



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ESTRUTURAL E CONSTRUÇÃO**  
**CIVIL**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANDRÉ BRUNO PERES MELO**

**ESTUDO DA CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS DE ENSAIOS**  
**DESTRUTIVOS E NÃO DESTRUTIVOS EM CONCRETO DA OBRA DO**  
**RESIDENCIAL CIDADE JARDIM EM FORTALEZA-CE.**

**FORTALEZA**

**2013**

ANDRÉ BRUNO PERES MELO

ESTUDO DA CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS DE ENSAIOS DESTRUTIVOS  
E NÃO DESTRUTIVOS EM CONCRETO DA OBRA DO RESIDENCIAL CIDADE  
JARDIM EM FORTALEZA-CE.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Alexandre Araújo Bertini

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M485e Melo, André Bruno Peres.

Estudo da correlação dos resultados de ensaios destrutivos e não destrutivos em concreto da obra do residencial cidade Jardim em Fortaleza-Ce / André Bruno Peres Melo. – 2013.  
57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2013.

Orientação: Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini.

1. Ensaios não destrutivos. 2. Ultrassom. 3. Esclerometria. 4. Velocidade ultrassônica. 5. Índice esclerométrico. I. Título.

CDD 620

---

ANDRÉ BRUNO PERES MELO

ESTUDO DA CORRELAÇÃO DOS RESULTADOS DE ENSAIOS DESTRUTIVOS  
E NÃO DESTRUTIVOS EM CONCRETO DA OBRA DO RESIDENCIAL CIDADE  
JARDIM EM FORTALEZA-CE.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Civil.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Alexandre Araújo Bertini (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Me. José Ramalho Torres  
Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará (NUTEC)

---

Eng.<sup>a</sup> Jordana Hebster Ferraz Serra  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ao meu avô, que me guia lá de cima.

A minha mãe, que me aconselha.

Ao meu pai, que me da suporte.

## AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Ivete Oliveira Peres, por sempre estar ao meu lado, por me aconselhar e me apoiar em todas as decisões que eu precisei tomar, por todo o investimento feito em mim.

Ao Prof. Alexandre Araújo Bertini, por ter me auxiliado nesse trabalho, me orientado e possibilitado a execução desse trabalho.

Ao Prof. Aldo Almeida de Oliveira, por ter disponibilizado o laboratório, assim como os equipamentos para a execução desse trabalho.

Ao Prof. José Ramalho Torres, por ter aceitado participar da minha banca e compartilhar parte do seu conhecimento.

A Eng.<sup>a</sup> Jordana Hebster Ferraz Serra, por ter aceitado participar da minha banca e compartilhar parte do seu conhecimento.

Ao meu pai, Paulo André Brito Melo, por ser meu maior amigo e companheiro, por estar ao meu lado quando eu precisei.

A minha irmã, Gabriela Peres Melo, por ser minha confidente e melhor amiga, pelos momentos hilários que apenas irmãos podem proporcionar uns aos outros, pelas brigas e discussões, que sem elas, não seríamos o somos hoje.

Aos amigos que fiz nesses anos de faculdade, em especial para Larissa Paiva, Jean Amaral, Clívia Almeida, Henrique Pacheco e Eduardo Mamede, graças a vocês essa batalha pode ser vencida, mesmo com tantos contra tempos, foi a amizade de vocês que me deu forças para continuar no meu objetivo.

A Prof. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco, por ter me auxiliado e me suportado durante todo esse último ano de faculdade.

Ao Prof. Fernando Antônio Beserra de Meneses, mesmo que ele não saiba, ele foi o responsável por eu não ter desistido no início do curso, logo tenho muito a lhe agradecer, pois sem isso, nada que esta acontecendo agora teria sido possível.

Às Famílias Melo e Peres, por mais malucas que sejam, continuando sempre unidos e proporcionando os melhores momentos da minha vida.

Ao meu amigo Eduardo Mamede, por ter me ajudado a carregar os corpos de prova.

A Minha amiga Larissa Paiva, por ter pegado no pé e me perturbado até que eu finalmente fosse escrever esse trabalho.

Aos meus irmãos e companheiros de time da Equipe de Futebol Americano, os Dragões do mar de Fortaleza, por ter me ensinado que família vai muito além do sangue, muito além de um sobre nome, por me ensinar que pessoas completamente diferentes podem se unir para um objeto comum e por me possibilitar jogar o esporte que eu amo. 1, 2, 3, DRAGÕES!!!!

Ao meu primo e maior companheiro, Emanuel Jailson, por esses 24 anos de amizade, por todas as situações que passamos, pelas encrencas que nos metemos, pelas farras que já tivemos, por todas as barras que suportamos, por ser o padrinho do meu futuro filho.

A Deus, porque sem ele, nada disso teria sido possível.

E principalmente, ao meu avô, Francisco Rodrigues de Melo, por tudo ter me tornado a pessoa que eu sou hoje, por ter me ensinado sobre a vida e por ter me apoiado durante toda a minha vida, por saber sempre o que eu estou pensando, por ter sido muito mais que um avô pra mim, um pai. Tenho muitas saudades desse que foi o homem mais importante da minha vida, mas sei que ele ainda olha por mim, lá de cima, sei que ele esta do meu lado. Por tanto, acima de tudo, essa graduação é por você, que sempre sonhou em me ver formado, trilhando meu próprio caminho. Obrigado, eu te amo vô.

“Pedras no caminho? Guardo todas,  
um dia vou construir um castelo...”

(Nemo Nox)

## RESUMO

O concreto tem sido um dos insumos mais utilizados na construção civil há muitos anos, graças a isso, grandes estudos vêm sendo realizados na área, para melhorar seus métodos construtivos, suas capacidades de resistência e sua composição, sempre visando o aumento da segurança e a diminuição do custo. Para que a segurança na execução de obras de concreto seja acompanhada, é necessária a realização de ensaios no concreto utilizado nessa estrutura, não só durante a sua execução como também após a mesma, para garantir a segurança dos que irão utiliza-la. Sendo necessários novos estudos nessa área para aprimorar os métodos de acompanhamento do concreto. Os ensaios não destrutivos vêm como uma opção para um acompanhamento mais preciso, mais rápido e de menor custo para o concreto. Possibilitando assim não só uma maior segurança, como também um menor custo. Os ensaios não destrutivos, como por exemplo ultrassom e esclerometria, já vêm sendo utilizados para garantir outras características do concreto, como homogeneidade e a presença de vazios, porém sua utilização para o acompanhamento da resistência a compressão axial do concreto ainda vem sendo pouco utilizado, sendo necessários mais estudos na área para aprimorar mais essa técnica. O estudo realizado cria curvas de correlação entre a resistência à compressão axial do concreto, sua velocidade ultrassônica e seu índice esclerométrico, para um determinado tipo de concreto utilizado na obra do Residencial Cidade Jardim, em Fortaleza-CE. Sendo criado assim um método para o acompanhamento futuro da estrutura desse empreendimento.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensaios não destrutivos, ultrassom, esclerometria, velocidade ultrassônica, índice esclerométrico, resistência à compressão axial do concreto, curvas de correlação.

## ABSTRACT

The concrete has been one of the more inputs used in construction for many years, thanks to this, extensive studies have been conducted in the area to improve their construction methods, their endurance capabilities and its composition, always aiming to increase safety and decrease the cost. For security to the implementation of concrete buildings is accompanied, it is necessary to carry out tests on concrete used in this structure, not only during but also after its implementation, to ensure the safety of those who will use it. Further studies are needed in this area to enhance the monitoring methods of concrete. Non-destructive tests come as an option for a more accurate, faster and less costly for concrete monitoring. Thereby providing not only increased safety, but also a lower cost. Non-destructive tests, such as ultrasound and rebound hammer are already been used to insure other concrete characteristics such as homogeneity and the presence of voids, but their use for monitoring the resistance to axial compressive concrete has yet been widely used, more studies are needed in the area to enhance this technique more. This work creates correlation curves between the resistance to axial compression of concrete, its ultrasonic velocity and his rebound hammer for a determined type of concrete used in the work of the Residential Cidade Jardim, in Fortaleza. Therefore created a method for future monitoring of the structure of this enterprise.

**KEYWORDS:** Non-destructive testing, ultrasonic, rebound hammer, ultrasonic velocity, resistance to axial compression of concrete, correlation curves.

