do concreto, buscando a interpretação das resultantes.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho consiste em realizar estudos de comparação entre ensaios destrutivos e não destrutivos, que são utilizados na verificação da qualidade do concreto simples.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Iniciando o trabalho, o primeiro capítulo se refere à introdução, o capítulo 2 mostra a revisão bibliográfica, na qual evidencia inicialmente características para desenvolvimento do concreto, tendo em vista a qualidade do concreto, são apresentadas informações sobre métodos de avaliação de estruturas, mostrando informações aplicáveis nos diferentes métodos de investigações estruturais sendo estes métodos destrutivos e não destrutivos. No capítulo 3 é apresentado a formulação da pesquisa, que se inicia pelo planejamento, escolha do concreto, dosagem, caracterização físico química do cimento e do aditivo, características físicas dos agregados, é feito também a demonstração dos ensaios executados com o concreto no estado fresco, moldagem dos corpos de prova e do bloco para esclerometria e extração, também a execução dos ensaios destrutivos e não destrutivos. No capítulo 4 são apresentados os resultados dos ensaios e a respectiva análise. No capítulo 5 são apresentadas as conclusões e as sugestões para futuras pesquisas.

2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 INTRODUÇÃO

A seleção dos materiais apropriados e a dosagem são, sem dúvida, passos importantes para produzir um concreto que atenda as especificações de resistência e durabilidade na estrutura. Desde os primeiros momentos após a mistura dos elementos constituintes, cimento, areia, água e brita, iniciam-se reações químicas, principalmente entre a água e o cimento, com grande liberação de energia. Esta matriz, como hoje é conhecida, é considerada a fase mais importante do concreto, pelo comprometimento que ela pode causar, se for manipulada de forma despreziosa, prejudica a resistência mecânica do concreto nas primeiras idades e também na sua durabilidade. O termo primeiras idades abrange apenas um insignificante intervalo de tempo (os dois primeiros dias após a produção) no total da expectativa de vida útil do concreto (MEHTA e MONTEIRO, 1994 Apud ALHADAS, 2008).

De maneira geral na construção civil a resistência à compressão é utilizada como parâmetro para se medir a qualidade do concreto, a melhor adequação de traço e ainda como parâmetro para controle de qualidade e resistência de edificações.

Segundo Mehta e Monteiro (1994), resistência é a medida da tensão exigida para romper o material. No projeto das estruturas de concreto, considera-se o concreto o material mais adequado para resistir as cargas de compressão; é por isso que a resistência à compressão do material é geralmente especificada. Esta propriedade refere-se tradicionalmente aos ensaios de resistência do concreto em corpos de prova curados em condições específicas de temperatura e umidade por um período de 28 dias.

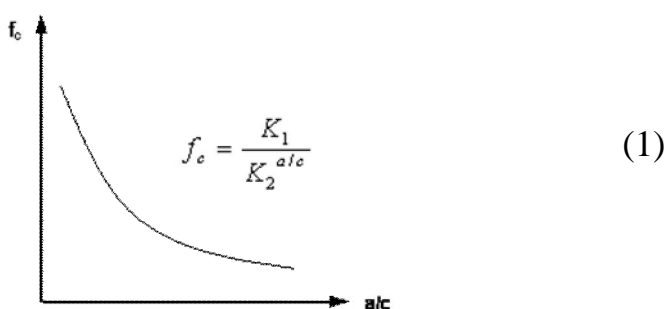
2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO NO CONCRETO.

O concreto da origem aos mais variados componentes da construção civil e cada matéria prima assim como todos os procedimentos para obter a peça de concreto são influentes na resistência a compressão potencial, ou seja, a resistência esta diretamente relacionada com a propriedade do concreto fresco e com a maneira que o mesmo será conduzido e estabilizado na construção.

2.2.1 Relação água/cimento

Em 1918, a partir de estudos no Instituto Lewis, Universidade de Illinois, EUA, Duff Abrams exemplificou uma relação entre a relação água/cimento (a/c) e a resistência do concreto (f_c), conhecida como Lei de Abrams da relação água/cimento (MACAMBIRA, 2001).

Esta relação é representada pelo gráfico 1:



Onde k_1 e k_2 são constantes correlacionadas com as características dos materiais que compõem o concreto.

Segundo Mehta e Monteiro 1994, do ponto de vista da resistência, a relação água/cimento é indiscutivelmente o fator mais importante porque, independentemente de outros

fatores, ela afeta a porosidade tanto da matriz pasta de cimento como da zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo.

Já Neville (1982) afirma que a resistência do concreto a uma idade determinada, curado a uma temperatura estabelecida depende, fundamentalmente, de apenas dois fatores: a relação água/cimento e o grau de adensamento, ainda admitindo que o concreto endurecido contenha cerca de 1% de vazios de ar o autor ainda afirma que quando o concreto é plenamente adensado, admite-se que a sua resistência é inversamente proporcional a relação água/cimento, de acordo com a “lei” estabelecida por Duff Abrams, em 1919. Segundo Mehta e Monteiro(1994) a resistência no concreto pode ser facilmente explicada como uma consequência natural do progressivo enfraquecimento da matriz devido ao aumento da porosidade com o aumento da relação água/cimento. Essa explicação, contudo, não leva em conta a influencia dessa relação sobre a resistência da zona de transição, pois depende das características do agregado tais como porosidade e mineralogia.

2.2.2 Agregado

Para a definição das dosagens de concreto, é necessário conhecer certas características dos agregados, isto é, massa específica, absorção, composição granulométrica e teor de umidade. A porosidade, massa específica, composição granulométrica, forma e textura superficial dos agregados, determinam as propriedades do concreto no estado fresco. A porosidade e a composição mineralógica do agregado afetam sua resistência, e sua dureza como também módulo de elasticidade por sua vez, influenciam várias propriedades do concreto endurecido que contenha o agregado. (MEHTA e MONTEIRO, 2008).

Os agregados podem conter substancias nocivas ao concreto que devem ser limitados para não prejudicar sua resistência. Essas se apresentam sobre a forma de torrões de argila, materiais pulverulentos e impurezas orgânicas.

2.2.2.1 Agregado graúdo

A influência do tipo de agregado graúdo sobre a resistência do concreto varia em grandeza e depende da relação água/cimento. Com relações água/cimento abaixo de 0,4, agregados britados resultam em resistência até 38% mais altas do que seixos rolados. A influência do agregado graúdo sobre o concreto diminui quando a relação água/cimento aumenta, devido ao fato de que passe a prevalecer a resistência da pasta com uma relação água cimento 0,65 não se observou diferença entre resistência de concreto preparados com brita ou seixo (Neville, 1997).

A influência do agregado sobre a resistência do concreto para estruturas de pouco ou médio desempenho, tem sido pouco considerada, embora a resistência do agregado não seja um fator determinante para a resistência do concreto, porque com exceção do agregado leve, o agregado é mais resistente do que a matriz e a zona de transição. Outras características dos agregados podem interferir, tais como dimensão, forma, textura superficial, granulométrica e mineralogia, estes podem interferir alterando a relação água/cimento para se conseguir determinada consistência, porém, independentemente da relação água/cimento, as características citadas acima podem interferir na zona de transição e afetarão diretamente a resistência do concreto (MEHTA E MONTEIRO 2008).

Antes tido como um material inerte, o agregado passou a ser visto não só como um componente do concreto, mas sim um elemento capaz de influenciar o desempenho do concreto. Assim, quando esta influência passou a ser conhecida cuidou-se melhor da seleção dos agregados, sempre levando em consideração o ambiente de inserção da estrutura de concreto que estará sendo produzida (NETO, 2005 Apud ALHADAS, 2008).

2.2.2.2 Agregado miúdo

Algo que merece atenção quanto ao agregado miúdo é a porcentagem de material pulverulento, pois se trata de impurezas que podem modificar as propriedades do concreto, no sentido de não proporcionar uma boa liga. Petrucci (1982) cita em seu livro Concreto de Cimento Portland, que a argila, reduzida a pó muito fino, contribui para preencher os vazios da areia e influi para que o cimento envolva melhor os grãos de areia, ligando-os mais

fortemente entre si. Porém a argila pode ser altamente prejudicial caso não misturar-se adequadamente ao cimento, pois forma uma película envolvendo cada grão. A solução seria lavar o agregado, contudo no caso das areias a lavagem pode arrastar os grãos mais finos da areia, aumentando o índice de vazios, o que implicará em menor resistência do concreto (ou argamassa).

2.2.3 Cimento

Comparando a matriz do concreto de um cimento de alta resistência inicial com a de outro cimento comum, a baixas idades, a primeira matriz será muito menos porosa. Ao longo do tempo, os poros da matriz do cimento comum são preenchidos pelos produtos de hidratação, e a porosidade final poderá ser a mesma do concreto de alta resistência inicial. Portanto, a influência do tipo de cimento é mais significativa para baixas idades (VIEIRA, 2011).

Na figura 01 é mostrada a evolução da resistência de cada tipo de cimento.

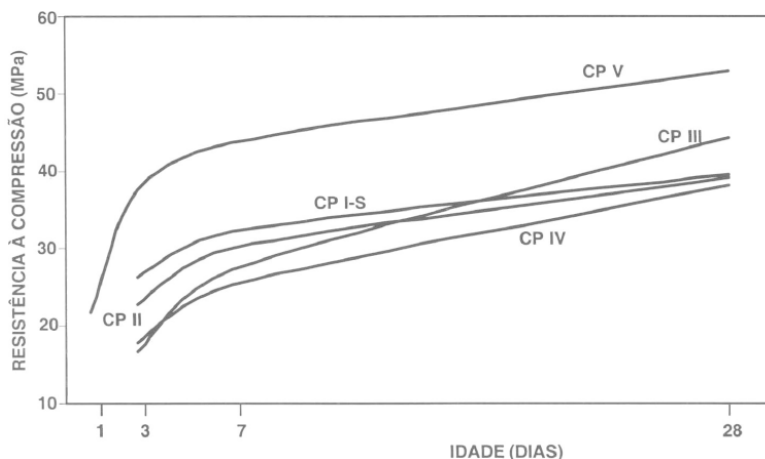


FIGURA 01 – Evolução média de resistência à compressão dos diferentes tipos de cimento Portland
Fonte: ABCP, 2002

De uma forma geral, a resistência do concreto aumenta conforme as partículas de cimento continuam a formar produtos de hidratação, tendendo a reduzir o volume de vazios. Cada um dos tipos de cimento apresenta uma velocidade de hidratação diferente. Quanto mais fino o cimento, mais rápida é a evolução da resistência do concreto. O cimento de alta

resistência inicial (ARI) possui um índice de finura maior que os outros tipos, o que explica o comportamento de maior resistência nas primeiras idades (NEVILLE, 1997).

2.2.4 Água de amassamento

A água é o componente do concreto responsável pelas reações de hidratação do cimento e, portanto, tomar precaução quanto a sua qualidade evita manifestações patológicas tanto no concreto como também na armadura das estruturas. Como orientação geral, do ponto de vista da resistência do concreto, a presença de quantidades excessivas de algas, óleo, sal e açúcar na água de amassamento devem ser vista como um sinal de advertência.

