

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**“ESTUDO LABORATORIAL SOBRE OS DANOS CAUSADOS  
PELO BROQUEAMENTO E RETIFICAÇÃO EM CORPOS-DE-  
PROVA TESTEMUNHOS”**

Por

*Hannah lerissa Hydaradaya Moura Santos de Farias*

Orientador: Paulo de Araújo Regis

Co-orientador: Bernad Bulhões Pedreira Genevois

Recife, Pernambuco – Brasil

Dezembro de 2006.

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**“ESTUDO LABORATORIAL SOBRE OS DANOS CAUSADOS  
PELO BROQUEAMENTO E RETIFICAÇÃO EM CORPOS-DE-  
PROVA TESTEMUNHOS”**

Por

*Hannah lerissa Hydaradaya Moura Santos de Farias*

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Curso de Pós-graduação da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários a obtenção do Grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil.

Orientador: Paulo de Araújo Regis

Co-orientador: Bernad Bulhões Pedreira Genevois

Recife, Pernambuco – Brasil

Dezembro de 2006.

**F224e**

**Farias, Hannah Lerissa Hydaradaya Moura Santos de.**

Estudo laboratorial dos danos causados pelo broqueamento e retificação em corpos-de-prova testemunhos / Hannah Lerissa H. M. Santos de Farias. - Recife: O Autor, 2006.

xiii, 91 folhas, il : figs., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2006.

Inclui Bibliografia..

1. Engenharia Civil - Estruturas. 2. Broqueamento. 3. Testemunho (Corpos-de-prpvas). 4. Retificação – Estudo Laboratorial. I. Título.

**UFPE**

**624**

**CDD (22. ed.)**

**BCTG/2008-066**

**“ESTUDO LABORATORIAL SOBRE OS DANOS CAUSADOS  
PELO BROQUEAMENTO E RETIFICAÇÃO EM CORPOS-DE-  
PROVA TESTEMUNHOS”**

Por

*Hannah lerissa Hydaradaya Moura Santos de Farias*

Dissertação submetida ao Corpo Docente do Curso de Pós-graduação da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Ciências em Engenharia Civil.

Aprovada por:

---

Prof. Paulo de Araújo Regis, D.Sc (Presidente)  
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco;

---

Prof. Arnaldo Cardim de Carvalho Filho, D.Sc.  
UPE – Universidade de Pernambuco;

---

Prof. Bernard Bulhões Pedreira Genevois, D. Sc.  
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco;

---

Prof. Romilde Almeida de Oliveira, D. Sc.  
UNICAP – Universidade Católica de Pernambuco  
PPGE – Programa de Pós-Graduação em Eng<sup>a</sup>. Civil –  
UFPE;

---

Prof. Humberto Correia Lima Júnior, D. Sc.  
UFPE/Centro Acadêmico do Agreste.

Recife, Pernambuco – Brasil

Dezembro de 2006.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico a Deus, a meus pais, a meus irmãos, ao meu marido, a minha filha e ao meu filho que foi morar no céu, cada dia necessário a realização desta dissertação.

## **AGRADECIMENTOS**

Sempre fui apaixonada pela minha família e mesmo tendo que ficar distante dela só tenho que agradecer pela força, apoio e carinho que eles me dedicaram durante todo o meu caminho de formação profissional. Foi muito difícil concluir esta dissertação, pois, senti muitas saudades das pessoas que amo, afinal, nunca tinha ficado distante delas. Então, para poder me concentrar nos ensinamentos dos professores contei com o apoio dos amigos que fiz aqui em Recife-PE, posso dizer, portanto, que fiz da UFPE o meu lar, ganhei de presente à família de Rose, Ezequiel e Marta, três irmãos, que me consolaram e me deram atenção sempre que precisei, ganhei esses mesmos presentes de Maria (Secretária de Engenharia Civil), de D. Laudenice (Ex-secretária do Mestrado de Engenharia Civil), de Cazuzza e Vera (casal maravilhoso), de Nadinho e de todos os colegas de curso, especialmente de Gleicilene e de Juliana. Tive também que superar dificuldades financeiras para realizar esta pesquisa, para tanto, foram fundamentais o apoio do Professor Joaquim Correia e da TECOMAT que doaram todo o concreto necessário para a moldagem das amostras; o apoio de Plácido que, além de, ter se mostrado um grande amigo, me cedeu seu equipamento de extração de testemunhos e trabalhou conosco durante todo o processo de obtenção das amostras; a Edvaldo e a Franklin, gerentes, da Queiroz Galvão S/A, que doaram parte do material necessário à fabricação das formas e ao meu grande herói, meu paizinho querido, que num esforço enorme fabricou e transportou de Pendências/RN a Recife/PE, aproximadamente 800 km de distância, todas as formas para que eu pudesse concluir a moldagem das amostras. Não posso deixar de agradecer aos meus professores: Prof. Paulo Regis que, além de orientador, foi meu amigo sabendo sempre à hora certa de me ensinar e até mesmo de me repreender e ao Prof. Bernard Bulhões que gentilmente aceitou ser meu co-orientador e me ensinou com toda a sua serenidade a disciplina de estatística. Em fim, obrigada a todos que: me sorriram, me deram bom dia e torceram pelo meu sucesso, pois, são inúmeras as pessoas que tenho a agradecer, já que Deus, em sua grandiosidade, colocou sempre em meu caminho pessoas maravilhosas que contribuíram na minha formação pessoal e profissional.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>x</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPITULO 1–INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITULO 2–REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>3</b>
2.1    Introdução.....	3
2.2    Extração de Testemunhos.....	3
2.2.1    Operação de Extração de Testemunhos.....	3
2.2.1.1    Fatores que Interferem na Resistência à Compressão dos Testemunhos.....	5
A.    Diâmetro dos Testemunhos.....	5
B.    Razão Altura diâmetro dos Testemunhos (h/d).....	10
C.    Influência da Presença de Armaduras nos Testemunhos.....	14
D.    Condição de Umidade dos Testemunhos.....	16
E.    Influência da Direção da Extração em Relação à Concretagem.....	19
F.    Influência do Equipamento de Extração.....	21
2.2.1.2    Considerações sobre o Método Destrutivo de Extração de Testemunhos.....	24
<b>CAPITULO 3 – METODOLOGIA ESTATÍSTICA.....</b>	<b>25</b>
3.1    Introdução.....	25
3.2    Influência do tamanho da amostragem na análise dos resultados.....	26
3.3    Técnicas estatísticas para análise dos resultados.....	27
3.3.1    Conceitos estatísticos.....	29
3.3.2    Identificação nos conjuntos de dados de valores suspeitos ou “ <b>outliers</b> ”.....	31
3.3.2.1    Método Estatístico dos Quartis.....	32
3.3.3    Métodos estatísticos de comparação entre conjuntos de dados.....	34