## Índice de Figuras

Figura 1- Representação esquemática do ensaio de esclerometria .....	19
Figura 2 - TICO .....	20
Figura 3 - Tipo de transmissões de onda.....	21
Figura 4 - Aplicação de gel para perfeito contato entre transdutores e concreto .....	22
Figura 5 - Ensaio de resistência a compressão mecânica .....	23
Figura 6 - Momento de Ruptura do Corpo de Prova.....	24
Figura 7 - Brita 01 .....	25
Figura 8 - Areia natural de rio .....	26
Figura 9 - Escavadeira adicionando o material à balança .....	27
Figura 10 - Balança utilizada para dosagem do concreto .....	27
Figura 11 - Caminhão betoneira responsável pelo transporte do concreto.....	28
Figura 12 - Corpos de prova moldados .....	29
Figura 13 - Instrumento de teste ultrassônico (TICO) e o cilindro de calibração .....	30
Figura 14 - Aplicação de gel transmissor para possibilitar o perfeito contato entre transdutor e concreto .....	30
Figura 15 - Ensaio do Ultrassom, sendo realizado através de transmissão direta.....	31
Figura 16 - Preparo da superfície para realização do ensaio de esclerometria .....	32
Figura 17 - Demarcação da superfície para realização do ensaio de esclerometria.....	33
Figura 18 - Esclerômetro Utilizado .....	33
Figura 19 - Realização do ensaio de esclerometria.....	34
Figura 20 - Prensa hidráulica para ensaio de resistência mecânica a compressão.....	35
Figura 21 - Momento exato da ruptura do corpo de prova .....	36

## Índice de quadros

Quadro 1 - Dados obtidos no ensaio de resistencia a compressão mecânica .....	37
Quadro 2 - Resultados Corridos para MPA .....	38
Quadro 3 - Analise estatística dos dados .....	38
Quadro 4 - Dados obtidos através do ensaio do ultrassom .....	39
Quadro 5 - Dados obtidos através do ensaio de esclerometria.....	40
Quadro 6 - Dados tratados.....	41
Quadro 7 - Comparativo entre ensaio e dados obtidos pelo ultrassom .....	45
Quadro 8 - Comparativo entre ensaio e dados obtidos pela esclerometria.....	46
Quadro 9 - Comparativo entre ensaio e dados obtidos pela correlação entre ultrassom e índice esclerométrico .....	47

## Índice de gráficos

Gráfico 1- Curva de correlação entre velocidade ultrassônica e resistência a compressão (FCK) .....	42
Gráfico 2 - Correlação entre índice esclerométrico e a resistência a compressão (FCK).....	43
Gráfico 3- Curva de correlação entre a velocidade ultrassônica, o índice esclerométrico e a resistência à compressão (FCK).....	44

## Índice de Anexos

Anexo 1 - Quadro utilizado para coleta de dados.....	51
Anexo 2 - Reservatório de agua .....	51
Anexo 3 - Nota Labormix para recebimento do concreto.....	52
Anexo 4 - Ferramentas utilizadas para teste do abatimento.....	53
Anexo 5 - Caminhão betoneira sendo carregado.....	54
Anexo 6 - Usinas de concreto.....	55
Anexo 7 - Aditivo Tec Tard 110 XR .....	56
Anexo 8 - Leitura realizado no TICO .....	56
Anexo 9 - Leitura Realizada na Prensa Mecânica.....	57
Anexo 10 - Tabela de controle de recebimento do concreto .....	58

## Sumário

<b>1</b>	<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1	PROBLEMA	15
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	<i>Objetivo geral</i>	15
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	15
1.3	METODOLOGIA	15
<b>2</b>	<b>CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
2.1	Cimento Portland	17
2.2	Agregados	17
2.3	Concreto	18
2.4	Aditivo	18
2.5	Índice esclerométrico	18
2.5.1	Descrição do Método	18
2.5.2	Vantagens e desvantagens	19
2.5.3	Fatores que influenciam os resultados do ensaio	19
2.5.3.1	Condições da superfície de ensaio	20
2.5.3.2	Direção do ensaio	20
2.6	Ultrassom	20
2.6.1	Vantagens e desvantagens	22
2.6.2	Fatores que influenciam os resultados do ensaio	22
2.7	Resistência mecânica a compressão	23
2.7.1	Vantagens e desvantagens	24
2.7.2	Fatores que influenciam os resultados do ensaio	24
<b>3</b>	<b>CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>25</b>
3.1	Materiais Utilizados	25
3.2	Ensaio	28
3.2.1	Moldagem dos corpos de prova	28
3.2.2	Ultrassom	29
3.2.3	Índice Esclerométrico	31
3.2.4	Resistencia mecânica a compressão	34
<b>4</b>	<b>CAPÍTULO 4 – ANÁLISE ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS</b>	<b>37</b>
4.1	Resistencia Mecânica a compressão	37
4.2	Ultrassom	39

<b>4.3</b>	<b>Esclerometria</b> .....	<b>40</b>
<b>4.4</b>	<b>Curvas de correlação</b> .....	<b>41</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Curvas de correlação entre Velocidade ultrassônica e resistência a compressão</b> 42	
<b>4.4.2</b>	<b>Curvas de correlação entre índice esclerométrico e resistência à compressão</b>	<b>43</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Curvas de correlação entre índice esclerométrico, velocidade ultrassônica e resistência à compressão</b> .....	<b>44</b>
<b>4.5</b>	<b>Análise dos dados</b> .....	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS</b> .....	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>48</b>
<b>5.2</b>	<b>Recomendações para trabalhos futuros</b> .....	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>Referencias Bibliográficas</b> .....	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>51</b>

## 1 CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

O concreto vem sendo utilizado na construção civil desde o século XIX, desenvolvendo técnicas mais avançadas para sua utilização. Um exemplo dessas técnicas é a adição de outros materiais juntamente com o concreto, como o aço, aumentando a resistência do concreto.

Devido ao constante avanço das construções em concreto, houve-se uma necessidade do avanço dos métodos construtivos, assim como também uma melhoria nos métodos de análise e acompanhamento do mesmo. Um exemplo são os ensaios realizados para medir a resistência do concreto a compressão, entre eles o índice esclerométrico e o ensaio de resistência à compressão. Porém, o ensaio de resistência à compressão necessita da confecção de corpos de prova que serão destruídos ao decorrer dos ensaios, não possibilitando assim sua reutilização e nem permitindo um acompanhamento mais real à estrutura, sem danificá-la. Pois para execução do ensaio de compressão em estruturas existentes, necessitamos da extração dos corpos de prova da estrutura, o que além de ser impossível em alguns casos, também danifica a estrutura.

Muitas vezes, nos deparamos com situações em que devemos utilizar uma estrutura já existente, tendo que construir anexando a mesma a nova construção, porém, pelos ensaios citados acima, não poderíamos saber a real situação da estrutura, sua resistência à compressão. Só podemos estimar os valores para suas resistências, não possibilitando assim, um cálculo preciso.

Os engenheiros tem tradicionalmente confiado no ensaio a compressão para planejamento, projeto e execução de obras. Entretanto o concreto colocado na estrutura possui cura e adensamento diferente do concreto utilizado nos corpos de prova, refletindo assim apenas a resistência potencial do concreto, mas não necessariamente a resistência “in situ”.

O capítulo 2 trará um embasamento teórico para a execução desse projeto, enquanto o capítulo 3 descreverá o material e os ensaios utilizados no mesmo. No capítulo 4 teremos uma análise dos dados e a elaboração das curvas de correlação em estudo. Para finalizar, teremos no capítulo 5 uma análise das curvas, assim como sugestões para trabalhos futuros.

## 1.1 PROBLEMA

Com o estudo entre a correlação entre o ensaio do ultrassom, que mede a velocidade ultrassônica do concreto, o índice esclerométrico e os ensaios destrutivos convencionais, podemos estabelecer uma curva que nos possibilitará calcular a resistência do concreto sem necessitar moldar corpos de prova e sem danificar a estrutura. Podendo assim, analisar as resistências reais da estrutura.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral deste trabalho está diretamente relacionado ao problema de pesquisa, portando, podemos descrevê-los como: Estudar a correlação entre os resultados dos ensaios de velocidade ultrassônica, índice esclerométrico, e resistência à compressão do concreto produzido em usinas localizadas em Fortaleza-CE.

### 1.2.2 *Objetivos específicos*

Em um plano mais específico, têm-se como objetivos:

- Definir o traço e o material utilizado pela Labormix na obra do Residencial Cidade Jardim.
- Estudar a correlação dos resultados de ensaio por meio de métodos estatísticos.
- Elaborar curvas de correlação entre os resultados.

## 1.3 METODOLOGIA

O trabalho aqui apresentado tem como metodologia a execução de ensaios normatizados para obtenção de valores e a utilização dos mesmos para a elaboração de curvas de correlação entre os resultados obtidos.