A presença de algas na água pode resultar na incorporação de ar, com conseqüente perda da resistência. A utilização da água do mar ou salobra pode provocar uma resistência inicial maior em função da salinidade, no entanto reduzir a resistência em longo prazo, umidade permanente e eflorescências na superfície do concreto. Portanto, não deve ser utilizada. (NEVILLE, 1997)

Os requisitos são determinados pela NBR 15900 – Água para amassamento do concreto.

2.2.5 Teor de ar incorporado

O fator ar incorporado na maioria dos casos está atrelado à relação água/cimento, mas quando existe uma incorporação de ar, seja ela por uso de aditivos, ou adensamento inadequado, estes fatores contribuem para o aumento da porosidade e com isto ocasionam a perda da resistência do concreto. Quando se aumenta a porosidade, o ar incorporado tende a agir de maneira negativa quanto à resistência, em contrapartida dosagens com baixo consumo de água e cimento, atrelado a uma boa trabalhabilidade e compacidade da mistura, o ar incorporado tende a aumentar a resistência na zona de transição, desta forma acrescentando resistência ao concreto (MEHTA E MONTEIRO 2008).

2.2.6 Temperatura de manipulação do concreto

A temperatura de manipulação do concreto é diretamente proporcional à intensidade das tensões e deformações. Daí a relevância quanto a sua limitação, interferindo no processo de fissuração e conseqüentemente durabilidade da estrutura (MARQUES FILHO, 2005).

O Pré-resfriamento do Concreto pode ser feito resfriando tanto a água de mistura como também os agregados graúdos. Tal procedimento obtém maior uniformidade na mistura e minimização dos problemas de clima quente (ANDRIOLO e SKWARCZYNSKI, 1988 Apud MARQUES FILHO, 2005 e WENDLER, 2007). Através da diminuição do calor de hidratação nas primeiras horas, este procedimento gera uma melhor evolução da resistência à compressão (<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/frio.html> > acesso em 31 de agosto de 2011). A NBR 14931, Item 9.3.2, estabelece que a temperatura da massa do concreto, no momento do lançamento, não deve ser inferior a 5° C.

2.2.7 Mistura e manipulação do concreto, transporte, lançamento, e adensamento.

A resistência à compressão do concreto na estrutura é compreensivelmente menor que no local onde a mistura foi manipulada e pode ser menor ainda nos casos de traço, transporte e adensamento inadequados devido alguns fatores citados por HELENE, 2011.

- Segregação e exsudação: em estruturas com altura maior de 30cm os materiais mais leves, como a água, tendem a subir, reduzindo assim a resistência do concreto no topo das estruturas. Segundo ACI 214.4R-10 (American Concrete Institute) o concreto do topo de pilares pode apresentar resistência 15% menor que aquela do terço inferior. Na ocasião de ensaio de resistência a compressão as superfícies com exsudação deve ser descartada, através de corte de pelo menos 2 cm do concreto superficial.
- Adensamento: 1% a mais de ar aprisionado pode ser responsável por 7% a menos na resistência à compressão, segundo ACI 214.4R-10. Portanto deve-se comprovar a eficiência do adensamento antes de questionar a resistência potencial do concreto de origem.
- Direção de lançamento do concreto: segundo o ACI 214.4R-10, os testemunhos extraídos em direção ortogonal à direção de lançamento e adensamento do concreto

apresentam resistências à compressão inferiores (0% a 12%) às aquelas obtidas de testemunhos extraídos na mesma direção vertical.

A vibração incorreta do concreto pode diminuir a resistência devido ao ar aprisionado. Usando-se um vibrador de imersão força o concreto a se movimentar para cima e para baixo, ajudando assim, o ar sair (MEHTA E MONTEIRO 2008). Por outro lado se exagerar na vibração pode ocasionar exsudação e comprometer a resistência do concreto. (HELENE, 2011)

2.2.8 Condições de cura

Para obtenção de um concreto de qualidade, o processo de cura deve ser executado durante os primeiros estágios de endurecimento do concreto, o objetivo da cura é manter o concreto saturado até que os espaços ocupados inicialmente pela água na pasta fresca do cimento sejam ocupados, no ponto desejado, pelos produtos da hidratação do cimento (LIMA, JEFERSON M.; PACHA, JOSÉ R. S., 2011).

A necessidade de cura é justificada, segundo Neville (1997), pelo fato de que a hidratação do cimento só pode se efetuar nos capilares cheios de água, sendo assim deve-se evitar a perda da água dos capilares, e ao mesmo tempo deve-se tornar possível a entrada de água no concreto.

A umidade de cura tem influência na resistência do concreto, estudos mostram que para uma dada relação água/cimento, o concreto curado sobre condições continuamente úmidas foi três vezes maior do que a resistência do concreto curado continuamente ao ar. Um período mínimo de cura úmida de 7 dias é recomendado para concreto contendo cimento Portland comum, para cimentos com adições, este período deve ser prolongado a fim de que se possa garantir a contribuição na resistência das reações pozolânicas (MEHTA E MONTEIRO 1994). A Norma NBR 14931 determina fazer a cura em um concreto até que sua resistência atinja 15,0 MPa. A consideração é que o concreto, ao atingir esta resistência, já estará com seu grau de hidratação bem avançado. Por outro lado alguns tecnólogos apontam a carbonatação como fator imprescindível para se fazer uma cura mais prolongada. Desta

forma, o tipo de cimento e a relação água/cimento são aspectos importantes quando se estabelece o tempo de cura. Como medida prática de controle, a NBR 14931 especifica o tempo de sete dias como tempo mínimo de cura para qualquer tipo de concreto. Em climas que apresentam ventos fortes e baixa umidade do ar também são desfavoráveis e, portanto é recomendada uma cura apropriada. (AOKI, 2011)

2.2.9 Parâmetros de ensaio

Antes de romper qualquer corpo de prova e observar os resultados da resistência à compressão do concreto, deve avaliar as condições dos corpos de prova (tamanho, geometria, e o estado de umidade do concreto) assim como a velocidade e duração com que a tensão é aplicada.

Com relação ao tamanho de corpo de prova cilíndrico observou-se que de maneira geral, quanto maior a relação altura/diâmetro, menor será a resistência. Um indicador para obter melhores resultados é manter sempre que possível a relação altura/diâmetro igual a 1. Um estudo comparativo da relação altura/diâmetro mostra que os corpos de prova com relação altura/diâmetro igual a 1, obtiveram resultados 15% maiores em comparação com os corpos de prova com relação altura/diâmetro igual a 2 (MEHTA E MONTEIRO 2008)

2.3 INSPEÇÃO E DIAGNOSTICO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO

Diversos fatores podem afetar uma estrutura de concreto, desde ações naturais como maré, por exemplo, até de ações decorrente do mau uso (sobrecarregamento, etc.). Por isso tanto as edificações do passado como também as atuais sofrem com o aparecimento de patologias que normalmente possuem elevados custos de reparo, muitas vezes não previstos no custo das edificações. A utilização de equipamentos para auxiliar o diagnostico das patologias vem sendo cada vez mais necessário, sendo que estes devem ser manipulados com técnicas, e normalizações consagradas. Com a utilização destes equipamentos pode-se melhorar o entendimento dos mecanismos que ocorrem, e, especificar as melhores técnicas e os materiais de reparo a serem utilizados em cada caso (LAPA, 2007).

Houve uma busca, por um melhor entendimento das patologias e com isto realizar diagnósticos mais precisos. A partir da década de 30, do século passado, estes equipamentos tiveram um grande avanço, tendo em vista o aparecimento de grandes obras de infra estrutura, tais como pontes, rodovias, portos, aeroportos, indústrias e hidrelétricas.

Segundo, Figueiredo (2005) além da contribuição fornecida pelos instrumentos, as inspeções visuais efetuadas por especialistas completam as atividades de controle necessárias para a avaliação da segurança das obras.

Os ensaios para verificação de estruturas que sofreram alterações dividem-se em ensaios destrutivos e não destrutivos, os ensaios não destrutivos são os que primeiramente devem ser executados, pois não trazem prejuízos na estrutura em questão. (MEDEIROS, 2011).

Por outro lado, os ensaios destrutivos, possuem uma confiabilidade maior em relação ao método não destrutivo, mas em contra partida causam danos à estrutura, a qual já esta afetada pela patologia.

2.3.1 Moldagem e ruptura dos Corpos de Prova

Segundo Figueiredo (2005) a moldagem e ruptura dos corpos de prova é a primeira forma de se analisar a qualidade do concreto, assegurar a resistência à compressão projetada, por meio dos corpos de prova pode-se fazer outras análises como resistência a tração, a curva de tensão deformação, modulo de deformação e coeficiente de Poisson. Os procedimentos são encontrados na norma NBR 5738:2003, que descreve os procedimentos de moldagem, desforma, preparação de topos, transporte e cura dos corpos de prova cilíndricos e prismáticos, destinados à resistência a compressão.

2.3.2 Extração de testemunhos

Existem ocasiões que os ensaios não destrutivos não permitem a avaliação segura da resistência da estrutura, neste caso então, é necessário a retirada de testemunhos diretamente da estrutura a ser avaliada, estes são conhecidos como ensaios destrutivos de extração e

ruptura de testemunhos, no qual utiliza-se uma máquina extratora, que dispõe de uma coroa rotativa de diamante na sua extremidade (MEHTA E MONTEIRO, 1994 apud FIGUEIREDO 2005)

Assim como os corpos de prova moldados em estado fresco, os corpos de prova extraídos das estruturas podem ser submetidos a ensaios de resistência a compressão, tração, módulo de deformação, diagrama de tensão-deformação do concreto e o módulo de elasticidade (CÁNOVAS, 1998 apud FIGUEIREDO, 2005)

As amostras retiradas das estruturas devem ser de acordo com as características da estrutura, consumo e categoria de cimento, mesmos agregados e mesmo traço, com o objetivo de se obter lotes homogêneos de amostras a serem analisadas. As amostras extraídas não devem conter materiais contaminantes como madeira e barras de aço, sempre que possível a extração deve ser feita na posição ortogonal ao lançamento do concreto, e mantendo-se um diâmetro de testemunho das juntas de concretagem. (FIGUEIREDO 2005)

Para a realização do ensaio de compressão em estruturas de concreto, a resistência deve, sempre que possível, ser superior a 5 MPa. Amostras com uma resistência menor ou igual a esta podem acarretar um perigo de microfissuração, desprendimento de grãos miúdos e perda de aderência da pasta, desta maneira, prejudicando os valores de resistência a compressão (CÁNOVAS, 1998 apud FIGUEIREDO 2005)

A Norma NBR 6118:2003 estabelece que para elementos estruturais que foram expostos a condições desfavoráveis como, por exemplo, transporte, adensamento e aplicação inadequados, o coeficiente γ_c deve ser multiplicado por 1,1.