3.3.3.1	Teste F (ANOVA) .....	34
3.3.3.2	Teste t de Student .....	35
3.4	Considerações para as análises estatísticas.....	37
<b>CAPITULO 4 - PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>		<b>39</b>
4.1	Considerações.....	39
4.2	Definição dos grupos moldados e ensaiados .....	40
4.3	Formas .....	42
4.4	Materiais .....	45
4.5	Lançamento e Cura das Amostras .....	45
4.6	Extração dos Testemunhos e Preparação das Amostras.....	48
4.7	Ensaio de Resistência à Compressão.....	52
4.8	Comentários quanto aos Procedimentos Experimentais.....	53
<b>CAPITULO 5 - APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....</b>		<b>54</b>
5.1	Considerações.....	54
5.2	Apresentação dos Dados e Discussão da Primeira Etapa da Análise dos Resultados.....	55
5.2.1	Corpos-de-prova de Referência .....	55
5.2.2	Dados da Extração, Preparação e Ensaio à Compressão dos Testemunhos.....	60
5.3	Apresentação e Discussão da Segunda Etapa da Análise dos Resultados.....	71
5.3.1	Comparação entre o subgrupo CPPII (10x20) cm e os subgrupos de testemunhos .....	73
5.3.1.1	Comparação entre CPPII (10x20) cm e os subgrupos de testemunhos EP-20 e EN-20.....	74
5.3.1.2	Comparação entre CPPII (10x20) cm e os subgrupos de testemunhos EP-15 e EN-15.....	76
5.3.1.3	Comparação entre CPPII (10x20) cm e os subgrupos de testemunhos EP-10 e EN-10.....	78
5.3.1.4	Considerações sobre o efeito do broqueamento na resistência dos testemunhos .....	79

5.3.2	Comparação entre os subgrupos de testemunhos EP's e EN's.....	81
5.3.3	Comparação entre os subgrupos CPPI (15x30) cm e CPPII (10x20) cm ...	83
<b>CAPITULO 6 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>		<b>86</b>
6.1	Conclusões.....	86
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	86
<b>CAPITULO 7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>87</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1-</b> Diferença entre superfície do testemunho (1) e a superfície do corpo-de-prova padronizado (2).....	22
<b>Figura 3.1-</b> Definição do limite inferior ( <i>LI</i> ) e do limite superior ( <i>LS</i> ) pelo critério dos Quartis. ....	33
<b>Figura 4.1-</b> Subgrupos de amostras: (1) EP-20, (2) EP-15 e (3) EP-10 destinados, respectivamente, à extração de testemunho com 20 cm, 15 cm e 10 cm de altura. ....	40
<b>Figura 4.2-</b> Subgrupos de amostras: (1) EN-20, (2) EN-15 e (3) EN-10 destinados, respectivamente, à extração de testemunho com 20 cm, 15 cm e 10 cm de altura. ....	41
<b>Figura 4.3-</b> Grupo de amostras padronizadas ou de referência. ....	41
<b>Figura 4.4-</b> Distância mínima do furo as bordas do elemento estrutural.....	42
<b>Figura 4.5-</b> Formas dos blocos EP's fabricadas com compensado plastificado.....	43
<b>Figura 4.6-</b> Caminhão betoneira (1) e carro de mão para distribuição do concreto (2). ....	44
<b>Figura 4.7-</b> Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. ....	45
<b>Figura 4.8-</b> Moldagem dos blocos. ....	45
<b>Figura 4.9-</b> Formas dos blocos após concretagem cobertas com serragem de madeira.. ....	46
<b>Figura 4.10-</b> CP's de referência após a concretagem. ....	46
<b>Figura 4.11-</b> Instalação e fixação do equipamento de extração (1) e broqueamento (2). ....	47
<b>Figura 4.12-</b> (1) Direção de lançamento, de extração dos testemunhos e posição dos blocos EP's, (2) direção de lançamento dos blocos EN's e (3) Posicionamento e direção de extração dos testemunhos nos blocos EN's. ....	48

<b>Figura 4.13-</b> Bloco antes da extração do testemunho (1), bloco após a extração do testemunho (2) e testemunho (3). .....	48
<b>Figura 4.14-</b> Testemunho de nº. 15, extraído do bloco EN-15, com a presença de um agregado argiloso.....	49
<b>Figura 4.15-</b> Testemunhos devidamente capeados.....	50
<b>Figura 4.16-</b> Ruptura à compressão.....	51
<b>Figura 4.17-</b> Visão geral das amostras após o ensaio de resistência à compressão.....	51
<b>Figura 5.1-</b> (A) Extração correta - perpendicular à superfície do bloco destinada à extração; (B) Extração incorreta - inclinada em relação à superfície do bloco destinada à extração.....	66

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1-</b> Efeito na resistência dos testemunhos do tamanho do agregado e do diâmetro das amostras, segundo o anexo A da prEN 12504-1:1999.....	7
<b>Tabela 2.2-</b> Resumo de considerações e recomendações quanto ao diâmetro dos testemunhos. ....	9
<b>Tabela 2.3-</b> Fatores de correção da relação altura diâmetro h/d. ....	13
<b>Tabela 2.4-</b> Recomendações quanto à presença de armaduras nos testemunhos. ....	15
<b>Tabela 2.5-</b> Relação entre a resistência de testemunhos testados secos e saturados. ....	16
<b>Tabela 2.6-</b> Relação entre a resistência dos testemunhos extraídos paralelamente e perpendicularmente à direção da concretagem.....	21
<b>Tabela 4.1-</b> Quantidades e dimensões dos elementos de concreto moldados.....	43
<b>Tabela 4.2-</b> Proporções dos materiais utilizados no concreto.....	44
<b>Tabela 5.1-</b> Resistência à compressão aos 28 dias obtida com amostras CPPI (15x30) cm.....	54
<b>Tabela 5.2-</b> Resistência à compressão dos CPPI (15x30) cm rompidos no mesmo período em que os testemunhos.....	56
<b>Tabela 5.3-</b> Resistência à compressão dos CPPII (10x20) cm rompidos no mesmo período em que os testemunhos. ....	57
<b>Tabela 5.4-</b> Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EP-20. ....	59
<b>Tabela 5.5-</b> Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EN-20. ....	61
<b>Tabela 5.6-</b> Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EP-15. ....	63

<b>Tabela 5.7-</b> Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EN-15. ....	65
<b>Tabela 5.8-</b> Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EP-10. ....	67
<b>Tabela 5.9-</b> Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EN-10. ....	68
<b>Tabela 5.10-</b> Conjuntos de dados comparados e os objetivos pretendidos com as comparações.....	70
<b>Tabela 5.11-</b> Resultado dos testes <i>F</i> e <i>t de Student</i> realizado entre os subgrupos EP-20 x CPPII (10x20) cm e EN-20 x CPPII (10x20) cm.....	73
<b>Tabela 5.12-</b> Resultado dos testes <i>F</i> e <i>t de Student</i> realizado entre os subgrupos EP-15 x CPPII (10x20) cm e EN-15 x CPPII (10x20) cm.....	75
<b>Tabela 5.13-</b> Resultado dos testes <i>F</i> e <i>t de Student</i> realizado entre os subgrupos EP-10 x CPPII (10x20) cm e EN-10 x CPPII (10x20) cm.....	77
<b>Tabela 5.14-</b> Resultado dos testes <i>F</i> e <i>t de Student</i> para a comparação entre os subgrupos de testemunhos extraídos e ensaiados de forma paralela e normal concretagem.....	80
<b>Tabela 5.15-</b> Resultado dos testes <i>F</i> e <i>t de Student</i> para a comparação entre os subgrupos CPPI (15x30) cm e CPPII (10x20) cm.....	82