Os ensaios de Ultrassom, esclerometria e resistência à compressão serão estudados e apreendidos para sua correta execução na obtenção dos dados. Para a realização dos ensaios, foi necessária a confecção 25 de corpos de prova, nas dimensões de 20 centímetros de altura e 10 centímetros de diâmetro, sendo a confecção desses corpos regida pela norma NBR 5738. Os corpos de prova foram moldados “in situ” na obra do Residencial Cidade Jardim.

Após a moldagem, os corpos de prova foram devidamente identificados para posterior avaliação. Sendo determinadas as datas de 1, 3, 7, 14 e 28 dias após a confecção dos corpos de prova para a realização dos ensaios.

Foram utilizados nos ensaios uma prensa hidráulica, para obtenção dos resultados da resistência a compressão, um Instrumento de teste ultrassônico (TICO) para obtenção da velocidade ultrassônica e um Esclerômetro para obtenção do índice esclerométrico.

Após a realização dos ensaios, foi feita a análise e tratamento dos dados obtidos para a elaboração das curvas de correlação com auxílio do software Excel.

As funções de Pundit, Sonreb e Silver Shimidt aplicadas no software Excel serão utilizadas para determinação das constantes e das equações para a elaboração das curvas de correlação.

A ferramenta computacional Maple 12 será estudada e apreendida para auxiliar na elaboração das curvas de correlação.

## **2 CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

De acordo com MACHADO (2005), os ensaios não destrutivos e semi-destrutivos são aqueles que conseguem avaliar o elemento estrutural *in situ*, não causando danos ao elemento e caso venha a causar danos, estes não prejudicaram a aparência nem o desempenho estrutural da peça.

Os ensaios não destrutivos possuem uma série de vantagens no que diz respeito à velocidade de execução, custo, ausência de danos e maior número de ensaios, possibilitando uma melhor análise da estrutura, em relação aos ensaios destrutivos.

Concordando com PROTASIO F. CASTRO (1988), tradicionalmente os engenheiros possuem muita confiança no ensaio a compressão do concreto para diversas etapas da construção, sendo obtida devido a diversos estudos realizados na área, porém o concreto colocado na estrutura possui adensamento e cura diferente dos do corpo de prova ensaiado, portanto o ensaio a compressão só apresenta a resistência potencial e não necessariamente a resistência *in situ*. Os ensaios não destrutivos podem ser realizados *in situ*, possibilitando assim resultados mais precisos para o acompanhamento real da estrutura, assim como para uma posterior avaliação sem danificar as estruturas.

Faremos uma breve explanação sobre os materiais que compõem o concreto e logo após falaremos sobre os ensaios realizados nesse trabalho.

## 2.1 Cimento Portland

O cimento Portland é um dos materiais mais importantes da construção civil, com muitas possibilidades de aplicação que vem se expandindo com a criação de novas tecnologias.

Ele é um material pulverulento, constituído de silicatos e aluminatos de cálcio, praticamente sem cal livre. Esses compostos, em contato com a água, produzem o endurecimento da massa, por meio de uma reação exotérmica, que pode então oferecer elevada resistência à compressão mecânica.

A norma NBR 5732(EB-1/77) tem algumas exigências quanto à composição química (perda ao fogo, resíduo insolúvel, trióxido de enxofre e óxido de magnésio), características físicas (grau de moagem, pega e endurecimento, estabilidade de volume, calor de hidratação e resistência aos esforços mecânicos).

## 2.2 Agregados

Entende-se por agregado, o material granular, utilizado na composição do cimento, de dimensões e propriedades adequadas para seu uso.

Eles podem ser classificados quanto a sua origem (Naturais e artificiais), Massa específica aparente (leves, normais e pesados) e quanto ao tamanho (gráudo e miúdo).

Os agregados naturais são aqueles encontrados na natureza prontos para serem utilizados, necessitando, no máximo, de um rápido processo de lavagem e classificação.

Os agregados artificiais são obtidos através da redução de pedras grandes, geralmente por equipamentos mecânicos (britadoras).

A areia natural quartzosa ou o pedrisco resultante do britamento de rochas estáveis com tamanho de partículas tais que, no máximo, 15% fiquem retidos na peneira de abertura de malha igual a 4,8mm, são tidos como agregados miúdos.

O agregado gráudo é o pedregulho natural, seixo rolado ou pedra britada, proveniente do britamento de rochas estáveis com um máximo de 15% passante na peneira de abertura de malha igual a 4,8mm.

## **2.3 Concreto**

O concreto, ou betão, é um material de construção heterogêneo resultante da mistura de um aglomerante hidráulico com materiais inertes a água.

O aglomerante normalmente empregado é o cimento Portland, embora possam ser empregados outros tipos de cimento. Os materiais inertes são nomeados como agregados, que, quando classificados quando a granulométrica, recebem a denominação de agregados graúdos e miúdos.

A qualidade do concreto depende diretamente dos materiais utilizados nele. Contando com matérias de boa qualidade, eles devem ser misturados nas proporções adequadas, considerando as proporções entre cimento e agregado e principalmente a relação entre água e cimento.

Muitas vezes também vindo a ser utilizados aditivos, para auxiliar na trabalhabilidade do concreto e condicionar suas características, físicas e químicas, para melhor atender sua necessidade.

## **2.4 Aditivo**

Os aditivos são produtos, líquidos ou não, adicionados ao concreto para auxiliar a trabalhabilidade e condicionar suas características, físicas e químicas, para melhor atender sua necessidade. Existem aditivos para alterar o tempo de pega, melhorar a resistência, reduzir permeabilidade, aumento da durabilidade entre outras características.

## **2.5 Índice esclerométrico**

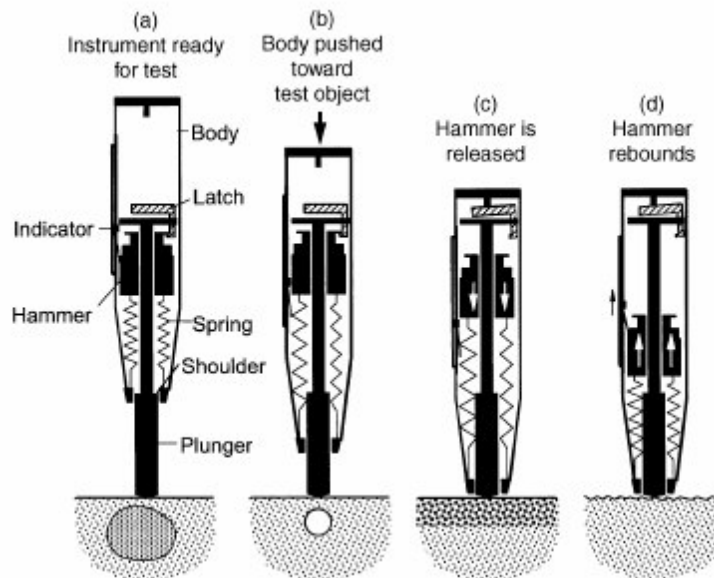
### **2.5.1 Descrição do Método**

O ensaio de esclerometria é realizado através da impulsão de uma massa por uma mola. Esta massa se choca contra o concreto através de uma haste com ponta de forma de calota esférica. Uma parte da energia do impacto é absorvida pelo concreto por meio da deformação permanente do mesmo, a outra parte da energia é conservada elasticamente, fazendo com que a massa retorne, a distância percorrida pela massa no retorno, em porcentagem da deformação inicial da mola, é denominada índice esclerométrico (IE) (Neville, 1997). Quanto maior a maior a dureza da superfície ensaiada, menos será a parcela da energia convertida em deformação permanente no

concreto, conseqüentemente, maior o recuo da massa após o impacto. A energia que é absorvida pelo concreto depende da relação tensão-deformação do mesmo, logo ela está relacionada com a resistência e a rigidez do concreto (ACI 228. 1R, 2003).

Na figura 1 temos uma representação esquemática do ensaio.

Figura 1- Representação esquemática do ensaio de esclerometria



Fonte: ACI 228. 1R, 2003.

### 2.5.2 Vantagens e desvantagens

O fácil manuseio e o baixo custo do equipamento, juntamente com a velocidade que se consegue uma grande quantidade de dados é uma das maiores vantagens desse ensaio, assim como o baixo dano, praticamente nulo, causado a superfície ensaiada.

O ensaio apenas indica propriedades das camadas superficiais do concreto (20 á 30 mm de profundidade), não podendo avaliar o concreto nas camadas mais profundas, sendo essa a principal desvantagem desse método.

### 2.5.3 Fatores que influenciam os resultados do ensaio

De acordo com MALHOTRA (1991), os principais fatores que influenciam os resultados do ensaio são: O acabamento da superfície, sua geometria, o tamanho, a forma utilizada, a rigidez e a idade da peça que será analisada, a umidade da superfície e a posição do Esclerômetro em relação à superfície ensaiada.