Quando a verificação se faz na idade j igual ou superior a 28 dias, adota-se a equação (1);

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c \quad (1)$$

Quando a verificação se faz em idade j inferior a 28 dias, adota-se a equação (2);

$$f_{cd} = \frac{f_{ckj}}{\gamma_c} \cong \beta_1 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (2)$$

Sendo β_1 a relação F_{ckj}/F_{ck} dada por

$$\beta_1 = \exp \{ s [1 - (28/t)^{1/2}] \}$$

onde:

$S = 0,38$ para concreto de cimento CP III e IV;

$S = 0,25$ para concreto de cimento CPI e II;

$S = 0,20$ para concreto de cimento CPV - ARI

Sendo:

F_{cd} – Resistência de calculo do concreto

γ_c - Coeficiente de ponderação da resistência do concreto

t – idade efetiva do concreto em dias.

β_1 - Coeficiente

Segundo a ABECE (associação brasileira de engenharia e consultoria estrutural) a norma ABNT NBR 6118:2003 admite que para testemunhos extraídos da estrutura deve-se considerar conforme equação (3):

$$f_{ck,est} = 1.1 \cdot f_{ck,ext} \quad (3)$$

A NBR 6118:1978 permitia para concreto de própria estrutura, utilizar conforme a equação (4):

$$f_{ck,est} = 1.15 \cdot f_{ck,ext} \quad (4)$$

O ACI 437:2003 Strength Evaluation of Existing Concrete Buildings no item 5.1.1 recomenda para concreto de própria estrutura, conforme equação (5):

$$f_{ck,est} = 1.18 \cdot f_{cm,ext} \quad (5)$$

O ACI 318:2005 Building Code Requirements for Structural Concrete, nos itens 9.3 e 20.2, recomenda para concreto de própria estrutura, conforme equação (6):

$$f_{ck,est} = 1.21 \text{ a } 1.25 \cdot f_{ck,ext} \quad (6)$$

Sendo:

$f_{ck,est}$ – Resistência característica do concreto à compressão estimada a partir de Cps moldados (28 dias)

$f_{ck,ext}$ – Resistência característica do concreto à compressão obtida a partir de testemunhos extraídos de qualquer idade.

$f_{cm,ext}$ – Resistência média do concreto a compressão obtida a partir de testemunhos extraídos de qualquer idade.

As extrações em geral apresentam uma resistência menor nas proximidades da superfície da estrutura, por causa do fenômeno da exudação do concreto. A norma NBR 7680 (ABNT, 1983) prevê que, em colunas, pilares e paredes cortina, os testemunhos devem ser extraídos de seções 50 cm abaixo da superfície topo de concretagem do componente estrutural. Quando isto não for possível os resultados devem ser aumentados em 10% (NEVILLE 1997).

Quanto as dimensões das extrações, as amostras devem possuir um diâmetro de 150 mm, ou, quando não exequível, neste caso, devera ser no mínimo 3 vezes a dimensão máxima característica do agregado graúdo, preferencialmente maior ou igual a 100mm. A altura da amostra de extração deve sempre ser de 2 vezes o diâmetro, nunca maior. Quando não for possível, a NBR 7680 (ABNT, 1983) fornece fatores de correção a serem aplicados. Este cuidado se deve ao fato de que ao efetuar o rompimento de testemunhos de diferentes diâmetros, a resistência é mais regular quando a dimensão é maior. Sendo assim quanto maior for o diâmetro do testemunho, com relação a altura, maior será a resistência obtida da amostra em questão (MEHTA E MONTEIRO 2008).

Alguns autores consideram que quanto maior for o diâmetro de um corpo de prova, menor será a resistência a compressão, tendo em vista que a resistência do concreto esta ligada a varias diferenças de resistências em seus materiais constituintes, logo, a conclusão é de que quanto maior for o volume de concreto de uma amostra maior seria a chance de se ter fissuras e defeitos, já para amostras menores, no caso de corpos de prova de menores diâmetros, existiriam menores chances de se ter fissuras e defeitos nos corpos de

prova(DANILO GOMES MARTINS, 2008 apud COUTINHO GONÇALVES, 1994; COURA, 2006).

Segundo a norma ABNT NBR 7680 : 2007, o ensaio de rompimento dos corpos de prova extraídos deve ser realizado conforme o estado atual de umidade da peça, ou seja, se a estrutura estiver submersa, ou em contato permanente com água, o ensaio de rompimento deve ser realizado com os corpos de prova no estado saturado superfície seca, caso a estrutura estiver em estado ambiente, estes devem ser preparados e estocados no mínimo 48h antes da ruptura em local com umidade relativa acima de 50% obedecendo os critérios de temperatura da ABNT NBR 5738.

As resistências obtidas em corpos de provas proveniente de extrações são geralmente menores das encontradas nos corpos de provas moldados em condição fresco, isto porque a moldagem dos corpos de prova é realizada por mão de obra especializada, recebe cura em condições ótimas, já o concreto que é aplicado na obra passa por condições de transporte, redosagem, lançamento adensamento e cura não ideais (CÁNOVAS, 1998) apud (FIGUEIREDO 2005).

2.3.3 Esclerometria

Segundo Bungey (1989) apud Evangelista (2002), as primeiras tentativas de medir a dureza superficial do concreto ocorreram em 1930, sendo que inicialmente foram utilizados métodos envolvendo medições do retorno de uma bola de aço fixa num pêndulo, ou atirada de uma pistola. O princípio do ricochete, segundo o qual o retorno de uma massa elástica depende da dureza da superfície onde ela se choca, foi o mais aceito mundialmente.

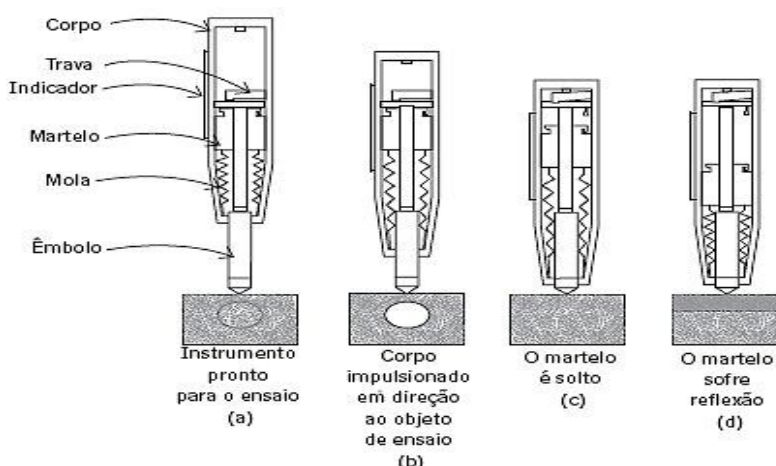


FIGURA 02 – Ilustração da sequência de execução do ensaio de esclerometria
Fonte: Mehta e Monteiro, 2008

Segundo Tobio(1967) apud Figueiredo(2005), o operador do equipamento exerce um esforço de compressão sobre o concreto endurecido, fazendo com que ocorra uma liberação da mola de impacto e a “massa-martelo” é projetada contra a superfície do concreto, propiciando um retorno do martelo e fornecendo um número para a escala graduada.

Através do índice esclerométrico se define as características naturais do concreto, e a resistência à compressão, por meio de curvas ou de tabelas fornecidas pelo fabricante do equipamento, no entanto, as informações do concreto que as curvas do aparelho informam podem ser diferentes do concreto analisado, recomenda-se neste caso a aferição prévia do equipamento sobre concretos de qualidades semelhantes (CÁNOVAS, 1995) apud (FIGUEIREDO 2005)

O esclerômetro é um equipamento leve e simples de operar. Com este instrumento é possível avaliar a uniformidade da resistência mecânica do concreto "in loco", com danos praticamente nulos à superfície do material (EVANGELISTA, 2002), mas os valores obtidos não são precisos já que dependem da uniformidade da superfície, da condição de umidade, da carbonatação superficial e da rigidez do elemento estrutural (MEHTA & MONTEIRO, 2008).

Existem fatores que podem afetar a qualidade dos resultados, segundo Almeida(1993), apud Figueiredo(2005) para um ensaio de esclerometria apenas uma camada de no máximo 5cm de profundidade do concreto é verdadeiramente analisada pelo equipamento, fenômenos como a carbonatação, a rugosidade ou a umidade na superfície

podem afetar os resultados, outros fenômenos que podem afetar os resultados é a posição em que o equipamento é colocado no momento do ensaio, existe uma correção para o ensaio onde sabendo-se o ângulo em que o equipamento é posicionado uma escala presente no aparelho pode realizar as correções necessárias. Para que sua aplicabilidade em estruturas antigas seja possível, faz-se necessário a retirada de corpos de prova e a análise da correlação entre a resistência à compressão e os resultados do exame esclerométrico (MALHOTA e CARINO,1991) apud (NOGUEIRA, 2000).

2.3.4 Ultra-sonografia

Além da esclerometria outro método não destrutivo, para se avaliar o concreto, é o método ultra-sônico, mede a velocidade de propagação de ondas longitudinais por pulsos ultra-sônicos através do concreto, com objetivo de verificar a uniformidade do concreto, detectar eventuais falhas internas de concretagem, avaliar a profundidade de fissuras ou outras imperfeições, avaliar o módulo de deformação e a resistência a compressão, avaliar as variações das características do concreto ao longo do tempo, decorrentes de agressividade do meio ambiente. As primeiras publicações sobre medições de velocidade de pulsos mecanicamente gerados apareceram nos Estados Unidos em meados de 1940. Constatou-se que a velocidade depende das propriedades elásticas do material e quase não depende da sua geometria (BUNGEY ,1989, apud, EVANGELISTA, 2002). A velocidade com que os pulsos ultra-sônicos propagam-se no concreto pode ser associada à qualidade do mesmo(ver tabela 01), mais precisamente, à sua resistência à compressão [Krautkrämer e Krautkrämer, 1990, apud, NOGUEIRA, 2000]. A onda é uma perturbação que se propaga de um ponto para outro, através de um meio, transmitindo energia sem transporte de matéria, a velocidade do som depende de vários fatores, do meio de propagação, verifica-se que a velocidade do som nos sólidos é muito maior do que no estado líquido, que por sua vez é maior que a dos gases. (V Som gases < V Som líquidos < V Som sólidos).

TABELA 01– Relação das ondas sonoras com a qualidade do concreto.

<i>VELOCIDADE DA ONDA ULTRA-SÔNICA (m/s)</i>	<i>QUALIDADE DO CONCRETO</i>
V > 4500	EXCELENTE
3500 < V < 4500	ÓTIMO
3000 < V < 3500	BOM
2000 < V < 3000	REGULAR
V < 2000	RUIM

Fonte: Whitehurst, 1966 Apud E. Figueiredo Pazzinil, 2005

A vantagem deste ensaio em relação ao ensaio de esclerometria é que a onda ultra-sônica não se limita somente a superfície do concreto e, portanto, avalia a qualidade do concreto estendendo-se a toda massa (CÁNOVAS, 1988) apud (FIGUEIREDO, 2005)

Este ensaio está baseado na emissão de ondas sonoras de alta frequência e o fator determinante para o resultado do ensaio seria a variação da velocidade de um determinado tipo de concreto para outro, esta variação por sua vez se dá pela porosidade e o índice de vazios do concreto. Sabendo-se do intervalo de distância em que o ensaio é aplicado pode-se medir a velocidade média do trecho de propagação. Esta velocidade irá depender de fatores como a natureza dos materiais, porosidade, presença de água nos poros (LORENZI “et al.”, 2003)

O ensaio consiste na emissão de um pulso de frequência ultra sônica, transmitindo para um transdutor eletroacústico em contato com a superfície do concreto, as vibrações são recebidas e convertidas em sinal elétrico pelo segundo transdutor eletroacústico, com amplificação adequada, ao circuito gerador-receptor, o tempo de recepção é medido com precisão de pelo menos 0,1 micros (NEVILLE & BROOKS, 1997 apud FIGUEIREDO, 2005).