## **RESUMO**

É comum na prática da engenharia a utilização de corpos-de-prova testemunhos para avaliação da resistência à compressão do concreto; isso ocorre em edificações antigas quando não se têm dados a respeito do concreto por ocasião da restauração das estruturas ou em estruturas novas quando há dúvidas em relação à qualidade do concreto executado. Diversos são os fatores que interferem na determinação do valor da resistência do concreto quando utilizamos testemunhos, por exemplo: nível de resistência do concreto, diâmetro e altura do testemunho, a relação entre diâmetro/altura, umidade do corpo-de-prova, idade, posição do corpo-de-prova extraído da estrutura, efeito causado pela extratora, etc. Diversas normas de projetos citam a influência do efeito do broqueamento, mas não apresentam coeficientes de correção, exceto a do ACI 214.4R-03. Neste trabalho são descritos e analisados os resultados experimentais de corpos-de-prova extraídos com objetivo de identificar o efeito do broqueamento e da retificação levando-se em consideração a posição da concretagem com relação à extração e a relação altura diâmetro. Foram confeccionados 180 blocos de tamanho 30x30cm dos quais foram extraídos 180 corpos-de-prova testemunhos de uma única resistência ( $f_{cm}=29\text{MPa}$ ) produzidos em um caminhão betoneira. Os testemunhos e os corpos-de-prova de referência foram submetidos as mesmas condições de umidade. A relação altura/diâmetro dos corpos-de-prova testemunhos foi variável. Foram extraídos testemunhos com relações h/d iguais a 1,0, 1,5 e 2,0. Foram moldados 57 corpos-de-prova de tamanho 150x300 e 60 de tamanho 100x200 que foram os corpos-de-prova para comparação. Os testemunhos foram extraídos com a idade de 180 dias. Os resultados dos ensaios foram tratados estatisticamente e garantem sua confiabilidade. Para os testemunhos de relação altura/diâmetro igual a dois o coeficiente de 1,06, como fator de correção devido aos danos causados pela extratora, preconizado pela norma ACI 214.4R-03 foi observado neste trabalho.

**Palavras Chaves:** *Testemunho, broqueamento, fator de correção e etc..*

**ABSTRACT**

It is normal in engineer practice to use core testing to determine the in-place compressive strength of concrete in a structure. Generally, cores are obtained to: Assess whether suspect concrete in a new structure complies with strength-based acceptance criteria; or determine in-place concrete strengths in an existing structure for the evaluation of structural capacity. Several factors affect the value of concrete strength obtained by core testing: length and diameter of core, length-to-diameter (l/d) ratio, moisture condition, coring direction, age, drilling, saw, etc. Several strength correction factors are presented by the codes. Strength correction factor for drilling effects is presented only by ACI 214.4R-03. Experimental results about core tests are presented in this work. The main objective is study drilling effect in the core. The coring direction and length-to-diameter are also considered. The cores were drilled from the 180 specimens, 300x300mm. The concrete strength was 29MPa. Cylinders tests were included in this research. The cylinders casting were 150x300 and 100x200 in size. The cores and cylinders were subjected to the same moisture conditions. The length-to-diameter ratio were 1.0, 1.5 and 2.0. The cores were drilled at the age of 180 days. Statistical analysis techniques were used. The tests results of core with length-to-diameter 2.0, confirm the strength correction factor established by ACI 214.4R-03.

**Keywords:** *Core tests, drilling effects, Strength correction factor.*



## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades físicas e mecânicas de qualquer material é de fundamental importância nos projetos e execução de estruturas.

O controle de qualidade da produção e da execução das obras em concreto estrutural (simples, armado, protendido ou estruturas mistas) é feito através de ensaios que determinam as propriedades deste material. O ensaio de resistência à compressão é um dos mais realizados, pois, além da simplicidade e facilidade de execução é também utilizado para fazer correlações com outras propriedades importantes na avaliação da qualidade do concreto como, por exemplo: módulo de elasticidade e resistência à tração. Os ensaios de resistência à compressão são comumente feitos em corpos-de-prova cilíndricos nos tamanhos de 15x30 cm ou 10x20 cm, sendo no Brasil normalizado pela NBR 5739/1994.

Dada a importância da resistência à compressão para avaliação de estruturas de concreto é comum em obras novas, mas, com controle de qualidade deficiente e em estruturas já existentes, mas que precisam de: reformas, recuperações ou reforços, conhecer tal propriedade, no entanto, na maior parte dos casos não há informações registradas o que dificulta a avaliação. Nesses casos, recorre-se para determinação da resistência à compressão a ensaios informativos, tal como: ensaios de corpos-de-prova testemunhos, o qual é considerado, por CASTRO (1987), um dos métodos mais confiáveis na avaliação da resistência à compressão.

O nome testemunho é dado às amostras cilíndricas de concreto retiradas de elementos estruturais que necessitam de avaliação. Estes testemunhos são retirados da estrutura por ação de uma extratora rotativa ou oscilante sob refrigeração de água ou ar, a fim de avaliar o concreto endurecido. O método de extração de testemunho favorece a inspeção do interior do elemento estrutural e com o ensaio das amostras é possível determinar a resistência à compressão, à tração, módulo de elasticidade, etc.

A resistência obtida por testemunhos é influenciada por vários fatores como, por exemplo: diâmetro dos testemunhos; influência da razão entre as dimensões do testemunho; presença de armadura nos testemunhos; condição de umidade do testemunho na hora dos ensaios; direção da extração, paralela ou perpendicular, ao sentido da concretagem; influência da ação do broqueamento durante a extração; etc. Apesar disto, baseados em estudos de ALBA, HELENE e GONÇALVES apud

CREMONINI (1994) e CASTRO (1987), consideram o método de extração de testemunho completo e bastante confiável para avaliar e/ou estimar as propriedades do concreto. Pode ser dito completo já que estas amostras favorecem a avaliação e a inspeção visual do interior dos elementos dos quais são retiradas, permitem determinar além da resistência à compressão, a resistência à tração, o módulo de elasticidade e o diagrama tensão deformação. Pode ser dito confiável, desde que seja bem planejado, executado e interpretado, já que através do mesmo, obtém-se diretamente a propriedade de resistência à compressão.

Algumas normas, tais como: ACI 214.4R-2003, NBR 7680/1983, ASTM C 42-2003 e etc, preconizam valores de correção para os diversos fatores que afetam os resultados obtidos com os testemunhos. Porém, apenas o ACI 214.4R-2003 indica o fator de correção para o efeito devido à ação do broqueamento, isto porque consideram que: as microfissuras, as ondulações ao longo da superfície do testemunho e corte das partículas do agregado, minimizam a resistência à compressão obtida através deste tipo de amostra.

O fato de se ter encontrado poucas citações a respeito dos danos causados aos testemunhos pela ação de extração e de retificação dos corpos-de-prova motivou a realização deste trabalho. Desta maneira, buscou-se quantificar as influências de tais processos na resistência à compressão obtida através de testemunhos comparando-as a resistência à compressão obtida com corpos-de-prova padronizados, os quais seguiram os procedimentos de moldagem e ensaio, respectivamente da NBR 5738/1994 e NBR 5739/1994. Tais testemunhos foram extraídos de blocos de concreto, onde se retirava apenas um exemplar na direção paralela ou perpendicular ao sentido da concretagem. A quantidade de blocos de concreto moldados e as suas dimensões permitiram a análise das referidas ações em amostras com diferentes razões altura diâmetro.

Este trabalho está organizado em sete capítulos mais os anexos. No capítulo 1 tem-se a introdução, no capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre os métodos de avaliação da resistência dos corpos-de-prova, no capítulo 3 são apresentados os métodos estatísticos aplicados aos resultados obtidos a fim de validá-los, no capítulo 4 é apresentado o programa experimental, no capítulo 5 são apresentados os resultados e as discussões, no capítulo 6 são apresentadas às conclusões e sugestões para trabalhos futuros, por fim, o capítulo 7 refere-se às referências bibliográficas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 INTRODUÇÃO**

Neste capítulo são apresentadas as principais variáveis que interferem na determinação da resistência à compressão utilizando-se corpos-de-prova testemunhos. Em algumas normas recomenda-se a utilização de fatores de correções para minimizar a intervenção destas variáveis no processo de obtenção da resistência. Tais fatores serão também apresentados neste capítulo.