### 2.5.3.1 Condições da superfície de ensaio

O ensaio deve ser realizado sobre superfícies lisas, de preferência as que estiveram em contato com a forma, caso a superfície não esteja lisa, ela deve ser corrigida com o auxílio de lixas e pedra abrasiva antes da realização do ensaio (Neville, 1997).

A superfície não pode estar úmida, pois isso alteraria o resultado do ensaio em até 20%.

### 2.5.3.2 Direção do ensaio

Atualmente já possuímos equipamentos capazes de realizar os ensaios em qualquer posição, não mais sendo necessário realizar uma correção para os ensaios realizados fora da posição horizontal, e o ensaio deve ser realizado ortogonalmente a superfície ensaiada, para melhor obtenção dos resultados.

## 2.6 Ultrassom

Esse ensaio consiste em medir o tempo em que um pulso ultrassônico leva para atravessar a extensão de um segmento. O pulso penetra no segmento do concreto através de um transdutor de transmissão e sai na outra extremidade através de transdutor de recepção. A figura 2 mostra o TICO (instrumento utilizado para a realização do ensaio).

Figura 2 - TICO



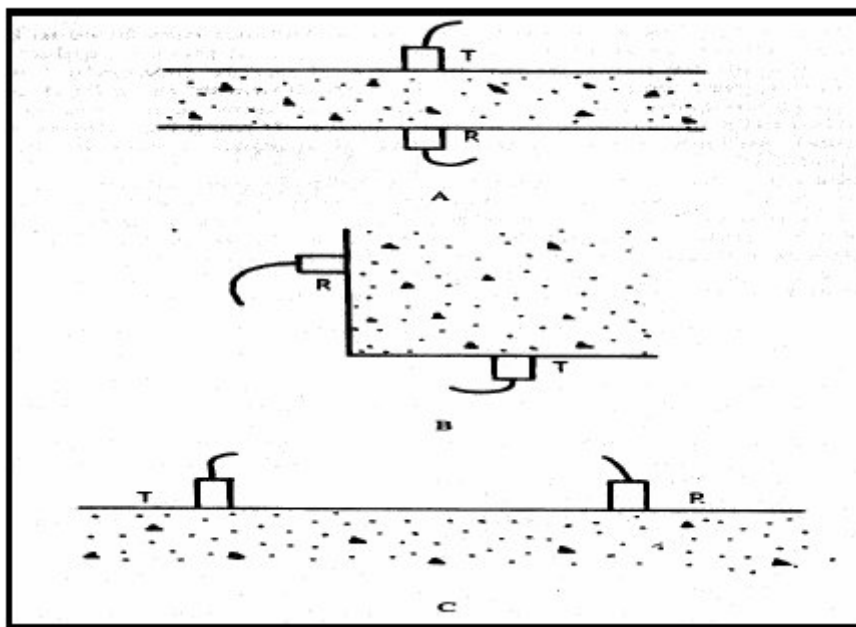
Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

A velocidade do pulso não é determinada diretamente, mas calculada com base no tempo que o pulso demora a percorrer determinada distância, que pode variar entre 0,15m a 15m em concreto.

A existência de defeitos no interior do concreto pode ser detectada por esse ensaio, pois o tempo de percurso é maior nas áreas de menor densidade, o que corresponde a regiões de qualidade inferior. A velocidade diminui quando o pulso ultrassônico tem que contornar os obstáculos de baixa ou nenhuma propagação (mal adensado ou com fissuras).

A figura 3 mostra três tipos de transmissão possíveis para o ensaio de ultrassom, sendo eles a transmissão direta, a semidireta e a indireta ou superficial. A mais adequada, segundo NAIK E MALHOTRA é a transmissão direta, pois a energia do pulso é totalmente utilizada. A transmissão indireta é a menos aconselhada, uma vez que apenas a camada superficial do concreto influenciara a velocidade do ultrassom, só devendo ser utilizada em casos particulares que não permitem a utilização dos outros modos. Esse ensaio é regido pela norma NBR 8802.

Figura 3 - Tipo de transmissões de onda



Fonte: Naik e Malhotra, 1991.

### 2.6.1 Vantagens e desvantagens

O fácil manuseio e o baixo custo do equipamento, juntamente com a velocidade que se consegue realizar a medição são algumas vantagens desses ensaios. Outra vantagem q merece ser citada é que esse é ensaio é totalmente destrutivo, podendo ser realizado diversas vezes no mesmo local e em diferentes idades.

O perfeito contato entre os transdutores e o concreto é um ponto crucial desse ensaio, segundo NAIK e MALHOTRA (1991) caso esse contato não seja perfeito, um bolsão de ar irá ser criado entre o transdutor e o concreto, acarretando um erro no resultado do ensaio. Para garantir que o perfeito contato seja atingido é recomendado a utilização de algum produto, tais como graxa, sabão líquido, gel, entre outros. Como mostra a figura 4.

Figura 4 - Aplicação de gel para perfeito contato entre transdutores e concreto



Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

### 2.6.2 Fatores que influenciam os resultados do ensaio

Segundo a norma NBR 8802, esses são os fatores que podem afetar os resultados da medição da velocidade: O perfeito contato entre os transdutores e o concreto, a temperatura do concreto, as condições de umidade do concreto, comprimento da propagação da onda, o tamanho e a forma das amostras e a presença de armaduras.

## 2.7 Resistência mecânica a compressão

Esse ensaio consiste em medir a resistência à compressão axial do concreto, por meio de um equipamento que causa uma força de compressão ao corpo de prova (que deve ser moldado conforme a NBR 5738), medindo o ponto exato de ruptura do mesmo. Na figura 5 mostramos o equipamento utilizado para aplicação e medição da força necessária para rompimento do corpo de prova, na figura 6 temos o momento exato em que o corpo de prova é rompido.

Figura 5 - Ensaio de resistência a compressão mecânica



Fonte: Arquivo pessoal, 2013

Figura 6 - Momento de Ruptura do Corpo de Prova



Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Segundo a norma NBR 5739, devem-se ensaiar três corpos de prova, para idades de 1, 3, 7,14 e 28 dias, de modo a acompanhar o avanço da resistência do concreto.

### **2.7.1 Vantagens e desvantagens**

Historicamente esse ensaio é o mais utilizado e confiável, pois transmite os melhores e mais confiáveis resultados, porém o alto custo e a destruição do corpo de prova, ou até mesmo a necessidade da extração do corpo de prova da estrutura, podendo gerar danos à capacidade estrutural da mesma, são suas maiores desvantagens.

### **2.7.2 Fatores que influenciam os resultados do ensaio**

A errada confecção dos corpos de prova, o não acompanhamento correto da cura do concreto, são alguns fatores que podem influenciar o resultado do ensaio.

### 3 CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Materiais Utilizados

Para esse trabalho, utilizamos o concreto usinado, confeccionado pela empresa LARBOMIX, sendo esse composto por um traço de 310 kg de cimento Portland, 1020 kg de brita 01, 875 kg de areia natural de rio, 200L de água e 1,25 do aditivo Tec Tard 110 XR por m<sup>3</sup>. Sendo projetado para atingir a resistência de 25MPa e um abatimento de 10 cm ± 2.

O cimento Portland utilizado foi o CP IIZ-32, o cimento mais comumente utilizado no estado e no país, sendo ele uma composição intermediária entre os cimentos Portland comuns e os cimentos Portland com adições (alto forno e pozolânico).

A Brita utilizada foi a brita de graduação 01, onde seus grãos passam completamente pela peneira de 1” e ficam retida na peneira de ½”, sendo considerada uma brita fina como mostra a figura 7. A areia utilizada foi areia natural de rio como apresentado na figura 8.

Figura 7 - Brita 01



Fonte: Arquivo pessoal, 2013

Figura 8 - Areia natural de rio



Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

O aditivo utilizado foi o Tec Tard 100 XR, sendo ele um aditivo fabricado pela empresa Rheotec Aditivos de Concreto. Esse aditivo é um aditivo plastificante e retardador da pega do concreto, onde ele também é responsável pelo aumento da resistência, redução da permeabilidade e do aumento da durabilidade do concreto. Esse aditivo foi escolhido devido a sua capacidade de retardar a pega do concreto, possibilitando assim, um melhor transporte do concreto para o local de utilização do mesmo.

Todos os materiais são adicionados ao cilo por meio de uma balança, com o auxílio de uma escavadeira, como mostram as figuras 9 e 10.

Figura 9 - Escavadeira adicionando o material à balança



Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Figura 10 - Balança utilizada para dosagem do concreto



Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

## 3.2 Ensaios

### 3.2.1 Moldagem dos corpos de prova

Após a usinagem do concreto o mesmo é transportado por caminhões betoneiras, da onde é retirada a amostra do concreto utilizada pra a confecção dos corpos de prova utilizados nesse trabalho, como mostra a figura 11.