Para a realização do ensaio a aplicação da energia elástica gerada na sonda não se transmite à superfície do concreto diretamente, mas através de um acoplante, geralmente se utiliza vaselina, graxa, silicone como material a ser utilizado na face dos transdutores e a superfície a ser ensaiada (NBR 8802 – ABNT, 1994 apud FIGUEIREDO, 2005)

O ensaio permite utilizar 3 tipos de ondas, as longitudinais, transversais e de superfície. As ondas longitudinais fornecem um melhor desempenho, pois o pico principal das ondas longitudinais é detectado quando os transdutores são localizados em faces opostas do concreto, com transmissão direta de pulsos, já para as ondas transversais e de superfície, que são também conhecidas como indiretas, são utilizadas quando não é possível dois lados opostos do concreto, com isto a precisão do ensaio será inferior comparados aos ensaios de transmissão direta (NEVILLE & BOOKS, 1997) apud (FIGUEIREDO, 2005)

Não há uma relação única nem teórica entre resistência e velocidade da onda nem mesmo para materiais homogêneos e linearmente elásticos (POPOVICS, 2001, apud EVANGELISTA, 2002). Este fato é devido à influência de vários fatores como as propriedades e proporções dos materiais que compõem o concreto, idade e teor de umidade (Phoon et al, 1999, apud EVANGELISTA, 2002).

3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

3.1 INTRODUÇÃO

Este estudo experimental visa realizar uma análise comparativa entre ensaios de resistência à compressão no concreto em seu estado endurecido, utilizando ensaios destrutivos e não-destrutivos. A intenção é comparar a resistência obtida nos ensaios de corpos de prova moldados, esclerometria e extração de testemunhos, e também apresentar os resultados obtidos pelo método do ultra som que mostra através de pulsos ultrassônicos a uniformidade do concreto.

O concreto utilizado no experimento é do tipo dosado em central, bombeável, com traço 1;2,68;3,09;0,54(cimento;areia;brita;a/c) e abatimento de 100+-20 mm. Foi adotado $f_{ck} = 30,0$ MPa, por ser o mais utilizado no mercado em obras de médio e grande porte de Curitiba e região, visando assim uma melhor adaptação do estudo com casos reais. Os materiais utilizados foram cimento CII-Z 32 Itambé, agregado miúdo da região de Campo Largo, de origem quartzosa, areia industrial da região de Balsa Nova, de origem calcária, agregado graúdo da região de Balsa Nova, de origem calcária, e aditivo plastificante.

Para a realização dos ensaios de esclerometria, de extração de testemunhos e de ultra som foi moldado um bloco de concreto de dimensões 1,0x0,5x0,5m, o qual foi curado durante as primeiras 72 horas com utilização de manta geotextil. Uma parte do concreto foi destinado à moldagem de corpos de prova 10x20cm, os quais foram curados de acordo com o que estabelece a norma NBR 5738/2003. O concreto para o bloco e para os corpos de prova foi retirada de uma amostra única, sendo a mesma executada em conjunto caminhão betoneira com capacidade de carga de 8m³ (Figura 03). Durante toda a pesquisa o bloco de concreto esteve em condições ambientais externas, coberto com manta geotextil.



FIGURA 03 - Caminhão betoneira com capacidade de 8m³
Fonte: o autor

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Antes da execução do concreto para o estudo se faz necessária a análise detalhada de todos os materiais utilizados na pesquisa, para isto, este capítulo mostra os resultados das análises executadas em laboratório de acordo com as normas vigentes para os ensaios.

3.2.1 Cimento

O cimento utilizado no estudo foi o CII Z 32, fabricado pela Cia de Cimento Itambé e escolhido pelo fato de ser muito utilizado na região. O cimento utilizado provem de uma amostra única, a qual apresenta as características físico-químicas apresentadas na tabela 02.

TABELA 02 – Característica química e física do cimento

Características Químicas								
Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	P.Fogo	CaO L.	R. Ins.
%	%	%	%	%	%	%	%	%
6,14	22,46	2,90	53,75	4,03	2,43	5,32	0,83	11,37
Características Físicas								
Tempo de pega (h:min)		Cons. Normal	Blaine	#200	#325	Resistência à compressão (Mpa)		
Início	Fim	%	Cm ² /g	%	%	3 dias	7 dias	28 dias
3:02	3:42	26,4	3.729	3,65	14,55	25,3	31,8	40,0

Fonte: Cimento Itambé

3.2.2 Agregado miúdo

O concreto utilizado é composto por dois tipos de agregados miúdos. A areia industrial de origem calcário, proveniente de Balsa Nova-PR, e a areia natural de origem quartzosa, proveniente de Campo Largo, ambos os materiais de um único lote (ver figuras 04 e 05).



FIGURA 04 – Estoque de Areia Industrial de origem Calcário.
Fonte: o autor



FIGURA 05 – Estoque de areia fina natural de origem quartzosa
Fonte: o autor

TABELA 03 – Característica física dos agregados miúdos

Características física de agregado natural		
Ensaio	Resultado	Norma
Massa específica (kg/dm ³)	2,63	NBR 52/2003
Material pulverulento (%)	9,7	NBR7219/1987
Torrões de argila (%)	3	NBR7218/1987
Modulo de finura #	1,76	NM248/2003
Características físicas do agregado industrial		
Ensaio	Resultado	Norma
Massa específica (Kg/dm ³)	2,76	NBR 52/2003
Material Pulverulento (%)	4	NBR7219/1987
Torrões de argila (%)	0	NBR7218/1987
Modulo de finura #	2,86	NM248/2003

Fonte: Autores

TABELA 04 – Granulometria do agregado miúdo natural

Peneiras mm	Areia Fina Campo largo		
	M(g)	%retida	%acum
50,0			
38,0			
32,0			
25,0			
19,0			
12,0			
9,5			
6,3			
4,8	3		
2,4	8	1	1
1,2	29	3	4
0,600	114	11	15
0,300	507	51	66
0,150	236	24	90
0,075	68	7	97
Fundo	35	4	
Total	1000		100
M. Finura	1,76		
D. Max	1,2		

Fonte: O autor

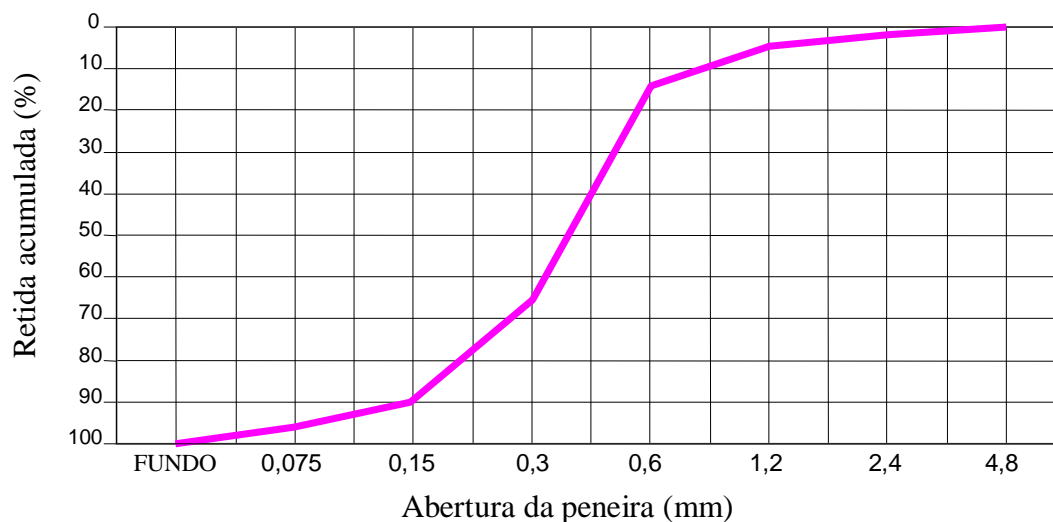


Figura 06 – Gráfico de granulometria do agregado miúdo natural.
Fonte: o autor

TABELA 05 – Granulometria do agregado miúdo industrial

Peneiras mm	Areia Industrial Balsa nova		
	M(g)	%retida	%acum
50,0			
38,0			
32,0			
25,0			
19,0			
12,0			
9,5			
6,3			
4,8			
2,4	19,0	2	2
1,2	444,0	44	46
0,600	222,0	22	69
0,300	134,0	13	82
0,150	82,0	8	90
0,075	51	5	95
Fundo	48	5	
Total	1000		100
M. Finura	2,86		
D. Max	2,4		

Fonte: O Autor

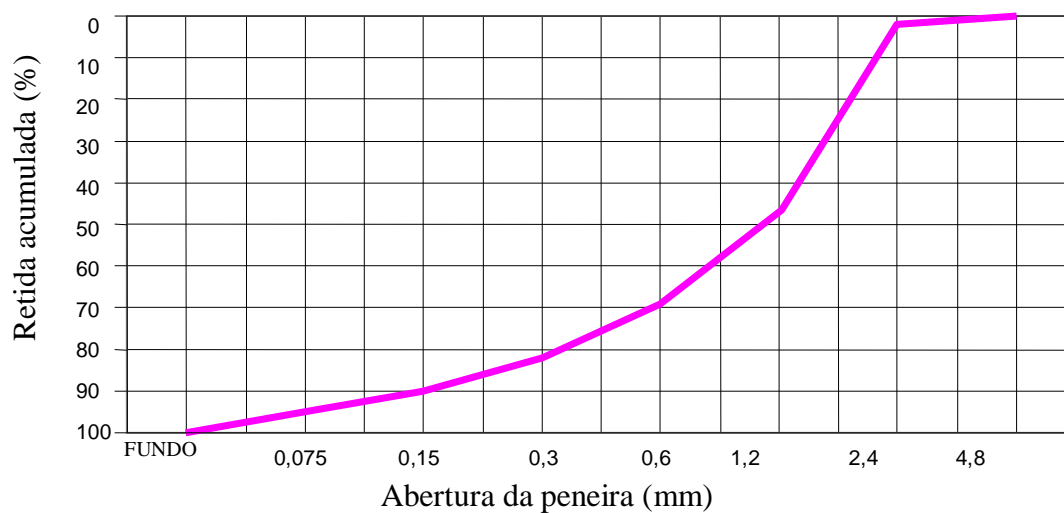


Figura 07 – Gráfico de granulometria do agregado miúdo industrial.
Fonte: o autor