A resistência à compressão é uma das principais propriedades do concreto sendo amplamente utilizada para avaliar e controlar a qualidade deste material. Além disso, através desta propriedade podem-se fazer correlações para estimar outras propriedades do concreto, por exemplo, a resistência à tração e o módulo de elasticidade, NBR 6118/2003.

Para obtenção da resistência à compressão em obras recém-construídas realiza-se o ensaio de resistência à compressão axial, o qual utiliza corpos-de-prova cilíndricos com 15 cm de diâmetro por 30 cm altura, sendo estas amostras moldadas, curadas e ensaiadas sob condições normativas, no Brasil este ensaio está normalizado pela NBR 5739/1994. Nas situações em que estas obras foram erguidas mediante a um controle de qualidade deficiente, e/ou em obras já existentes, mas, que os elementos estruturais necessitam de avaliação, pode-se determinar a resistência à compressão do concreto através de ensaios informativos, tais como: ensaios de corpos-de-prova testemunhos, o qual é considerado, por CASTRO (1987), um dos métodos informativos mais confiáveis na avaliação da resistência à compressão de estrutura de concreto.

### **2.2 EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS**

#### **2.2.1 OPERAÇÃO DE EXTRAÇÃO DE TESTEMUNHOS**

O nome testemunho é dado a amostras cilíndricas de concreto retiradas de elementos estruturais que necessitam de avaliação. Estes testemunhos são retirados da estrutura por ação de uma extratora rotativa ou oscilante sob refrigeração de água ou ar, a fim de avaliar o concreto. O método de extração de testemunho permite a inspeção do

interior do elemento estrutural e com o ensaio das amostras é possível determinar a resistência à compressão, à tração, módulo de elasticidade, etc.

O ensaio de extração de testemunho compreende os procedimentos de: extração, preparo e ensaio das amostras. De acordo com NEVILLE (2001), TAY e TAM (1996), muitas vezes estes procedimentos são mais fáceis que a análise dos resultados obtidos, isto porque, os procedimentos são em algumas normas, tais como, o ACI 214.4R/2003, a NBR 7680/1983 e a ASTM C 42/2003, devidamente definidos. No entanto, ocorrem durante a realização destes procedimentos variações e particularidades incontroláveis que afetam aos resultados obtidos tornando bem mais complicada a tarefa de analisar os dados.

Desta forma, é relevante durante a interpretação dos dados considerar os intervenientes de cada caso, além de, planejar cuidadosamente a realização de cada procedimento inclusive a etapa de análise dos dados. As variações ou fatores que mais interferem na resistência à compressão obtida a partir dos ensaios de testemunhos são:

- Diâmetro dos testemunhos;
- Influência da razão entre as dimensões do testemunho;
- Presença de armadura nos testemunhos;
- Condição de umidade do testemunho na hora dos ensaios;
- Direção da extração, paralelamente ou perpendicularmente ao sentido da concretagem;
- Extração em elementos estruturais com características de exsudação;
- Influência da ação do broqueamento durante a extração;
- Influência da ausência de argamassa nas superfícies externas do testemunho, ou seja, o chamado “efeito parede”;
- Números de testemunhos usados para determinação do valor médio da resistência efetiva.

Devido a este número de fatores que interferem nos resultados obtidos com o ensaio a compressão dos testemunhos, o ACI 214.4R/2003, uma das normas mais atuais, com a finalidade de evitar interpretações errôneas, recomenda que sejam aplicados coeficientes e equações aos resultados encontrados com essas amostras. Tais recomendações baseiam-se em estudos realizados por: NEVILLE, BARTLETT e MACGREGOR. Além disso, esta norma recomenda ainda a utilização de técnicas estatísticas para facilitar a interpretação dos resultados. É importante ressaltar que uma

avaliação errônea dos dados de resistência à compressão obtidos com amostras testemunhos pode ocasionar riscos quanto às condições de qualidade, durabilidade e segurança dos elementos estruturais envolvidos.

Segundo, GUTSCHOW e MOLIN (2001), outra questão a considerar durante a análise dos dados obtidos com testemunhos, quando há possibilidade de compará-los com os resultados obtidos através de corpos-de-prova padronizados, é que existem diferença nos procedimentos de concretagem dessas amostras padronizadas. Além disso, os elementos estruturais sofrem danos causados pelas ações da extração dos testemunhos e preparação das extremidades resultando, segundo estes autores, geralmente, conduzem a menores resistências para os testemunhos mesmos quando estes apresentam as mesmas dimensões que os corpos-de-prova padronizados.

Diante de tantos fatores que podem influenciar a resistência à compressão quando obtida através de testemunhos de concreto, as normas NBR7680/1983, ASTM C42/2003, entre outras, recomendam, para obtenção confiável dessa tão importante propriedade do concreto, cuidados: na extração das amostras, na escolha dos lotes a serem examinados, indica inclusive a aplicação de coeficientes de correção aos resultados obtidos. Dentre as diversas normas consultadas verificou-se que a apenas o ACI 214.4R/2003 indica o fator de correção para o efeito devido à ação do broqueamento, o qual pode causar microfissuras, ondulações ao longo da superfície do testemunho e corte das partículas do agregado que é o “efeito parede”. Por esta razão, este estudo focalizou-se na análise desta variável.

### **2.2.1.1 Fatores que Interferem na Resistência à Compressão dos Testemunhos**

A seguir, serão comentadas algumas das variáveis que interferem na análise dos testemunhos e em alguns casos os coeficientes de correção encontrados em normas e/ou publicados por alguns pesquisadores com a finalidade de minimizar os danos dessas variáveis sobre os resultados de resistência à compressão obtido com estas amostras extraídas de elementos estruturais que necessitam de avaliação.

#### **A. Diâmetro dos Testemunhos**

As estruturas vêm tornando-se cada vez mais esbeltas. Isto ocorre entre outros fatores pelo aumento na utilização de concretos com resistências elevadas. Com a

diminuição das seções dos elementos estruturais aumenta-se a dificuldade para extrair testemunhos com diâmetros de 15 cm, conforme os corpos-de-prova padronizados. Além disto, a extração de amostras com diâmetros menores que 15 cm podem ocorrer quando for necessário minimizar o dano causado ao elemento estrutural e/ou por questões de custos. Assim, os testemunhos são extraídos cada vez mais com diâmetros menores, sendo os diâmetros mais comuns os de 10 cm, 7,5 cm e 5 cm.

De acordo com estudos realizados por MALHOTRA apud NEVILLE (2001) e CREMONINI (1994), testemunhos de pequenos diâmetros implicam em uma variabilidade mais alta nos resultados, pois estes são mais afetados pelas ações de extração e corte das extremidades, podendo ocorrer em função dessas ações, fissuras ou outros estragos, as quais poderão afetar resistência à compressão destas amostras extraídas. É durante a realização destas ações que as partículas do agregado graúdo são cortadas e a vibração dos equipamentos de extração e corte podem afetar a aderência pasta/agregado, sendo importante, quando possível, verificar a existência de informações a respeito do tipo de agregado graúdo utilizado no elemento a partir do qual a amostra vai ser retirada.

MOREIRA et al (2003) estudaram para concretos com resistências próximas a 20MPa a influência do diâmetro do agregado em testemunhos, verificando estatisticamente que há diferenças significativas entre os resultados obtidos através do ensaio realizado com testemunhos com diâmetros de 10 cm e 7,5 cm para o caso em que o agregado graúdo da mistura tinha a dimensão máxima característica igual a 19 mm. No entanto, não verificaram estatisticamente diferenças significativas para os testemunhos com diâmetro de 10 cm e 7,5 cm para o caso em que o agregado graúdo da mistura tinha a dimensão máxima característica igual a 9,5 mm.