Figura 11 - Caminhão betoneira responsável pelo transporte do concreto



Fonte: Arquivo Pessoal, 2013

Depois de retirada a amostra de concreto do caminhão betoneira, foi realizado o ensaio do slump, para se obter o abatimento do concreto, de modo a saber se ele atenderia os requisitos de projeto. Após o teste se constatou que o concreto em questão possuem um abatimento de 9 cm, como o projeto solicita um abatimento de 10 cm  $\pm$  2 cm, o concreto atende as especificações do projeto, podendo ser utilizado na obra.

Figura 12 - Corpos de prova moldados



Fonte: Arquivo Pessoal, 2013

A figura 12 mostra a moldagem dos corpos de prova, que seguiu de acordo com as especificações da NBR 5738 para corpos de prova de 20 centímetros de altura e 10 centímetros de diâmetro, sendo realizada em duas camadas com 13 golpes de uma haste metálica em cada camada, para o correto preenchimento do concreto na forma.

Os corpos de prova foram desformados após 24 horas, sendo colocados imersos em uma solução de água e cal, para o seu correto período de cura.

Como determinado na NBR 5739, os ensaios foram realizados para as datas de 1, 3, 7, 14 e 28 dias.

### 3.2.2 Ultrassom

O primeiro ensaios a ser realizado com os corpos de prova, foi o ensaio do ultrassom, dado a sua características não destrutiva, onde poderíamos utilizar os mesmo corpos de prova para a realização dos posteriores ensaios.

Na realização do ensaio, utilizamos um instrumento de teste ultrassônico (TICO), como apresentado na figura 13, com o auxílio de um gel condutor, para possibilitar o perfeito contato dos transdutores e o concreto, como mostra a figura 14.

Figura 13 - Instrumento de teste ultrassônico (TICO) e o cilindro de calibração



Fonte: Arquivo Pessoal, 2013

Figura 14 - Aplicação de gel transmissor para possibilitar o perfeito contato entre transdutor e concreto



Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Após a calibração do instrumento, dado por um cilindro metálico de dimensões e características conhecidas, se iniciou os ensaios. Os ensaios foram realizados por meio de transmissão direta, como mostra a figura 15, dado a maior precisão dos resultados obtidos através desse modo de transmissão, pois toda a energia utilizada no transdutor é completamente utilizada e absorvida.

Figura 15 - Ensaio do Ultrassom, sendo realizado através de transmissão direta



Fonte: Arquivo Pessoal, 2013.

Foram obtidas cinco medidas para cada uma das idades ensaiadas, sendo esses dados posteriormente tratados, com o auxílio de métodos estatísticos.

### 3.2.3 Índice Esclerométrico

Após ser realizado o ensaio do ultrassom, foi realizado o ensaio de esclerometria, para a determinação do índice esclerométrico (IE). Para a realização do ensaio, foi necessária a regularização das faces dos corpos de prova, com auxílio de lixa e perda abrasiva, conforme mostrado na figura 16.

Figura 16 - Preparo da superfície para realização do ensaio de esclerometria



Fonte: Arquivo Pessoal, 2013.

De acordo com a NBR 7584, foram demarcados dezesseis pontos no corpo de prova, de modo que estes pontos se localizassem em dois eixos ortogonais do corpo, como mostra a figura 17. Após a demarcação, os corpos de provas foram previamente carregados em uma prensa, de modo a fixa-los para que o ensaio pudesse ser realizado.

Com o auxílio de um Esclerômetro, como mostra a figura 18, foram realizados todas as medições necessárias em cinco corpos de prova para cada uma das idades determinadas. As medições foram realizadas na horizontal de maneira a minimizar a influência da gravidade nos resultados obtidos, como mostra a figura 19.

Figura 17 - Demarcação da superfície para realização do ensaio de esclerometria



Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Figura 18 - Esclerômetro Utilizado



Fonte: Arquivo pessoal, 2013

Figura 19 - Realização do ensaio de esclerometria



Fonte: Arquivo pessoa, 2013.

Após a obtenção dos dados, os mesmos foram tratados com o auxílio de métodos estatísticos para melhor atender aos requisitos do trabalho.

### 3.2.4 Resistência mecânica a compressão

O último ensaio a ser realizado foi o ensaio de resistência mecânica a compressão, devido ao ser caráter destrutivo e a impossibilidade da reutilização dos corpos de prova após esse ensaio. Com o auxílio de uma prensa hidráulica, foi realizado o ensaio de resistência mecânica a compressão do concreto para cada uma das idades determinadas na NBR 5739. Para cada idade foram ensaiados cinco corpos de prova, de modo a se obter cinco medidas para cada uma das idades.

O ensaio de resistência mecânica a compressão é realizado através de uma prensa que aplica uma força axial ao corpo de prova, até o exato momento de sua ruptura, como mostram as figuras 20 e 21.

A prensa hidráulica utilizada apresentava os resultados obtidos em Kgf (Quilograma Força) sendo necessário um cálculo para a unidade MPA (Mega Pascal), unidade mais comumente adotada para esse tipo de ensaio.

$$\frac{K}{A} * 9,81 = X$$

Onde:

K= Dado obtido no ensaio em KGF.

A= Área de ação da força (área de contato do corpo de prova) em m<sup>2</sup>.

X= Resultado em MPA.

Figura 20 - Prensa hidráulica para ensaio de resistência mecânica a compressão



Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Figura 21 - Momento exato da ruptura do corpo de prova



Fonte: Arquivo pessoal, 2013.

Após a realização dos ensaios, todos os dados foram tratados com auxílio de métodos estatísticos, para o melhor estudo dos mesmos.

## 4 CAPÍTULO 4 – ANÁLISE ESTATÍSTICAS DOS RESULTADOS

Foi obtida uma serie de resultados para cada um dos ensaios realizados, aqui realizaremos o tratamento desses dados com base em uma análise estatística, para melhorar o andamento e o desenvolvimento do trabalho.

### 4.1 Resistencia Mecânica a compressão

O quadro 1 mostra todos os resultados obtidos a partir do ensaio de resistência mecânica a compressão.

Quadro 1 - Dados obtidos no ensaio de resistencia a compressão mecânica

Nº	DATA (DIAS)	DADOS (KGF)
1	1	4,96
2	1	4,96
3	1	4,80
4	1	3,84
5	1	5,44
6	3	16,40
7	3	15,60
8	3	15,50
9	3	12,00
10	3	15,25
11	7	24,60
12	7	23,00
13	7	23,20
14	7	16,50
15	7	22,20
16	14	23,40
17	14	24,30
18	14	23,00
19	14	24,80
20	14	23,60
21	28	25,00
22	28	27,00
23	28	27,50
24	28	27,40
25	28	27,80

Fonte: Próprio autor, 2013.

O quadro 2 apresenta os valores transformados para a unidade MPA, com o auxilio da equação apresentada em 3.2.4.

Quadro 2 - Resultados Corridos para MPA

Nº	DATA (DIAS)	DADOS (KGF)	DADOS CORRIGIDOS (MPA)
1	1	4,96	6,20
2	1	4,96	6,20
3	1	4,80	6,00
4	1	3,84	4,80
5	1	5,44	6,80
6	3	16,40	20,49
7	3	15,60	19,50
8	3	15,50	19,37
9	3	12,00	15,00
10	3	15,25	19,06
11	7	24,60	30,74
12	7	23,00	28,74
13	7	23,20	28,99
14	7	16,50	20,62
15	7	22,20	27,74
16	14	23,40	29,24
17	14	24,30	30,37
18	14	23,00	28,74
19	14	24,80	30,99
20	14	23,60	29,49
21	28	25,00	31,24
22	28	27,00	33,74
23	28	27,50	34,37
24	28	27,40	34,24
25	28	27,80	34,74

Fonte: Próprio autor, 2013.

Para a análise estatística dos dados obtidos, foi calculado a média e o desvio padrão para cada uma das idades utilizadas, como mostra o quadro 3.

Quadro 3 - Análise estatística dos dados

DATA (DIAS)	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
1	6,00	0,7348
3	18,68	2,1300
7	27,37	3,9241
14	29,77	0,9029
28	33,67	1,4017

Fonte: Próprio autor, 2013.

Com base nesses cálculos, descartamos os corpos de prova N° 4, 5, 9, 14, 18, 19 e 21, pois a diferença entre eles e a média das suas datas é maior que os seus respectivos desvios padrões. Com isso ficamos com 18 dados obtidos nesse ensaio.

## 4.2 Ultrassom

Com o ensaio do ultrassom obtemos a velocidade ultrassônica e o  $U_s$  para cada um dos corpos de prova ensaiados, como mostra o quadro 4.