TABELA 06 – Granulometria da composição dos agregados miúdo industrial e natural

Peneiras mm	Composição Granulometrica		
	M(g)	%retida	%acum
50,0			
38,0			
32,0			
25,0			
19,0			
12,0			
9,5			
6,3			
4,8	1		
2,4	15	2	2
1,2	320	32	34
0,600	189	19	53
0,300	246	25	77
0,150	128	13	90
0,075	56	6	96
Fundo	45	5	100
Total	1000		
M. Finura	2,56		
D. Max	2,4		

Fonte: O Autor

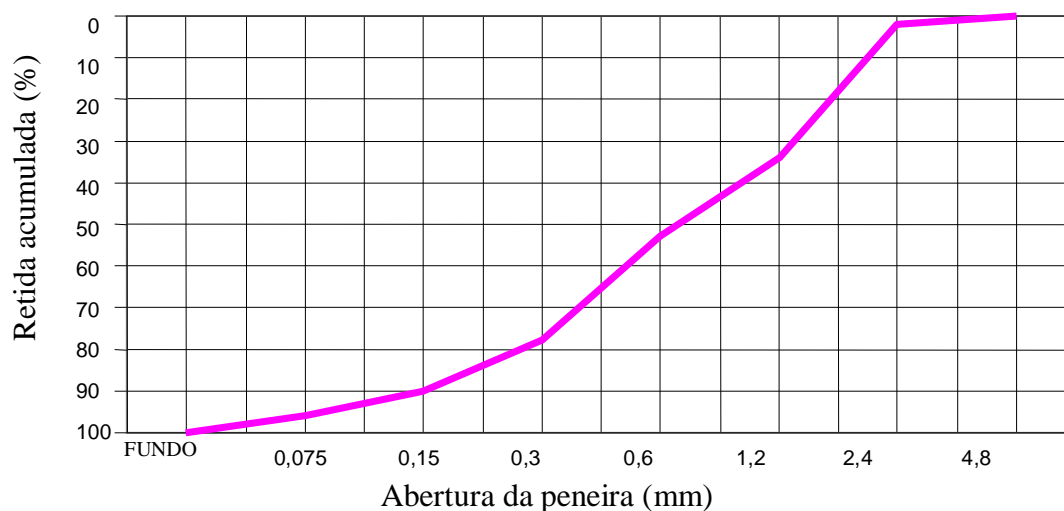


Figura 08 – Gráfico de granulometria da composição dos agregados industrial e natural.
Fonte: o autor

3.2.3 Agregado Graúdo

O Traço utiliza 100% agregado graúdo de origem calcária proveniente da região de Balsa Nova PR, que apresenta as seguintes características físicas.

TABELA 07 – Granulometria do agregado graúdo

Peneiras	Areia Fina Campo largo		
	M(g)	%retida	%acum
50,0			
38,0			
32,0			
25,0			
19,0	119,0	2	4
12,0	2579,0	52	42
9,5	1576,0	35	74
6,3	524,0	10	97
4,8			98
2,4			98
1,2			98
0,600			98
0,300			98
0,150			98
0,075			98
Fundo	202		100
Total	5000		
M. Finura	6,85		
D. Max	19,0		

Fonte: Autores

TABELA 08 – Característica física dos agregados graúdos

Características físicas do agregado graúdo		
Ensaio	Resultados obtidos	Norma
Massa específica (Kg/dm ³)	2,67	NBR 9776/9937
Massa unitária (kg/dm ³)	1,48	NBR 7251
Modulo de finura	6,85	NBR 7217 / 7211
Dimensão máxima	19,0	NBR 7217 / 7211
Absorção (%)	0,3	NBR 9777/9937
Material pulverulento (%)	0,8	NBR 7219

Fonte: Autores

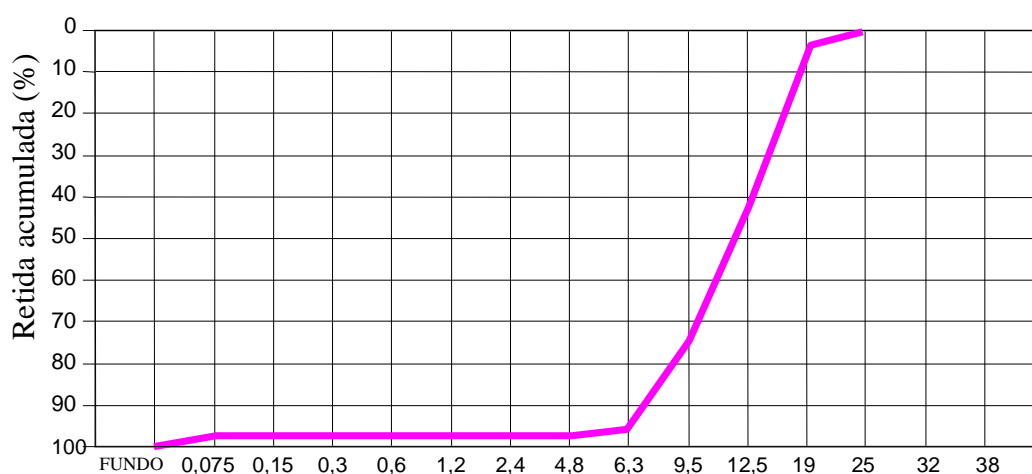


Figura 09 – Gráfico de granulometria do agregado graúdo.

Fonte: o autor

3.2.4 Aditivo

O aditivo utilizado é um plastificante polifuncional redutor de água, de pega normal, Mira 958, fabricado pela Grace construction, com as seguintes características.

TABELA 09 – Características do Aditivo

Característica	Valor do lote
Peso Especifico Kg/l	1,20
Aspecto	Liquido
Cor	Escura
Base Química	Lignosulfonato

Fonte: Grace Construction

3.3 DOSAGEM DO CONCRETO

De acordo com o apresentado anteriormente na caracterização de materiais, o traço utilizado possui a seguinte distribuição unitária (1 : 2,68 : 3,09 : 0,54) cimento, areia, brita, a/c. O agregado miúdo utilizado possui uma distribuição de 70% de areia industrial e 30% de areia fina natural. O aditivo empregado foi do tipo plastificante polifuncional na proporção de 2,62 kg/m³. O valor da resistência característica é atendido plenamente de acordo com a dosagem experimental da concreteira.

3.4 FABRICAÇÃO DO CONCRETO

O concreto foi fabricado segundo as especificações da norma NBR 7212 (Execução do concreto dosado em central), utilizando como equipamento para a mistura do concreto o caminhão betoneira com capacidade de 8m³. Antes do início do carregamento foi realizado o ajuste de umidade dos materiais, e o volume da mistura de concreto foi de 8m³.

3.5 ENSAIO COM CONCRETO FRESCO

Antes da moldagem do bloco foi efetuada a verificação e validação das características de dosagem do concreto. O ensaio de slump test (figura 10) de acordo com a norma NBR 7223, e também o teor de ar incorporado (figura 11) conforme NM 47/2002. Para o ensaio de Slump Test o resultado obtido foi de 12cm, já o teor de ar incorporado foi de 1,5%.



FIGURA 10 – Ensaio de abatimento do tronco de cone (ensaio slump test)
Fonte: os autores



FIGURA 11 – Ensaio do teor de ar incorporado em aparelho
Fonte: os autores

3.6 MOLDAGEM DO BLOCO

Utilizou-se para as experiências de extração de testemunhos, de esclerometria e de ultrassom, um bloco de concreto com dimensões de 1,0x0,5x0,5m, moldado com a utilização de forma com estrutura metálica (Figura 12), que recebeu previamente a aplicação de desmoldante em suas faces internas.

No lançamento o concreto foi adensado com vibrador de imersão em 2 camadas e conforme as técnicas recomendadas. Após o enchimento da forma foi executada a regularização superficial do concreto de modo a garantir a planicidade do bloco.



FIGURA 12 – Moldagem do bloco 1x0,5x0,5m em estrutura metálica.
Fonte: os autores

3.7 MOLDAGEM DOS COPOS DE PROVA

Para o ensaio de resistência a compressão foram moldados 6 corpos de prova 10 x 20 cm para cada idade (7, 14, 21, 28 e 63) seguindo as especificações da norma NBR 5738:2004.

3.8 CURA DO CONCRETO

- Corpos de Prova 10x20 – Após a moldagem os cps ficaram em um local livre de intempéries por um período de 24 horas. Em seguida foi efetuado a desforma e

submetidos a procedimentos de cura submersa em solução saturada de hidróxido de cálcio a $(23 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ segundo prevê a norma NBR 5738:2004.

- Bloco para extração de testemunhos – O bloco recebeu o cobrimento com manta geotextil que foi umedecida durante as primeiras 72 horas. Após este período o bloco foi desmoldado a seguir permanecendo nas condições ambientes naturais somente com cobrimento da manta geotextil.

3.9 ENSAIOS COM CONCRETO ENDURECIDO

Para a obtenção dos resultados, os ensaios ocorreram nas idades de 7, 14, 21, 28, 63 dias após a execução do concreto. Para a execução dos rompimentos foi utilizada uma máquina de ensaio modelo EMIC PC200C com capacidade de 2000 KN (figura 13). A prensa esta devidamente calibrada pela empresa AMEC – Auditoria de Máquina de Ensaio à Compressão, de acordo com o Laudo de calibração Nº 7231A11 de Agosto de 2011.



FIGURA 13 – Máquina para ensaios de resistência
Fonte: EMIC – Equipamentos e Sistemas de Ensaio Ltda

3.9.1 Ensaio de Resistência a compressão

Para o ensaio de resistência dos corpos de prova 10 x 20cm, foram utilizados 6 corpos de prova por idade.

Após o cálculo da média aritmética das resistências dos seis corpos de prova, é usual que se exclua todo o resultado que se afaste, pra menos, em mais de 10% da média aritmética, e que uma nova média seja realizada. Contudo para este estudo em nenhuma das datas foi necessário excluir um resultado.

Os corpos de prova moldados 10x20cm como também as amostras cilíndricas extraídas do bloco foram submetidas as mesmas condições ambientes nas 24 horas que antecederam ao rompimento, para que no momento da execução do ensaio, não houvesse diferenças nas condições de umidade dos corpos de prova.

Observa-se que alguns autores entram em contradição quanto à influência das dimensões dos corpos de prova nos resultados de resistência e, portanto, a diferença de dimensões dos corpos de prova 10 x 20 cm com as amostras extraídas (6,5 x 13 cm) não foram considerados neste trabalho.

3.9.2 Esclerometria

O equipamento utilizado para execução do ensaio foi um esclerômetro da marca Schmidt do tipo N, com energia de percussão de 2,25 J(ver figura 14).

O ensaio de esclerometria foi realizado nas mesmas datas do rompimento dos corpos de prova moldados e o esclerometro era previamente aferido em cada data. A superfície do bloco estava isenta de ninhos e pedras, foi preparada realizando o polimento com uma pedra de carborundo, e demarcada uma área de 20x20cm, sempre próximo ao local onde seriam extraídos os cps, onde eram marcados 9 locais de impactos com um mínimo de 3 cm de distancia de um local para o outro(ver detalhe em figura 14), precedendo-se as leituras nos pontos de interseção NBR 7584:1995.