Segundo a NBR 7680/1983, os testemunhos devem ser extraídos de preferência com diâmetros de 15 cm, conforme os corpos-de-provas cilíndricos padronizados. No entanto, quando isto não for possível os testemunhos devem ser retirados com diâmetro de três vezes a dimensão máxima do agregado graúdo, mas não inferior a 10 cm e, quando for necessário extrair testemunhos com diâmetros menores que 10 cm a amostragem deverá ser composta de no mínimo 10 testemunhos.

Na norma ACI 437R/1991 está recomendado que os testemunhos retirados da estrutura com o objetivo de avaliar a resistência à compressão do concreto devem ter o diâmetro de pelo menos três vezes o diâmetro característico do agregado ou no mínimo igual a 5 cm.

A prEN 12504-1/1999, mostra em seu anexo A, o efeito do tamanho do agregado e do diâmetro das amostras na resistência dos testemunhos, para experimentos realizados com testemunhos com diâmetro de 10 cm, 5 cm e 2.5 cm retirados de concretos feitos agregados com o tamanho máximo de 20mm e 40mm, ver Tabela 2.1.

Tabela 2.1- Efeito na resistência dos testemunhos do tamanho do agregado e do diâmetro das amostras, segundo o anexo A da prEN 12504-1:1999.

Diâmetro do agregado	Relação entre a resistência de Testemunhos com diâmetros de:	
	10 cm / 5 cm	5 cm / 2.5 cm
20mm	1,07	1,20
40mm	1,17	1,19

O European Standard BS EN 12504-1/2000 citado por NEVILLE (2001), diz que quando o diâmetro do testemunho chegar a um valor menor que três vezes o tamanho do agregado há interferência no valor da resistência medida, porém, não quantifica essa interferência.

De acordo com a ASTM C 42/1999 apenas quando for impossível retirar amostras com uma razão  $h/d \geq 1$  é que será permitido testar testemunhos com diâmetros menores que 9,5 cm, estando ainda prescrito que, para concretos com dimensão máxima característica do agregado superiores a 9,5 cm, o diâmetro nominal do testemunho deverá ser três vezes dimensão máxima característica do agregado ou pelo menos duas vezes essa dimensão.

Foram feitas alterações na ASTM C 4/1999 as quais foram publicadas em 2003, estando prescrito nesta edição que, o ensaio à compressão com testemunhos com diâmetro inferior a 9,4 cm não é proibido, porém esta norma apresenta uma ressalva, onde relata que a resistência à compressão obtida com testemunhos com diâmetro nominal de 5 cm é menor e mais variável que resistência à compressão obtida através dos testemunhos com 10 cm de diâmetro, além disso, a ASTM C 42/2003 considera que os testemunhos com diâmetros menores parecem ser mais sensíveis ao efeito da razão altura diâmetro.

Segundo o ACI 214.4R/2003 não há consenso entre os pesquisadores em relação à influência do diâmetro do testemunho nos resultados obtidos com ensaio à

compressão, recomendando que as amostras sejam extraídas preferivelmente com 10 cm ou 15 cm de diâmetro. Esta norma, baseada nos estudos de BATLETT e MACGREGOR (1995), apresenta fatores de correção para a resistência média obtida com amostras de 5 cm, 10 cm e 15 cm, os quais estão mostrados na Tabela 2.2 exposta ao final deste item.

De acordo com GONÇALVES (1994), enquanto a resistência dos testemunhos de pequenos diâmetros é afetada pelas ações de extração e corte das extremidades, as amostras com maiores diâmetros aumentam a área de contato entre o testemunho e o prato da prensa o que resulta em maiores zonas de perturbações e maiores deformações laterais nos corpos-de-prova, resultando em menores resistências.

Porém, testemunhos de diâmetros pequenos minimizam o tempo de extração, permitem extrair mais amostras, facilitam o manuseio, o transporte e o armazenamento.

Estudos, de MURDOCK e KESLER citados por NEVILLE (1997 e 2001), mostraram que é preferível escolher a extração de testemunhos com diâmetro tal que forneça a esbeltez  $h/d \cong 2$ , como nos corpos-de-prova padronizados, pois, para esta razão, de acordo com estes pesquisadores, os efeitos de contenção dos pratos da prensa sob os testemunhos são menores.

Diante do exposto, é possível afirmar que na determinação do diâmetro do testemunho a ser extraído deve-se além do tipo de agregado e da relação altura diâmetro,  $h/d$ , verificar: as recomendações normativas, a existência de projetos estruturais para, assim, identificar as posições das armaduras e suas respectivas dimensões, o diâmetro das brocas disponíveis no mercado já que diâmetros maiores devem implicar em maiores potências de motor, o espaço para o armazenamento das amostras e etc.



Tabela 2.2- Resumo de considerações e recomendações quanto ao diâmetro dos testemunhos.

Fontes	Diâmetros em cm				Recomendações
	15	10	7.5	5	
Keiller**	-	4,0%	8,0%	10,0%	Estes valores refere-se a coeficientes de variação.
Munday e Dir**	-	4,3%	4,0%	5,0%	Estes valores refere-se a coeficientes de variação.
NBR 7680/83	Recomendado	-	-	-	3x a máxima dimensão do agregado graúdo. Quando a recomendação mínima não for atendida a amostra deve ser composta de pelo menos 10 testemunhos.
ACI 437R-91	-	-	-	-	3x o diâmetro nominal máximo do agregado graúdo, ou pelo menos 2 polegadas.
ASTM C-42-2003	-	-	-	São mais variáveis que os de 10 cm.	Recomenda a extração de testemunhos com pelo menos 9.4 cm de diâmetro, mas não proíbe o uso de testemunhos com diâmetros menores. O diâmetro preferível é de 3 vezes ou pelo menos 2 vezes a dimensão nominal máxima do agregado.
ACI 214.4R-2003	0,98	1,0	-	1,06	Fator de correção para a resistência média dos testemunhos.

Fonte:

\*\* Pesquisadores citados por CREMONINI (1994).

## **B. Razão Altura diâmetro dos Testemunhos (h/d)**

Nos corpos-de-prova padronizados a razão altura diâmetro,  $h/d$ , é igual a dois, no entanto, no caso dos testemunhos nem sempre é possível garantir esta relação, pois a obtenção desta esbeltez depende da dimensão e das localizações dos elementos estruturais, da presença de armaduras etc. Os pesquisadores e normas recomendam que as dimensões das amostras extraídas resultem em uma relação  $h/d$  entre 1 e 2, evitando sempre testemunhos com o valor de  $h/d$  menor que 1. Isto porque para a razão  $h/d$  igual a dois a interferência nos resultados de resistência à compressão devido ao atrito entre os pratos da prensa e o topo dos testemunhos é menor, enquanto que, para amostras cilíndricas com a relação altura diâmetro inferior a dois a interferência nos resultados da resistência à compressão devido a este atrito aumenta.

Desta forma, para comparar a resistência obtida através dos corpos-de-prova cilíndricos padronizados com a resistência obtida em testemunhos que apresentam relação altura diâmetro,  $h/d$ , diferente de dois faz-se necessário utilizar fatores de correção buscando eliminar a interferência que esta razão causa a resistência destas amostras. Ou seja, os fatores de correção além de permitir a comparação dos testemunhos com os corpos-de-prova padronizados também devem cobrir a interferência do atrito entre os pratos da prensa e o topo dos testemunhos.

NEVILLE (2001) em seu estudo sobre a relação  $h/d$  conclui que amostras com a razão altura diâmetro menor que a unidade não deveriam ser usadas e afirma ainda que os coeficientes de correção aumentam a incerteza sobre a resistência do concreto testado.