Quadro 4 - Dados obtidos através do ensaio do ultrassom

Nº	DATA (DIAS)	VELOCIDADE(M/S)	$U_s$
1	1	3120	64,1
2	1	3180	63
3	1	3080	65
4	1	3290	60,9
5	1	680	296
6	3	3780	50,3
7	3	3760	50,6
8	3	3850	49,3
9	3	3710	51,3
10	3	3860	49,1
11	7	4250	45,9
12	7	4110	46,2
13	7	4280	44,4
14	7	4410	44,2
15	7	4490	43,4
16	14	4320	43,8
17	14	4330	43,9
18	14	4280	44,4
19	14	4370	43,5
20	14	4260	44,6
21	28	4390	43,5
22	28	4030	47,9
23	28	4210	44,9
24	28	4270	44,5
25	28	4080	47,1

Fonte: Próprio autor, 2013.

Após análise estatística dos dados, averiguamos que apenas o corpo de prova N°5 deverá ser descartado, pois apenas ele possui um valor absurdo que poderá a vir prejudicar a execução do trabalho.

### 4.3 Esclerometria

O ensaio do índice esclerométrico nos apresenta 16 dados para cada um dos corpos de prova experimentados, o quadro 5 apresenta o valor das médias obtidas para cada um dos corpos de prova analisados.

Quadro 5 - Dados obtidos através do ensaio de esclerometria

Nº	DATA (DIAS)	INDICE ESCLEROMÉTRICO (IE)
1	1	9,563
2	1	10,188
3	1	10,563
4	1	10,500
5	1	9,750
6	3	11,375
7	3	12,250
8	3	12,250
9	3	10,938
10	3	11,938
11	7	13,938
12	7	10,313
13	7	11,938
14	7	13,000
15	7	14,063
16	14	12,500
17	14	12,625
18	14	14,938
19	14	13,375
20	14	13,375
21	28	13,500
22	28	17,375
23	28	14,375
24	28	18,500
25	28	15,938

Fonte: Próprio autor, 2013.

Após análise estatística dos dados, averiguamos que nenhum dos corpos de prova deverá ser descartado, pois nenhum deles possui um valor absurdo que poderá a vir prejudicar a execução do trabalho.

#### 4.4 Curvas de correlação

Após tratamento dos dados obtidos nos ensaios, ficamos com 18 amostras para a elaboração das curvas de correlação, como apresentado no quadro 6.

Quadro 6 - Dados tratados

Nº	DATA (DIAS)	INDICE ESCLEROMÉTRICO (IE)	VELOCIDADE (M/S)	Us	FCK (MPA)
1	1	9,563	3120	64,1	6,20
2	1	10,188	3180	63	6,20
3	1	10,563	3080	65	6,00
6	3	11,375	3780	50,3	20,49
7	3	12,250	3760	50,6	19,50
8	3	12,250	3850	49,3	19,37
10	3	11,938	3860	49,1	19,06
11	7	13,938	4250	45,9	30,74
12	7	10,313	4110	46,2	28,74
13	7	11,938	4280	44,4	28,99
15	7	14,063	4490	43,4	27,74
16	14	12,500	4320	43,8	29,24
17	14	12,625	4330	43,9	30,37
20	14	13,375	4260	44,6	29,49
22	28	17,375	4030	47,9	33,74
23	28	14,375	4210	44,9	34,37
24	28	18,500	4270	44,5	34,24
25	28	15,938	4080	47,1	34,74

Fonte: Próprio autor, 2013.

Para elaboração das curvas de correlação, utilizamos o software MAPLE 12 com o auxílio das funções de Pundit, Silver Schmidt e Sonreb.

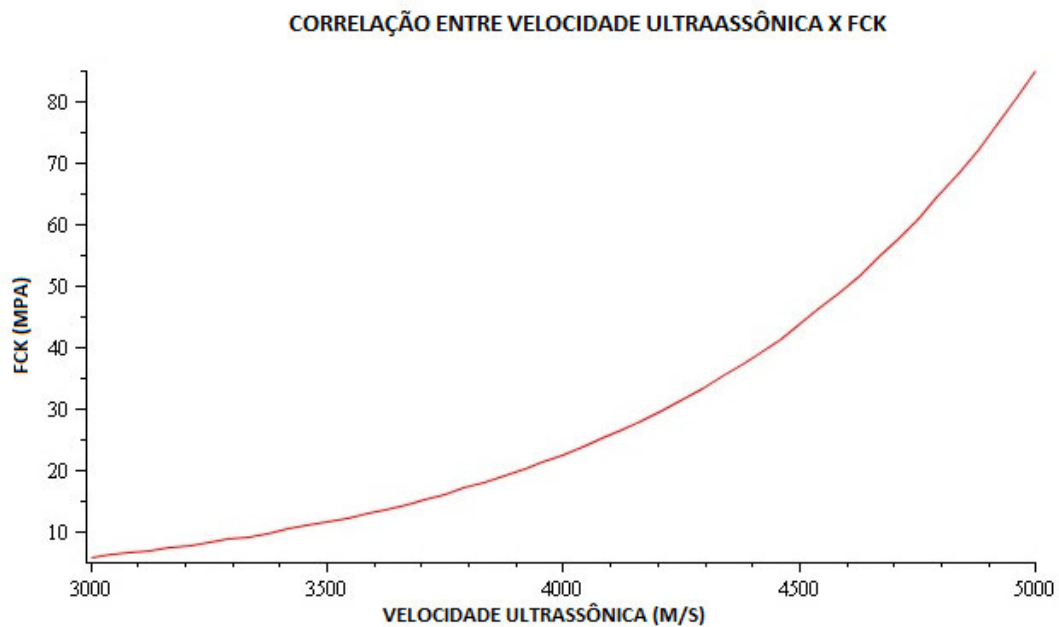
#### 4.4.1 Curvas de correlação entre Velocidade ultrassônica e resistência a compressão

Com o auxílio da macro de Pundit, podemos descobrir a equação:

$$Y = 0,11247 * e^{x*0,001326}$$

Onde Y é a resistência a compressão e x a velocidade ultrassônica obtida pelo ensaio do ultrassom. Com base nessa equação e nos dados obtidos em 4.2, traçamos o gráfico 1.

Gráfico 1- Curva de correlação entre velocidade ultrassônica e resistência a compressão (FCK)



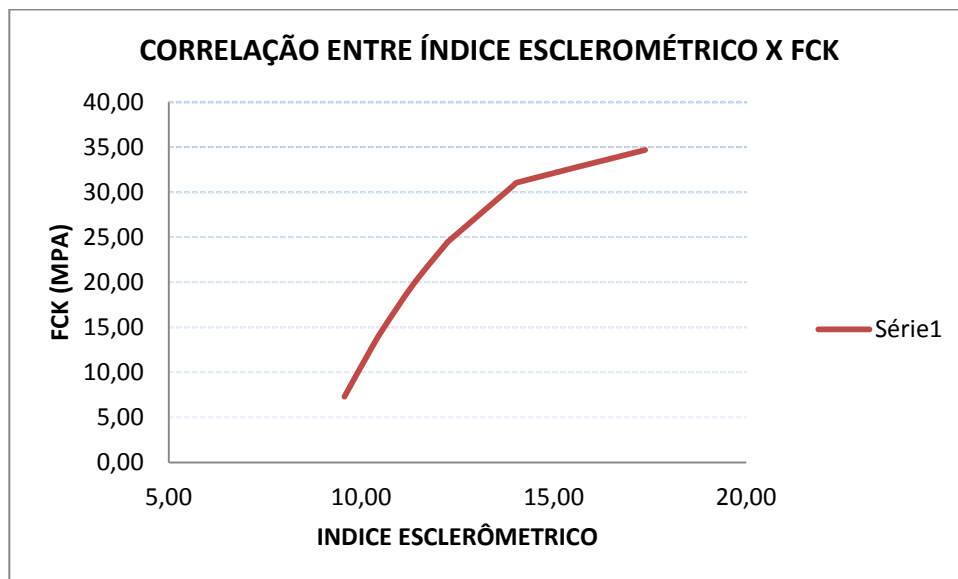
#### 4.4.2 Curvas de correlação entre índice esclerométrico e resistência à compressão

Com o auxílio da macro de Silver Schmidt, podemos descobrir a equação:

$$Y = 0,115421 * x^3 + 3,562710 * x^2 - 40,421678 * x$$

Onde Y é a resistência a compressão e x é o índice esclerométrico obtido pelo ensaio de esclerometria. Com base nessa equação e nos dados obtidos em 4.3, traçamos o gráfico 2.