FIGURA 14 – Esclerometro utilizado e demarcação das áreas de impacto.
Fonte: os autores

O ensaio era executado com a superfície do bloco em condições ambientes, fora do contato direto com água e os resultados coletados do ensaio foram calculados da seguinte forma:

Calculo da média dos “n” valores iniciais (M1)

- a) Despreza-se os valores fora do intervalo $\pm 10\%$ de M1 ($LS=M1 \times 1,1$; $LI=M1 \times 0,9$)
- b) Calcula-se uma nova média com os valores restantes (M2)
- c) Tomando-se a média M2, obtém-se a dureza superficial do concreto.
- d) A partir da dureza superficial estima-se a resistência à compressão.
- e) Definida a estimativa da resistência a compressão, aplicava-se as correções tendo em vista a calibração do aparelho.

Onde:

M1 – média dos “n” valores iniciais

M2 – média dos “n” valores secundários

LS – Limite superior

LI – Limite inferior

A curva de correlação do esclerômetro utilizado fornece resultados para corpos de prova de formato cúbico, no entanto, os resultados obtidos foram transformados para o formato cilíndrico, para que fosse possível fazer a comparação de resultados da esclerometria com a de resistência a compressão com os corpos de prova cilíndricos dimensão 10x20 cm.

3.9.3 Ensaio de testemunhos extraídos

Foi utilizada uma máquina para extração de testemunhos da marca HILTI modelo DD20 (ver Figura 15), com o auxílio de uma broca rotativa provida de coroa de diamantes, refrigerada a água. O diâmetro da broca utilizado foi de 65mm, ou seja, três vezes maior que a dimensão nominal do agregado graúdo utilizado na formulação do concreto.



FIGURA 15 – Bloco e equipamento para extração de testemunhos.
Fonte: os autores

Para uma melhor determinação da resistência a compressão, foram extraídos quatro corpos de prova para cada idade de rompimento, os mesmos eram desbastados em serra provida de um disco diamantado e refrigerado a água, de modo a obter uma relação de

esbeltez h/d igual a dois. Após o capeamento (figura 16) os mesmos eram medidos quanto ao seu diâmetro (d) (3 medidas) e a sua altura (h) com auxílio de um paquímetro digital.

Após o preparo dos corpos de prova, os mesmos eram colocados durante 48h em condições de umidade relativa do ar acima de 50%, e obedecendo aos critérios de temperatura da ABNT NBR 5738, rompidos na condição saturados superfície seca.

Os resultados da ruptura dos corpos de prova da extração eram calculados fazendo-se a média aritmética dos resultados obtidos, de acordo com o que estabelece a norma ABNT NBR 7680:2007, bem como os fatores de correção na norma descritos.



FIGURA 16 – Capeamento dos corpos de prova extraídos
Fonte: os autores

Ultra Som

Para realização do ensaio de ultra som, foi utilizado um equipamento provido de um transdutor emissor (figura 17), que é capaz de converter a energia elétrica em onda mecânica (sonora).

Para realizar o ensaio, inicialmente é feito o preparo dos transdutores passando uma leve camada de vaselina na superfície dos mesmos e, então, posicionando-os de maneira oposta conforme (Figura 18), fazendo-se assim a leitura em diferentes pontos do bloco de concreto, sempre utilizando a posição oposta dos transdutores.

Através do ensaio de ultra som é possível identificar a quantidade de poros e vazios e assim detectar possíveis descontinuidades no interior da peça.



FIGURA 17 - Equipamento de Ultra som.
Fonte: os autores



FIGURA 18 – Posicionamento dos transdutores em posição oposta
Fonte: os autores

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Este capítulo tem o propósito de mostrar resultados obtidos, bem como comparar as diferenças encontradas entre cada tipo de ensaio, esclerometria, resistência dos corpos de prova moldados e extração de testemunhos, bem como apresentar os resultados dos ensaios de ultra som.

4.1 RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS.

Primeiramente será apresentando resultados obtidos em cada tipo de ensaio, depois um estudo comparativo entre os mesmos mostrando as diferenças de resultados entre os ensaios.

4.1.1 Resistência à compressão de corpos de prova moldados

Na tabela 10 é exposto os resultados da resistência à compressão obtida dos corpos de prova 10x20cm.

TABELA 10 – Resistência a compressão cps 10x20cm

		Resistência à compressão (MPa)				
idade	CP	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias	63 dias
	1	27,5	35,8	39,3	42,9	47,5
	2	31,1	35,8	39,1	43,4	47,4
	3	29,9	35,9	38,8	41,0	48,3
	4	28,9	36,4	38,7	45,7	46,0
	5	29,0	36,0	37,4	42,4	50,3
	6	28,5	36,2	38,5	46,7	49,3
	Media	29,2	36,0	38,7	43,7	48,1
	Desvio padrão	1,23	0,24	0,67	2,13	1,52

Fonte: os autores

A figura 19 apresenta as medias das resistências à compressão dos corpos de prova de 10x20cm em cada idade.

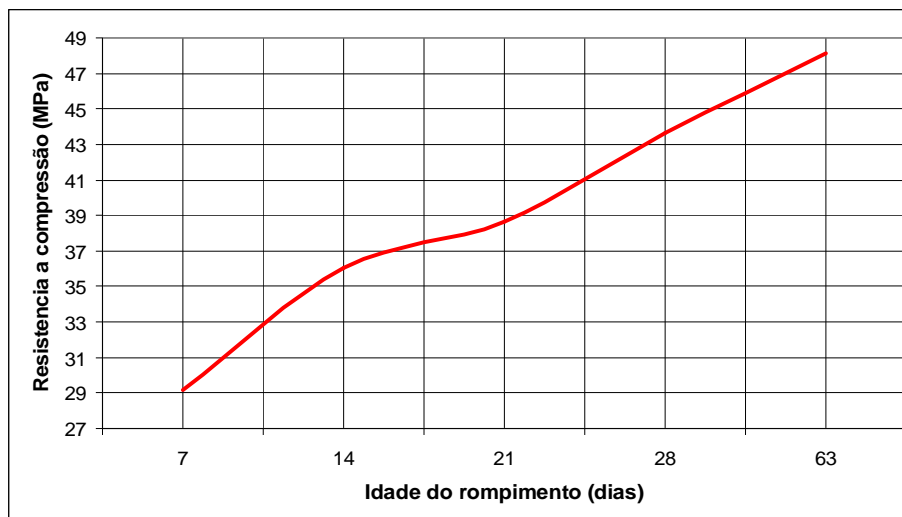


FIGURA 19 – Evolução da resistência média à compressão
Fonte: os autores

Os resultados de resistência à compressão atenderam plenamente a resistência de dosagem F_{ck} 30,0 MPa.

4.1.2 Resistência à compressão de testemunhos extraídos do bloco.

Na tabela 11 é mostrado os resultados de acordo com o ensaio de resistência a compressão dos testemunhos como também as dimensões dos corpos de prova extraídos e os fatores de correções adotados.

Quanto à correlação entre as diferenças de dimensão dos corpos de prova moldados 10 x 20 cm, e extraídos 6,5 x 13 cm, observa-se que alguns estudos propõe formulas para correlacionar diferentes diâmetros de corpos de prova, porem, levando em consideração que ainda não existe um procedimento normativo e também as variações dos materiais e métodos de elaboração do concreto que podem acarretar diferenças nos resultados, optamos em manter os resultados dos corpos de prova sem considerar a correlação entre as dimensões dos corpos de prova.

TABELA 11 – Resultados e dados dos corpos de prova extraídos

Resistencia a compressão de corpos de prova extraídos						
Idade	CPs	Diâmetro	Altura	Carga KN	Fator correção altura/diâmetro	Resistencia
7 DIAS	CP1	63,9	127,6	72,7134	1	21,9
	CP2	64,4	128,5	75,4482	1	22,7
	CP3	64,2	126,3	70,9385	0,98	20,9
	CP4	64,16	126,9	75,7456	0,98	22,3
						fcm (MPa)
14 DIAS	CP1	63,8	127,2	78,1483	1	23,5
	CP2	64,1	127,9	84,2244	1	25,4
	CP3	63,9	127,7	77,3422	1	23,3
	CP4	63,8	127,3	79,3944	1	23,9
						fcm (MPa)
21 DIAS	CP1	64,3	110,1	97,8708	0,98	28,9
	CP2	64,1	123,1	93,3414	1	28,1
	CP3	64	126,4	101,2163	1	30,5
	CP4	64,3	128,5	91,5026	1	27,6
						fcm (MPa)
28 DIAS	CP1	63,9	127,51	101,94	1	30,7
	CP2	63,8	127,4	104,69	1	31,5
	CP3	63,8	127,5	107,08	1	32,3
	CP4	63,6	127,1	103,2	1	31,1
						fcm (MPa)
63 DIAS	CP1	63,9	121,6	113	0,98	33,4
	CP2	64,2	128,2	114,18	1	34,4
	CP3	64,1	128,0	110,1	1	33,2
	CP4	64,2	128,2	114,65	1	34,6
						fcm (MPa)

Fonte: os autores

A figura 20 abaixo apresenta os valores das resistências médias dos corpos de prova dos testemunhos extraídos do bloco de concreto.

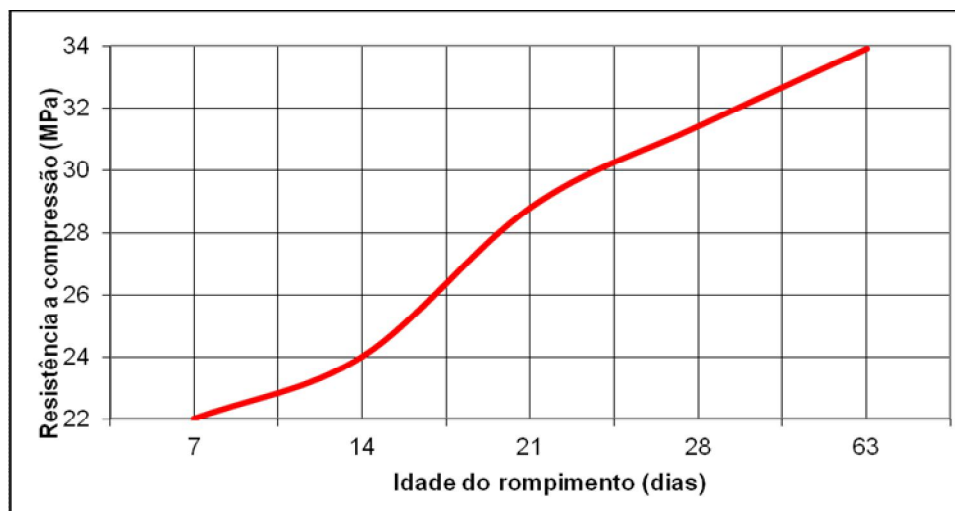


FIGURA 20 – Evolução da resistência média a Compressão dos testemunhos extraídos.
Fonte: autores

4.1.3 Esclerometria

A tabela 12 mostra os resultados obtidos para o ensaio de esclerometria e também são apresentados os valores utilizados nos cálculos para obtenção do índice esclerométrico.