Segundo estudos de SANGHA & DHIR e SWAMY & AL-HAMED apud CREMONI (1994) e estudos de MURDOCK e KESLER apud NEVILLE (2001) concretos com resistências elevadas são menos afetados pelo valor de  $h/d$  que concretos com resistências mais baixas.

As normas, NBR 7680/1983 e ASTM C 42/2003, e diversos pesquisadores fornecem coeficientes de correção para ser aplicado nos casos em que a relação entre a altura e o diâmetro das amostras for diferentes e menores que dois, já para o caso em que as extrações são possíveis com comprimentos maiores que duas vezes o diâmetro as normas prescrevem que as extremidades dos testemunhos sejam aparadas, preferencialmente, tornando esta relação igual a dois. Os coeficientes de correção fornecidos pela NBR 7680/1983 são válidos para concretos com massa específica de

1600 kg/m<sup>3</sup> a 3200 kg/m<sup>3</sup> rompidos secos em equilíbrio com o ambiente ou úmido. A ASTM C 42/2003 é mais abrangente relatando que os fatores de correção dependem da condição de umidade, do módulo de elasticidade e do nível de resistência, sendo seus fatores de correção aplicáveis a concretos de peso normal e leve com uma massa específica entre 1600 kg/m<sup>3</sup> e 1920 kg/m<sup>3</sup>, válidos para testemunhos rompidos secos ou úmidos com resistência compreendida de 14 MPa a 42 MPa. Tanto a NBR 7680/1983 quanto a ASTM C 42/2003 permitem fazer interpolação determinando fatores de correção para a razão h/d não indicados, desde que a esbeltez procurada esteja compreendida entre dois e um.

Na Tabela 2.3, no final deste subitem, apresenta-se alguns coeficientes de correção para o efeito da relação h/d propostos por diferentes normas e pesquisadores. Observando, então, a Tabela 2.3 verifica-se que há uma pequena variabilidade entre os fatores de correção para a razão h/d publicados nas várias edições da ASTM C 42, de acordo com o artigo de BARTLETT e MACGREGOR (1994b) esta variabilidade é consequência das condições de umidade em que os testemunhos são testados. Portanto, o ACI 214.4R/2003 indica expressões para corrigir a razão h/d diferente de dois, as quais dependem da condição de umidade no instante do ensaio à compressão e das dimensões dos testemunhos, veja as expressões:

$$F_1 := 1 - (0.130 - \alpha \cdot f_{\text{core}}) \cdot \left(2 - \frac{h}{d}\right)^2 \quad \text{Equação 2.1}$$

$$F_2 := 1 - (0.117 - \alpha \cdot f_{\text{core}}) \cdot \left(2 - \frac{h}{d}\right)^2 \quad \text{Equação 2.2}$$

$$F_3 := 1 - (0.144 - \alpha \cdot f_{\text{core}}) \cdot \left(2 - \frac{h}{d}\right)^2 \quad \text{Equação 2.3}$$

Onde:

F<sub>1</sub>= Fator de correção para a relação h/d quando os testemunhos tiverem sido testados na condição em que foram recebidos, segundo a ASTM C 42/C 42M;

F<sub>2</sub>= de correção para a relação h/d quando os testemunhos tiverem sido testados após saturação de 48 horas, segundo a ASTM C 42/C 42M;

F<sub>3</sub>= de correção para a relação h/d quando os testemunhos tiverem sido testados após a secagem ao ar, segundo a ASTM C 42/C 42M;

$\alpha$ = Constante igual a  $3 \times 10^{-3}$  para resistência em psi ou  $4,3 \times 10^{-4}$  para resistência em MPa;

$f_{core}$ = Resistência à compressão obtida com o ensaio de testemunhos;

$h$ = Altura dos testemunhos em mm;

$d$ = Diâmetro dos testemunhos em mm.

Assim, a razão  $h/d$  dos testemunhos depende do diâmetro possível de se extrair, enquanto que os fatores de correção para a razão,  $h/d$ , diferente e menor que dois dependem do nível de resistência do concreto, da condição de umidade na qual os testemunhos encontram-se no instante do ensaio à compressão, do nível de resistência e do módulo de elasticidade.

Tabela 2.3- Fatores de correção da relação altura diâmetro h/d.

Fonte	Razão altura diâmetro (h/d)							
	$\geq 2,01$	2,00	1,75	1,50	1,25	1,00	0,75	0,50
NBR 7680/83	Não é permitido	1,00	0,97	0,93	0,89	0,83	0,70	0,50
ASTM C 42-27	-	1,00	0,98	0,95	0,94	0,85	-	-
ASTM C 42-49	-	1,00	0,98	0,96	0,94	0,85	-	-
ASTM C 42-61	-	1,00	0,98	0,96	0,94	0,89	-	-
ASTM C 42-68	-	1,00	0,99	0,97	0,94	0,91	-	-
ASTM C 42-77, 90, 99 e 2003	-	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	-	-
Bs 1881:parte 120:1983**	-	1,00	0,97	0,92	0,87	0,80	-	-
Bauer	-	1,00	0,98	0,96	0,92	0,88	-	-
Petrucci*	-	1,00	0,98	0,96	0,94	0,85	0,70	0,70
Neville*	-	1,00	0,97	0,93	0,90	0,85	-	-
Tobio*	-	1,00	1,00	0,97	0,91	0,87	-	-
Petersons*	-	1,00	0,97	0,95	0,89	0,83	0,77	0,71
Bungey*	-	1,00	-	-	-	0,77	-	-
Sangha&Dhir*	-	1,00	-	0,95	-	0,83	-	-
BS 1881*	-	1,00	0,97	0,92	0,87	0,80	-	-
UNE 83302*	-	1,00	0,98	0,96	0,94	0,90	-	-
JIS A1106*	-	1,00	0,98	0,96	0,94	0,89	-	-
Desvio padrão	-	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,12
Média	-	1,00	0,98	0,95	0,92	0,85	0,72	0,64

Fontes: \* Pesquisadores citados por CREMONINI (1994) e \*\* Pesquisadores citados por NEVILLE (1997).

### C. Influência da Presença de Armaduras nos Testemunhos

Os testemunhos quando extraídos com o objetivo principal da obtenção da resistência à compressão devem de preferência ser retirados dos elementos estruturais sem os pedaços das armaduras que são utilizadas para aumentar a capacidade resistente do concreto. A presença de armadura nas amostras pode ocasionar variações nos resultados obtidos com os ensaios de resistência à compressão e fraturas em função da vibração provocada pelo equipamento de extração.

De acordo com, ACI 214.4R/2003, CREMONINI (1994) e CÁNOVAS (1988) para evitar a presença de armaduras nos testemunhos antes da extração recomendam-se fazer uma inspeção nos projetos estruturais, na ausência dos projetos pode ser feita uma escarificação ou uma investigação utilizando pacômetro identificando, assim, o posicionamento, o diâmetro e a direção destas barras nos elementos estruturais.

Segundo a NBR 7680/1983 os testemunhos devem ser íntegros e não conter materiais estranhos ao concreto, tais como pedaços de madeira e barras de aço e, se durante a extração for notada a presença de armaduras, a pressão, a vibração e a velocidade do equipamento de extração deverão ser reduzidas. Para esta norma, os testemunhos que contiverem armaduras na direção ortogonal ao eixo da amostra podem ser testados, mas a área da barra não deverá ultrapassar a 4% do diâmetro do testemunho.

A prEN 12504-1/1999 e o ACI 214.4R/2003 recomendam que os testemunhos destinados ao ensaio de resistência à compressão não devem conter barras de aço em seu interior. A ASTM C 42/2003 limita-se a recomendar que as amostras danificadas durante a extração não devem ser usadas a menos que a porção danificada seja removida.