Gráfico 2 - Correlação entre índice esclerométrico e a resistência a compressão (FCK)



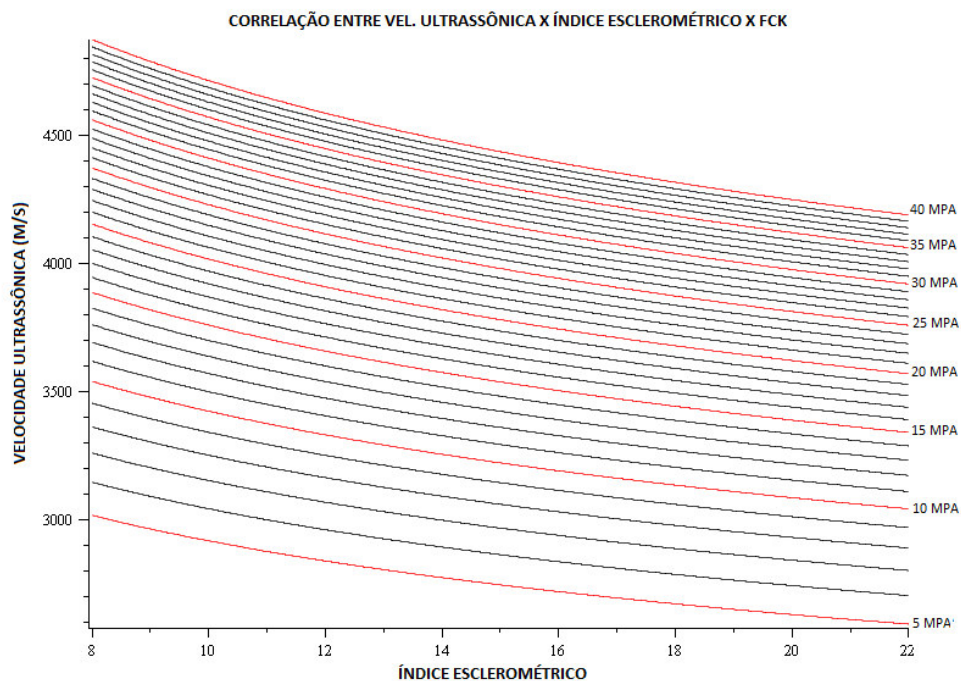
#### 4.4.3 Curvas de correlação entre índice esclerométrico, velocidade ultrassônica e resistência à compressão

Com o auxílio do método de Sonreb, podemos descobrir a equação:

$$Z = 1,05688 * 10^{-5} * y^{4,336369051} * x^{0,648972616}$$

Onde “Z” é a resistência a compressão e “y” é a velocidade ultrassônica obtida através do ensaio do ultrassom e o “x” é o índice esclerométrico obtido pelo ensaio de esclerometria. Com base nessa equação e nos dados apresentados em 4.4, traçamos o gráfico 3.

Gráfico 3- Curva de correlação entre a velocidade ultrassônica, o índice esclerométrico e a resistência à compressão (FCK).



#### 4.5 Análise dos dados

Com o auxílio das curvas traçadas podemos fazer uma análise dos dados obtidos experimentalmente com os dados obtidos através das curvas. O quadro 7 mostra o comparativo entre os dados obtidos através do gráfico 1 apresentado em 4.4.1, que relaciona os ensaios de velocidade ultrassônica e índice esclerométrico para obtenção da resistência a compressão, e os resultados obtidos no ensaio de resistência mecânica a compressão.

Quadro 7 - Comparativo entre ensaio e dados obtidos pelo ultrassom

Nº	FCK		ERRO
	ENSAIO	ULTRASSOM	
1	6,20	7,00	13%
2	6,20	7,60	23%
3	6,00	6,70	12%
6	20,49	16,90	18%
7	19,50	16,40	16%
8	19,37	18,50	4%
10	19,06	18,80	1%
11	30,74	31,50	2%
12	28,74	26,10	9%
13	28,99	32,70	13%
15	27,74	43,20	56%
16	29,24	34,50	18%
17	30,37	35,00	15%
20	29,49	31,90	8%
22	33,74	23,50	30%
23	34,37	29,80	13%
24	34,24	32,30	6%
25	34,74	25,10	28%
<b>MEDIA:</b>			<b>16%</b>

Fonte: Próprio autor, 2013.

Como podemos observar que o gráfico 1 possui um erro médio de 16% em relação ao ensaio realizado.

O quadro 8 apresenta o comparativo entre os dados obtidos através do gráfico 2 apresentado em 4.4.2, que relaciona os ensaios de velocidade ultrassônica e índice esclerométrico para obtenção da resistência a compressão, e os resultados obtidos no ensaio de resistência mecânica a compressão.

Quadro 8 - Comparativo entre ensaio e dados obtidos pela esclerometria

Nº	FCK		ERRO
	ENSAIO	ESCLEROMETRIA	
1	6,20	7,30	18%
2	6,20	12,10	95%
3	6,00	14,80	147%
6	20,49	19,90	3%
7	19,50	24,50	26%
8	19,37	24,50	26%
10	19,06	22,90	20%
11	30,74	30,70	0%
12	28,74	13,00	55%
13	28,99	22,90	21%
15	27,74	31,10	12%
16	29,24	25,60	12%
17	30,37	26,10	14%
20	29,49	29,00	2%
22	33,74	34,70	3%
23	34,37	31,90	7%
24	34,24	33,80	1%
25	34,74	34,30	1%
<b>MEDIA:</b>			<b>26%</b>

Fonte: Próprio autor, 2013.

Como podemos observar a curva 02 possui um erro médio de 26% em relação ao ensaio realizado.

O quadro 9 apresenta o comparativo entre os dados obtidos através da curva 3 apresentada em 4.4.3, que relaciona os ensaios de velocidade ultrassônica e índice esclerométrico para obtenção da resistência a compressão, e os resultados obtidos no ensaio de resistência mecânica a compressão.

Quadro 9 - Comparativo entre ensaio e dados obtidos pela correlação entre ultrassom e índice esclerométrico

Nº	DADOS		ERRO
	ENSAIO	CURVA 3	
1	6,20	6,49	5%
2	6,20	7,35	18%
3	6,00	6,55	9%
6	20,49	16,70	19%
7	19,50	17,12	12%
8	19,37	18,97	2%
10	19,06	18,87	1%
11	30,74	31,67	3%
12	28,74	22,52	22%
13	28,99	29,53	2%
15	27,74	40,42	46%
16	29,24	31,67	8%
17	30,37	32,20	6%
20	29,49	31,15	6%
22	33,74	29,02	14%
23	34,37	31,01	10%
24	34,24	38,84	13%
25	34,74	28,94	17%
<b>MEDIA:</b>			<b>12%</b>

Fonte: Próprio autor, 2013.

Como podemos observar a curva 03 possui um erro médio de apenas 12% em relação ao ensaio realizado.

## **5 CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

### **5.1 Conclusão**

Após análise dos dados obtidos e dos ensaios realizados, pode-se concluir que houve um erro na execução do ensaio de esclerometria, impossibilitando assim a utilização da curva de correlação do índice esclerométrico e da correlação combinada para determinação da resistência a compressão axial, onde esse erro se deu por dois motivos, falha no pré-carregamento necessário para a execução do ensaio e alta umidade dos corpos de prova ensaiados.

Com os resultados obtidos pela curva de correlação do ensaio de ultrassom e a resistência a compressão axial do concreto, pode-se estimar a resistência real do concreto com 14% de erro médio, variando de 1% a 56% de erros obtidos, sendo esse erro de 56% em apenas um caso isolado. Logo podemos utilizar sim os ensaios não destrutivos para a determinação da resistência a compressão do concreto.

Vale ressaltar que o trabalho em questão, serve apenas para o concreto estudado nesse trabalho, que é o concreto de 25 Mpa da Empresa Labormix utilizado no radier da obra do Residencial Cidade Jardim localizada em Fortaleza-CE.

### **5.2 Recomendações para trabalhos futuros**

Da discussão citada em 5.1, ficam como sugestões para trabalhos futuros:

- ✓ Redesenhar e reanalisar a curvas de correlação para o índice esclerométrico e correlação combinada para o concreto estudado.
- ✓ Elaborar curvas de correlação para outros tipos de concretos utilizados no estado.
- ✓ Analisar o efeito das armaduras nos ensaios não destrutivos realizados
- ✓ Elaborar curvas de correlação entre o Modulo de elasticidade e os ensaios aqui estudados.

## 6 Referencias Bibliográficas

EVANGELISTA, Ana Catarina Jorge, Avaliação de resistência ao concreto usando diferentes ensaios não destrutivos, Rio de Janeiro, UFRJ, 2002.

MACHADO, Mauricio Dornellas, Curvas de correlação para caracterizar concretos utilizados no Rio de Janeiro por meio de ensaios não destrutivos, Rio de Janeiro, 2005.