TABELA 12 – Resultados obtidos nos ensaios de esclerometria

Leituras \ Idade(dias)	Idade(dias)				
	7	14	21	28	63
1	28	32	34	34	36
2	34	34	32	34	35
3	26	30	34	34	32
4	30	32	35	36	40
5	28	30	32	36	36
6	30	30	34	32	34
7	26	30	32	35	36
8	28	32	32	34	36
9	30	30	32	33	39
Soma I	260	280	297	308	324
Media I	28,9	31,1	33	34,2	36
Soma II	174	280	297	308	252
Media II	29	31,1	33	34,2	36
Correção aparelho	30,4	32,6	34,6	35,9	37,7
Resistencia a Compressão (MPa)	20,7	23,7	26,4	28,2	30,9

Fonte: os autores

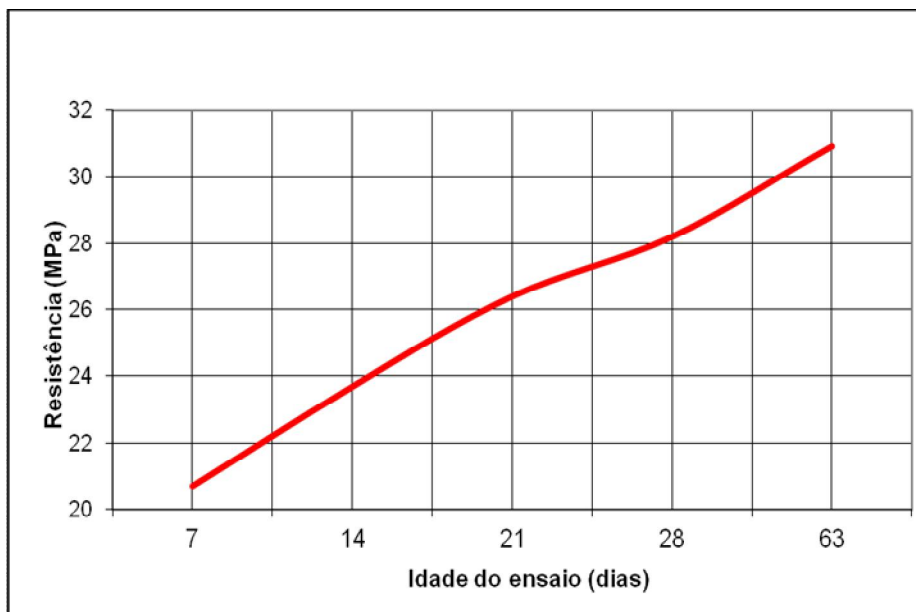


FIGURA 21 – Evolução dos resultados do ensaio de esclerometria
Fonte: os autores

Os resultados do ensaio de esclerometria mostram que em todas as idades foram identificadas resistências menores em relação aos ensaios de extração de testemunhos e dos corpos de prova moldados 10x20 cm.

4.1.4 Ultra som

O ensaio de ultra som, realizado com o objetivo de avaliar a qualidade do concreto, sendo assim possível comprovar a eficácia do processo de aplicação e adensamento. Analisando os 6 resultados obtidos no ensaio (tabela 13) pode-se avaliar a qualidade do concreto segundo a tabela de Classificação das ondas sonoras (Tabela 14).

TABELA 13 – Resultados dos ensaios de ultrasom

ULTRASOM
5319
5263
5025
4708
5186
4960

Fonte: os autores

TABELA 14 – Avaliação da qualidade do concreto através do ultrassom

<i>VELOCIDADE DA ONDA ULTRA-SÔNICA (m/s)</i>	<i>QUALIDADE DO CONCRETO</i>
V > 4500	EXCELENTE
3500 < V < 4500	ÓTIMO
3000 < V < 3500	BOM
2000 < V < 3000	REGULAR
V < 2000	RUIM

Fonte: Whitehurst, 1966

De acordo com os resultados obtidos o ensaio de ultra-som mostra que o concreto possui uma qualidade excelente de acordo com a tabela de (Whitehurst 1966).

4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DE RESULTADOS

Esta análise segue o propósito do trabalho que é comparar os resultados obtidos a partir dos ensaios de extração de testemunhos e esclerometria, os comparando com a resistência dos corpos de prova de dimensões 10x20cm.

4.2.1 Resistência a compressão dos corpos de prova 10x20cm moldados X testemunhos extraídos.

Na figura 22 são mostrados os resultados dos ensaios de resistência à compressão dos corpos de prova moldados 10x20cm como também dos testemunhos de diâmetro 6,5x13cm. Como se observa os resultados dos corpos de prova de dimensão 10x20cm obteve uma resistência superior em relação aos corpos de prova extraídos, este resultado foi identificado em todas as idades analisadas.

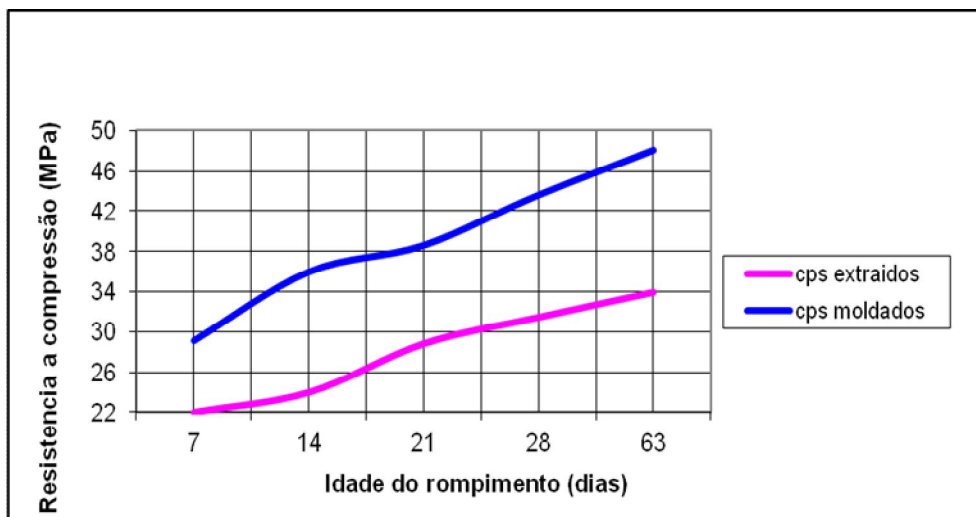


FIGURA 22 – Evolução da resistência dos corpos de prova extraídos e corpos de prova moldados.

Fonte: os autores

A figura 23 compara em percentual o ensaio de compressão 10x20cm, em relação ao ensaio de extração de testemunhos, em todas as idades, chegando a uma diferença maior aos 14 dias com 33,3%. A média entre todas as idades chegou a 28,44%.

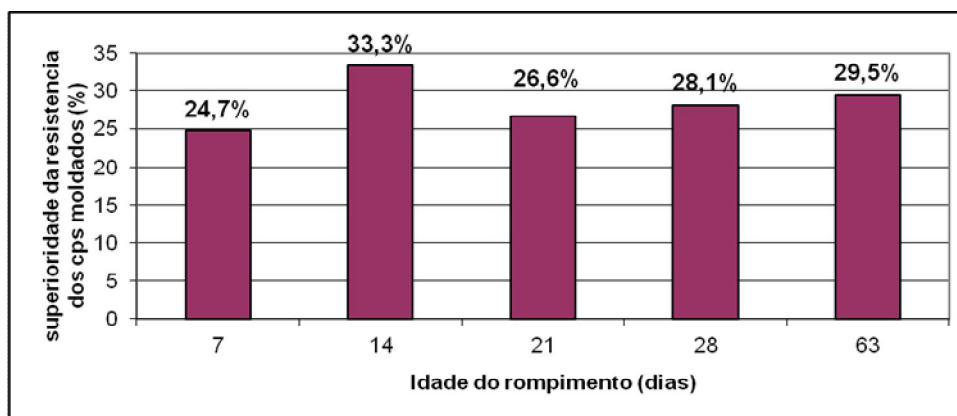


FIGURA 23 – Percentual superior da resistência dos corpos de prova moldados com relação aos testemunhos extraídos.

Fonte: os autores

4.2.2 Resistência a compressão cps 10x20cm X esclerometria

A figura 24 mostra as resistências dos corpos de prova padrão (10x20 cm) e do ensaio de esclerometria, os resultados apontam que em todas as idades os corpos de prova moldados 10x20cm obtiveram uma resistência superior em relação ao ensaio de esclerometria.

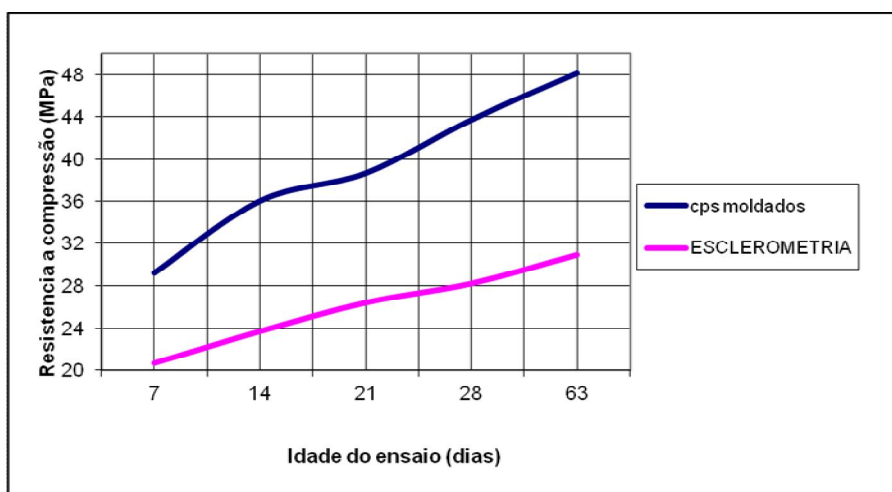


FIGURA 24 – Evolução da resistência de corpos de prova moldados 10x20 e de esclerometria.
Fonte: os autores

A figura 25 compara em percentagem o ensaio de resistência a compressão 10x20cm com relação ao ensaio de esclerometria. Em todas as idades o resultado aponta uma resistência superior para os cps 10x20cm chegando a uma diferença maior aos 63 dias com 35,8%. E uma média de 33,28% entre todas as idades.