Dentre as normas consultadas por CREMONINI (1994) e por GONÇALVES (1994) apenas a BS 1881 recomenda fatores de correção para testemunhos testados à compressão com barras de aço contidas em seu interior. Tais fatores são determinados através de expressões que dependem da dimensão e do número de barras contidas em cada testemunho, veja:

Para o caso de uma barra contida no interior do testemunho:

$$f_{corr} = f_c \left\{ 1 + 1,5 \cdot \left[ \frac{(\phi_r \cdot h)}{(\phi_c \cdot l)} \right] \right\} \quad \text{Equação 2.4}$$

Para o caso de várias barras contidas no interior do testemunho:

$$f_{corr} = f_c \left\{ 1 + 1,5 \cdot \sum_n \left[ \frac{(\phi_r \cdot h)}{(\phi_c \cdot l)} \right] \right\} \quad \text{Equação 2.5}$$

Onde:

$f_{corr}$  = Resistência corrigida;

$f_c$  = resistência do testemunho;

$\phi_r$  = diâmetro da barra de aço;

$h$  = menor distância do eixo da barra à face paralela do testemunho;

$\phi_c$  = diâmetro do testemunho;

$l$  = comprimento do testemunho;

$n$  = número de barras.

A Tabela 2.4 a seguir apresenta de forma resumida as recomendações de alguns pesquisadores em relação à presença de armaduras nos ensaios à compressão com testemunhos.

Tabela 2.4- Recomendações quanto à presença de armaduras nos testemunhos.

Fonte	Recomendações para testemunhos quanto a presença de armaduras
<b>Petersons*</b>	A presença de armaduras transversais nos testemunhos ocasionam uma redução na resistência em torno de 4%, não considerando este valor significativo para o cálculo da resistência.
<b>Lewandowski*</b>	Para uma taxa de 0 a 3,4% de armadura nos testemunhos uma redução na resistência em torno de 3%
<b>Bartlett e MacGregor</b>	A resistência do testemunho é reduzida em 8% se houver uma barra presente dentro do testemunho e se houver duas barras a resistência é reduzida em 13%.
<b>Tay e Tam</b>	Ao longo do comprimento dos testemunhos não deve existir armaduras.
<b>Bellander e Petersons***</b>	Despreza o efeito da presença de armaduras perpendiculares ao eixo dos testemunhos, por considerar que a redução média das resistências não ultrapassa a 4%.
<b>Malhotra e Loo**</b>	Relatam alguns ensaios em que a resistência dos testemunhos não sofreu redução, e outros que a redução variou de 8% a 18%, sendo a redução maior com valores da razão altura diâmetro igual a dois do que para valores menores dessa mesma razão.

Fontes: \*Autores citados por CREMONINI (1994), \*\* Autores citados por NEVILLE (1997) e \*\*\*Autores citados por GONÇALVES (1994).

Constata-se, portanto, que entre as normas e os pesquisadores há concordância apenas quanto à recomendação de evitar o ensaio à compressão de amostras com barras

de aço e no caso da impossibilidade de realizar extração sem pedaços de barras de aço a amostra só poderá ser ensaiada à compressão se a barra estiver com seu eixo no sentido ortogonal ao eixo do testemunho, ou seja, não se admite barra com seu eixo paralelo ao eixo do testemunho.

#### D. Condição de Umidade dos Testemunhos

O equipamento para a extração do testemunho, normalmente, é resfriado a água deixando os testemunhos superficialmente úmidos, além disto, os testemunhos entram em contato com a água quando tem suas extremidades aparadas com o objetivo de regularizar a superfície e/ou obtenção de uma esbeltez exigida. Porém, o interior dos testemunhos pode estar seco ou úmido, esta condição depende de como os elementos dos quais estas amostras foram retiradas encontram-se em serviço. Assim, devido aos processos de extração e preparação das amostras a umidade imediatamente após a extração é maior que a umidade do concreto em sito, BARTLETT e MACGREGOR (1994c). Desta forma, definir a umidade em uma amostra é difícil, pois a umidade pode variar de maneira uniforme ou não uniforme ao longo do volume da amostra influenciando a sua resistência.

De acordo com, CREMONINI (1994) a relação entre as resistências obtidas em amostras rompidas secas e saturadas é a variável de estudo de diversos pesquisadores, onde eles obtêm relações entre a resistência seca e saturada que varia de 1,05 a 1,25, ver Tabela 2.5 a seguir.

Tabela 2.5- Relação entre a resistência de testemunhos testados secos e saturados.

Pesquisador	Relação $f_{seco}/f_{saturado}$
Butcher, apud Neville*	1,05 a 1,10
Petersons*	1,20
Ortiz e Diaz*	1,20
Liniers*	1,20
Bloem*	1,10 a 1,25
Calavera*	1,10 a 1,15
Kasay e Matui*	1,08
Bartlett e MacGregor (1994c)	1,09 a 1,14

Fonte: \* Pesquisadores citados por CREMONINI (1994).



BARTLETT e MACGREGOR (1994c) estudaram as diferenças entre as condições de umidade em que os testemunhos são submetidos antes de ser testados à compressão, o estudo foi feito através da análise de regressão nos dados dos testemunhos obtidos por BLOEM, ALCA e em um outro estudo feito por BARTLETT e MACGREGOR. De maneira geral, os testemunhos foram submetidos aos seguintes tratamentos antes de ser testados: saturação em água por 2 dias, secagem ao ar por 7 dias, e deixado ao ar por 3 horas após a extração. Analisando-se, então, cada tratamento verificou-se que a saturação causa uma expansão da superfície da amostra, enquanto que, a secagem ao ar causa a retração da superfície da amostra. No entanto, os períodos de saturação e de secagem não mudam uniformemente a umidade no interior da amostra, assim, o interior contém a expansão e a retração superficial gerando tensões residuais no testemunho que interferem nos resultados obtidos com o ensaio de resistência à compressão. Ou seja, a interferência da umidade na resistência é atribuída ao gradiente de umidade entre o interior e exterior dos testemunhos, já que os períodos de secagem e saturação são curtos. Portanto, quantificaram que devido ao gradiente de umidade testemunhos secos ao ar são 14% mais resistentes que os testemunhos saturados por pelo menos 40 horas antes de ser testados à compressão, isto para concretos com resistência entre 15 MPa e 92 MPa.

A norma brasileira, a NBR 7680/1983, recomenda que quando o concreto da estrutura avaliada não tiver possibilidades de entrar em contato com água, após a preparação das extremidades as amostras deverão ficar por no mínimo 48 horas antes de serem testadas submetidas à temperatura de  $23\pm 3^{\circ}\text{C}$  e a umidade relativa acima de 50%. Caso o concreto esteja ou venha ficar em contato com água, após a preparação das extremidades os testemunhos deverão ser submersos em água saturada com cal, por aproximadamente 48 horas, a temperatura de  $23\pm 3^{\circ}\text{C}$  antes de serem testados à compressão.

A prEN 1504-1/1999 limita-se a recomendar que a condição de umidade seca ou úmida do testemunho no instante do teste deve ser informada.