PROTASIO F. CASTRO, Ensaios de inspeção e controle aplicados em obras rodoviárias de concreto cimento Portland, DNER.

SANTANA, Lissandro Lacerda, Analise se resistência à compressão do concreto com cura úmida e sem cura, disponível em [http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Art3\\_0033.pdf](http://info.ucsal.br/banmon/Arquivos/Art3_0033.pdf).

APOSTILHA DE TECNOLOGIA DO CONCRETO, Centro federal de educação tecnologia do Paraná, disponível em <http://www.ufvjm.edu.br/site/icet/files/2013/04/Concreto-02.pdf>.

CONGRESSO IBEROAMERICANO DEL HORMIGÓN PREMEZCLADO, 5, 1987, Buenos Aires.

Malhotra, R. 1991, Tidal origin of the Laplace resonance and the resurfacing of Ganymede, Icarus 94:399-412.

NEVILLE, A. M. Propriedades do Concreto. 2ª Ed., São Paulo, PINI, 1997.

NBR 5739, 2007, “Ensaio de Compressão de corpos de Prova Cilíndricos de Concreto”, Rio de Janeiro.

NBR 5738, 2003 Emenda 1:2008, “Moldagem e Cura de Corpos-de prova de Concreto Cilíndricos ou Prismáticos” , Rio de Janeiro.

NBR 8802, 2013, “Concreto endurecido – Determinação da velocidade de propagação de onda ultrassônica”, Rio de Janeiro.

NBR 7584, 2012, “Concreto endurecido – Avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão – Método de ensaio”, Rio de Janeiro.

NBR 5732, 1991, “Cimento Portland comum”, Rio de Janeiro.

ACI 228. 1R, 2003, “Place Methods to Estimate Concrete Strength”, American Concrete Institute.

## 7 Anexos

### Anexo 1 - Quadro utilizado para coleta de dados

CORPO DE	ULTRASSOM		INDICE ESCLEROMÉTRICO																FCK		
	VELOCIDADE	US																			
1DD	1	3120	64,1	8	10	10	8	8	10	10	8	8	10	11	10	10	11	13	8	9,5625	4,96
	2	3180	63	8	10	10	8	8	20	8	10	10	12	12	10	8	11	10	8	10,188	4,96
	3	3080	65	10	10	12	8	8	13	10	9	8	12	15	12	8	12	12	10	10,563	4,80
	4	3290	60,3	12	18	10	10	8	10	12	8	10	10	10	9	13	10	8	10	10,5	3,84
	5	680	296	12	15	10	8	8	10	10	8	10	12	8	8	10	10	9	9	9,75	5,44
3DD	6	3780	50,3	8	11	14	12	8	12	16	8	8	12	16	11	8	12	16	10	11,375	16,4
	7	3760	50,6	8	16	15	10	8	12	22	10	8	12	16	10	9	14	14	12	12,25	15,6
	8	3850	49,3	11	12	16	19	8	13	15	10	8	13	16	10	8	12	15	10	12,25	15,5
	9	3710	51,3	17	8	12	13	10	8	9	12	9	9	10	10	11	8	13	16	10,938	12
	10	3860	49,1	14	13	20	8	8	11	13	8	19	11	14	9	8	13	12	10	11,938	15,25
7DD	11	4290	45,9	13	14	11	30	13	15	16	19	9	14	13	8	8	13	15	13	13,938	24,8
	12	4180	46,2	8	13	13	9	13	13	9	8	8	11	8	10	12	14	8	10,313	23	
	13	4200	44,4	10	14	15	8	10	12	14	10	11	13	16	10	8	12	18	10	11,938	23,2
	14	4410	44,2	10	12	15	16	14	13	15	10	10	11	19	10	10	18	15	10	13	16,5
	15	4490	43,4	12	20	16	12	15	15	16	16	10	14	16	11	14	16	12	10	14,063	22,2
14DD	16	4320	43,8	14	14	15	10	14	14	14	10	10	14	14	10	10	13	14	10	12,5	23,4
	17	4330	43,9	10	15	15	14	15	17	13	10	10	12	13	10	11	14	13	10	12,625	24,3
	18	4280	44,4	10	15	17	13	15	15	23	13	10	16	16	13	8	18	24	13	14,938	23
	19	4370	43,5	12	20	14	10	12	14	17	10	12	12	17	16	10	10	12	16	13,375	24,8
	20	4260	44,6	10	14	14	14	10	14	14	10	10	17	15	10	22	12	13	15	13,375	23,6
28DD	21	4390	43,5	16	10	18	22	13	10	13	10	14	15	17	13	10	13	12	10	13,5	25
	22	4030	47,9	12	30	20	10	14	17	17	16	15	18	17	24	14	18	19	17	17,375	27
	23	4210	44,9	12	14	16	14	10	15	18	12	22	15	15	10	12	18	17	10	14,375	27,4
	24	4270	44,5	13	26	18	15	27	28	16	18	15	16	17	10	18	18	24	17	18,5	27,4
	25	4080	47,1	13	24	15	15	23	16	15	16	12	16	18	10	14	16	16	16	15,938	27,8

Fonte: Próprio autor, 2013.

### Anexo 2 - Reservatório de água



Fonte: Próprio autor, 2013.

## Anexo 3 - Nota Labormix para recebimento do concreto

3		fck.proj		LABORMIX		COMÉRCIO USINAGEM E PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS LTDA		R. C. 3610		Nº 37026	
HORZ		CHEGADA		CLIENTE: FUJINA		Endereço: RESIDENCIAL CIARRE JARDIM		C. B. Nº: 1 PAVO		Traço Nº: FCK 25 B1.10 ± 2	
25 13:2		35 13:3		Bomba: H01 PAVO		Volume: 4.0		Resistência: FCK 25 B1.10 ± 2		Cimento: 1240	
5 13:4		5 14:3		H. Carga: 16:30H		Cheg. Obra:		Início Desc.		Brita 0: -	
25 16:3				Fim Desc.		Obs: AGUA FENOA: 150CT				Brita 1: 40P0	
MOLDADOR		S. M. Fay		21 / 10 / 13		Resp. Usina		Data		Brita 2: -	
Aprovação 012										Areia: 3500	
										Aditivo: 5	
										Água: 800	
										Lacre: 12649	
										Resp. Recebimento	

Fonte: Próprio autor, 2013.

**Anexo 4 - Ferramentas utilizadas para teste do abatimento**

Fonte: Próprio autor, 2013.

Anexo 5 - Caminhão betoneira sendo carregado



Fonte: Próprio autor, 2013.

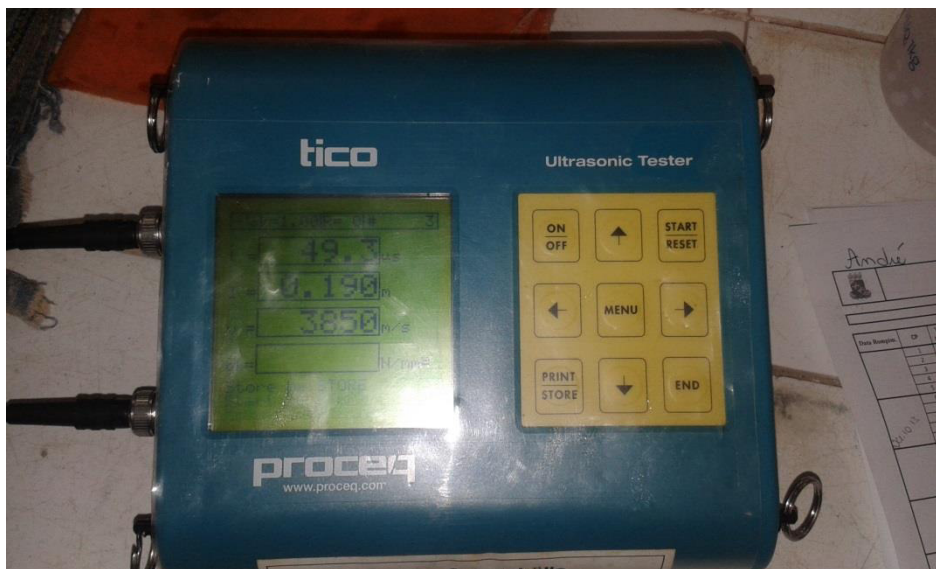
## Anexo 6 - Usinas de concreto



Fonte: Próprio autor, 2013.

**Anexo 7 - Aditivo Tec Tard 110 XR**

Fonte: Próprio autor, 2013.

**Anexo 8 - Leitura realizado no TICO**

Fonte: Próprio autor, 2013.

## Anexo 9 - Leitura Realizada na Prensa Mecânica



Fonte: Próprio autor, 2013.