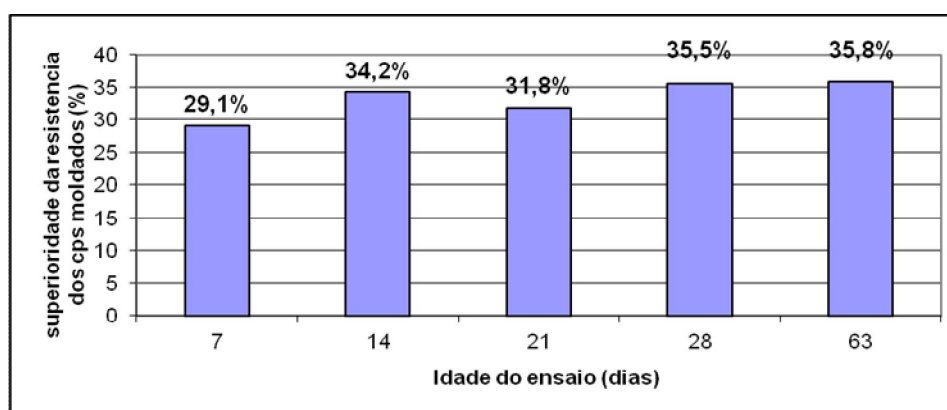


FIGURA 25 – Percentual superior da resistência dos cps moldados com relação a esclerometria.
Fonte: os autores

4.2.3 Resultados do estudo

Na figura 26 é apresentado de maneira geral os resultados dos ensaios aos 28 dias, conforme visto os corpos de prova moldados atingiram as maiores resistências, e obteve 43,6 MPa, em segundo lugar o ensaio de extração de testemunhos com a resistência de 31,4 MPa, em terceiro lugar a esclerometria que atingiu 28,2 MPa. Nota-se uma resistência muito próxima do ensaio de esclerometria com a extração de testemunhos.

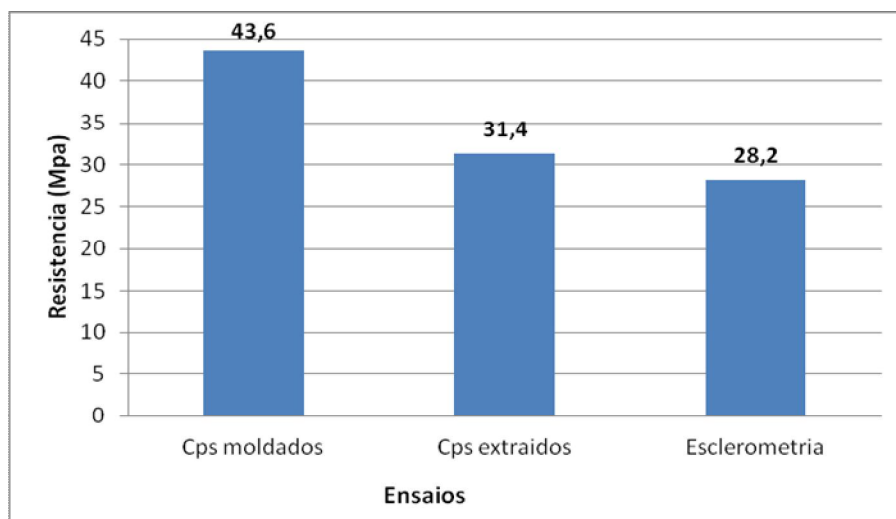


FIGURA 26 – Resistência dos ensaios aos 28 dias.
Fonte: os autores

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 CONCLUSÃO

As conclusões aqui expostas partem da análise do comportamento da resistência à compressão do concreto avaliada de diferentes formas e conforme o apresentado no capítulo 4, podemos citar:

- Os resultados obtidos a partir da resistência a compressão entre os corpos de prova moldados (10x20 cm) e os corpos de prova extraídos, observa-se uma diferença de até 29,5% aos 63 dias, e para as outras idades também foram observadas diferenças nos resultados, isto mostra que os corpos de prova moldados 10x20cm, obtiveram em todas as idades maiores resultados em relação aos extraídos.
- Comparando os resultados de ensaio de resistência a compressão dos corpos de prova moldados 10x20cm com o ensaio de esclerometria, teve uma diferença de até 35,8% aos 63 dias, para as outras idades também foram observadas diferenças nos resultados, sendo assim a comparação entre estes ensaios também é marcada pela maior resistência dos corpos de prova moldados (10x20cm).
- Analisando os resultados obtidos observa-se que o método de extração de testemunhos apresentou resultados mais próximos dos cps moldados.
- De maneira geral os resultados obtidos mostram que o ensaio de esclerometria se aproximou do ensaio de extração, porem com uma diferença de em média 5 % a menos de resistência, os corpos de prova moldados obtiveram uma resistência para todas as idades maiores em relação aos ensaios de extração de testemunhos e ensaio de esclerometria.
- O ensaio de ultrassom mostrou que o concreto utilizado obteve uma qualidade excelente, conforme observado nas resistências obtidas principalmente nos ensaios de resistência a compressão dos corpos de prova moldados.

5.2 SUGESTÕES PARA FUTUROS ESTUDOS

- Para uma melhor definição do ensaio de esclerometria sugerimos efetuá-lo comparando o grau de umidade da peça, ou seja, criando uma situação para a peça no estado seco, e outra com um determinado grau de umidade.
- Efetuar ensaio comparativo de extração de testemunhos mudando o diâmetro dos corpos de prova, ou seja, comparando-se, por exemplo, o diâmetro 6,5 cm com o diâmetro 10 cm.
- Mudar a classe de cimento e o fck.

6.0 REFERÊNCIAS

ABNT-NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003

_____ - NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento, São Paulo, 2003

_____ - NBR 7212 –Execução do concreto dosado em central, 1984

_____ - NBR 7217 - Determinação da composição granulométrica, 1987

_____ - NBR7218: Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis, Rio de Janeiro, 1987

_____ - NBR 7218: Agregados — Determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis, 2010

_____ - NBR 7219 – Determinação do teor de materiais pulverulentos, 1987

_____ - NBR 7223 - Concreto - Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, Rio de Janeiro, 1992

_____ - NBR 7584: Concreto endurecido-Avaliação da dureza superficial pelo esclerometro de reflexão, 1995

_____ - NBR 7680: Extração, preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto - Procedimento, 1983

_____ - NBR 8802: Determinação da resistência à compressão em corpos de prova cilíndricos, 1994

_____ - NBR 9776 – Determinação da massa específica Chapman, Rio de Janeiro, 1987

_____ - NBR 9777: Agregados - Determinação da absorção de água em agregados miúdos, Rio de Janeiro, 1987

_____ - NBR 9937: Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo, Rio de Janeiro, 1987

_____ - NBR 14931: Execução de estruturas de concreto – procedimento, 2004

_____ - NBR 15900 – Água para amassamento do concreto, 2009

_____ - NBR NM 45: Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, São Paulo, 2006

_____ - NBR NM 46: Agregados – determinação do material fino que passa através da peneira 75 um, por lavagem, 2003

_____ - NBR NM 47: Concreto - Determinação do teor de ar em Concreto Fresco, 2002

_____ - NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente, São Paulo, 2003

_____ - NBR NM 52: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente, São Paulo, 2009

_____ - NBR NM 53: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água, São Paulo, 2009

_____ - NBR NM 67: Determinação pelo abatimento do tronco de cone, 1998

_____ - NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica, 2003

ACI 214.4R: Guia para obtenção e interpretação dos resultados de resistência à compressão, 2010

ALHADAS, Miguel F. S. **Estudo da influência do agregado graúdo de diferentes origens mineralógicas nas propriedades mecânicas do concreto**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) Programas de Pós-Graduação da CAPES, Universidade federal de Minas Gerais, 2008

AOKI, Jorge **“Proteja seu concreto”**. Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/proteja-seu-concreto>. Acesso em: 02/09/2011

Concreto: material construtivo mais consumido no mundo, **IBRACON**, São Paulo, Jan/ mar 2009 Ano XXXVII | Nº 53

EVANGELISTA, Ana C. J. **Avaliação da resistência do concreto usando diferentes ensaios não destrutivos**. 219 p. Tese (Doutorado em Ciências na Construção Civil) Coordenação de Programa de Pós-Graduação em Engenharia-COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002

FIGUEIREDO, Enio Pazini **Inspeção de Estruturas de Concreto com problemas de Resistência, fissuras e deformações**, IBRACON, São Paulo, 2005

HELENE, Paulo - **Fatores que afetam a resistência in situ do concreto** - Revista ALCONPAT, Volume 1, Número 1, Abril 2011, Páginas 67 - 92.

LAPA, J. S. **Patologia, Recuperação e Reparo das Estruturas de Concreto** 55 p. pag28. Monografia (Especialização em Construção Civil), Escola de Engenharia da UFMG,– Universidade Federal de Minas Gerais, 2008.

LIMA, Jeferson M.; PACHA, Jose R. S. - **Causas dos processos de deterioração das estruturas durante a construção**, Disponível em: patologiaestrutura.vilabol.uol.com.br/causas.htm. Acesso em: 05/09/2011, item 4.4.4; 3º parágrafo.

LORENZI, Alexandre ; CAETANO, Luciane F. ; DRUNN, Mauricio T. ; SILVA, Luiz C. P. F. - **Utilização de ultra som para monitoramento de estruturas de concreto**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Ensaios e Modelos Estruturais, 2003

MARQUES FILHO, J. – **Maciços Experimentais de Laboratório de Concreto Compactado com Rolo Aplicado às Barragens**, Tese Doutorado em engenharia civil– UFRGS – 2005

MACAMBIRA, Paulo M. F. **O concreto, uma visão analítica de seus componentes, mão-de-obra e patologias**. 113 p. pag44 Tese (Graduação em Engenharia Civil do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia,), Universidade da Amazonia, 2001

MEDEIROS, Giovana. **“Métodos de ensaios não destrutivos para estruturas de concreto”** Disponível em: <http://www.cimentoitambe.com.br/massa-cinzenta/metodos-de-ensaios-nao-destrutivos-para-estruturas-de-concreto/> acesso em: 01/05/2011

MEHTA P. Kuman; MONTEIRO Paulo J.M., **Concreto: Estrutura, Propiedades e Materiais** São Paulo: Pini 1994

MEHTA P. Kuman; MONTEIRO Paulo J.M., **Microestrutura, Propiedades e Materiais**(2008)

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1982

NEVILLE, Adam M. **Propriedades do Concreto**. São Paulo: Pini, 1997

NOGUEIRA, Carnot L. **Ensaaios não destrutivos: Novas ferramentas para inspeção de obras públicas**, Ed. CEPE, Recife, 2000

PETRUCCI, Eladio G. R. – **Concreto de cimento Portland**, Editora Globo, 1982.

WENDLER, Anthony P.; TURRA, Celso; SERIGHELI, I. J. **Estudo de fissuração térmica do concreto em barragens** Monografia (Pós Graduação- Especialista em Patologias na Construção Civil) Universidade Tuiuti do Paraná, 2007

WHITEHURST, E. A, **Evaluation of concrete properties from sonic tests**, ACI Monografia, nº 2, American Concrete Institute/Iowa State University Press, Detroit, p.94, 1966

VASCONCELOS AUGUSTO C., **O misterioso módulo de elasticidade**, TQS, fev. 2009

VIEIRA, Geilma Lima et AL. **Avaliação da resistência à compressão, resistência à tração e formação de microfissuras em concretos produzidos com diferentes tipos de cimentos, quando aplicado um pré-carregamento de compressão**. Ambiente construído, revista online da ANTAC, Porto Alegre, v. 11, n. 1, mar. 2011