Segundo BARTLETT e MACGREGOR (1994c), a ASTM C 42 desde a versão de 1927 até a versão de 1990 recomendava à saturação testemunhos por pelo menos 40 horas antes de ser testados, já na versão da ASTM C 42/1999 quando o concreto em serviço não era submetido à umidade às amostras após a extração poderiam ser testadas na “condição seca” após a secagem ao ar por 7 dias, caso fosse necessário testar os testemunhos na “condição em que recebidos” após a extração e corte das

extremidades as amostras deveriam ser secas ao ar por um período de 12 a 24 horas e, então, direcionados ao teste de compressão. No entanto, na versão da ASTM C 42/2003 recomenda-se à colocação dos testemunhos em no máximo 1 hora após a extração em sacolas ou recipientes não absorventes lacrados para prevenir a perda de umidade das amostras, mantendo-as protegidas da exposição direta da luz do sol e à temperatura ambiente, transportando-as ao teste laboratorial assim que viável. Os testemunhos deverão ser mantidos nas sacolas ou nos recipientes não absorventes podendo ser retirados apenas para a preparação das extremidades, a qual deverá acontecer até dois dias após a extração, sendo, então, novamente protegidas nas sacolas ou nos recipientes não absorventes dos quais foram retiradas e, assim, mantidas por pelo menos 5 dias antes de serem testadas. A ASTM C 42/2003 permite que o responsável pelos procedimentos de extração, preparação e teste dos testemunhos faça modificações em suas recomendações.

O ACI 214.4R/2003, baseado nos estudos de BARTLETT e MACGREGOR (1994a, 1994c e 1995), recomenda coeficientes de correção de 1.0 e de 0.96, respectivamente, para a resistência de testemunhos testados como recebidos e secos ao ar, sendo estes dois tratamentos propostos pela ASTM C 42/1999. Já para as amostras saturadas 48 horas antes de serem testadas à compressão recomenda o coeficiente de correção de 1.09.

Segundo NEVILLE (2001), as discordâncias, no que se refere à condição de umidade em que as amostras deverão apresentar-se no instante do teste de resistência à compressão, entre as normas e pesquisadores são ocasionadas pelo fato de que a presença de umidade afeta a resistência aparente dos testemunhos. De forma geral, os testemunhos úmidos resultam em valores de resistências menores que a dos testemunhos secos, no entanto, a diferença entre os valores de resistências obtidos com as amostras saturadas e secas é variável e incerta. NEVILLE (2001) favorece os testes de resistência à compressão dos testemunhos saturados em água por um período longo o bastante para prevenir o gradiente de umidade, isto porque este tipo de tratamento é mais fácil de ser reproduzido em outras amostras do que a condição seca, onde o grau de secura é incerto.

Então, para determinar qual tratamento é mais apropriado para submeter às amostras extraídas aos testes de compressão é necessário decidir qual a condição de umidade saturada, seca ou na condição em que recebidos, na qual os testemunhos deverão ser testados. Quando a condição escolhida for a saturada deve-se definir qual a

temperatura, a umidade relativa e o período de saturação apropriado. Caso o tratamento escolhido seja a condição seca, será necessário decidir por quanto tempo as amostras deverão ficar expostas ao ar, a que temperatura e a que umidade relativa. Quando a condição escolhida for a de testar os testemunhos como recebidos é preciso definir como a água absorvida nos processos de extração e de preparação das extremidades deverá ser eliminada e quanto tempo após a extração estas amostras deverão ser testadas. Objetivando-se, em todos os casos, a reprodutibilidade do tratamento de umidade para todas as amostras a serem testadas e a eliminação ou minimização do gradiente de umidade em cada amostra.

### **E. Influência da Direção da Extração em Relação à Concretagem**

Os corpos-de-prova cilíndricos padronizados são rompidos na mesma direção em que são moldados. No entanto, a localização, as dimensões e o tipo de elemento estrutural (laje, viga, pilar e etc.) que necessitam de avaliação, assim como, as dificuldades na fixação e as dimensões do equipamento de extração, além de outros fatores, nem sempre permitem que as extrações dos testemunhos ocorram na mesma direção da concretagem dos elementos estruturais.

Segundo NEVILLE (2001) a resistência dos testemunhos extraídos perpendicularmente à concretagem é menor que a resistência dos testemunhos extraídos na mesma direção da concretagem, ou seja, paralelamente a concretagem, devido a duas possíveis razões. A primeira é que o broqueamento com o equipamento fixado para baixo, paralelamente à concretagem, permite uma melhor fixação, enquanto que, o broqueamento com o equipamento fixado na horizontal, mas perpendicular à concretagem é mais difícil tornando inevitável uma movimentação, mesmo que discreta, do equipamento ocasionando, desta maneira, ondulações ao longo da altura da amostra e, resultando em menores resistências à compressão. A outra possível razão justificada por NEVILLE (2001) pode ser consequência da exsudação que ocorre nos membros estruturais verticais, por exemplo, pilares, onde as extrações acontecem perpendicularmente ao sentido da concretagem, devido ao aumento na razão água/cimento nas camadas mais altas do concreto colocado nestes elementos. NEVILLE (2001) recomenda, portanto, não retirar testemunhos das partes superiores dos elementos verticais.

Estudos realizados por BARTLETT e MACGREGOR (1994a) com concretos sem adições não apresentaram diferenças entre a resistência de testemunhos extraídos perpendicularmente e paralelamente à direção da concretagem. Já para concretos que continham em sua mistura adições de cinza volante ou incorporador de ar, os testemunhos com o eixo paralelo a concretagem foram 14% mais resistentes que os testemunhos extraídos perpendicularmente à direção de concretagem.

A NBR 7680/1983 e a prEN 12504-1/1999 quanto ao sentido da extração apenas recomendam que para fins de avaliação da resistência à compressão, sempre que possível, deverá ser realizada ortogonalmente à superfície do membro que necessita de avaliação com o equipamento de extração rigidamente fixado.

O ACI 437R/91 relata que é preciso reconhecer que o concreto não é um material isotrópico, ou seja, suas propriedades variam dependendo da direção em que as amostras são extraídas. Esta norma considera que deve ser dada uma atenção especial aos membros verticais, tais como, pilares, porque as propriedades do concreto nestes membros variam com a altura, devido ao lançamento, compactação, segregação e exsudação.

A ASTM C 42/2003, baseada no artigo de NEVILLE (2001), comenta que a resistência do testemunho é afetada pela orientação da extração em relação ao plano de concretagem do membro a ser avaliado, com a resistência tendendo a ser menor quando medida em testemunhos retirados horizontalmente de membros verticais devendo, então, ser preferencialmente retirados à metade da altura destes elementos estruturais. Além disto, recomenda que os testemunhos sejam extraídos preferencialmente perpendiculares à superfície do elemento estrutural a ser avaliado, evitando-se as juntas de concretagem. Esta norma recomenda ainda que o responsável técnico pelo ensaio informe o ângulo aproximado formado entre o eixo longitudinal dos testemunhos e a direção da aplicação da carga na amostra em relação ao plano horizontal do lançamento do concreto no membro estrutural do qual o testemunho foi extraído.

O ACI 214.4R/2003 cita as considerações da ASTM C 42/1999 acrescentando que para avaliar se a resistência é afetada pela direção do broqueamento em relação à direção da concretagem, deve-se quando possível ensaiar amostras extraídas em diferentes posições da estrutura em questão.

A Tabela 2.6 a seguir apresenta a relação entre resistência à compressão de testemunhos extraídos paralelamente e perpendicularmente a direção de concretagem

dos elementos estruturais dos quais foram retirados, mostra-se na referida tabela que esta relação variou de 1,02 a 1,12.

Tabela 2.6-Relação entre a resistência dos testemunhos extraídos paralelamente e perpendicularmente à direção da concretagem.

Fonte	Relação $f_c$ Paralelo/ $f_c$ Normal
Petersons(1964)**	1,10
Petersons(1971)*	1,12
Petersons(1973)**	1,03
Liniers(1974)*	1,05
Concrete Society(1976)**	1,08
Meininger(1977)*	1,07
Bungey(1979)**	1,09
Kasai & Matui(1979)*	1,04
Neville(1982)*	1,08
BS 1881(1983)*	1,08
Munday & Dhir(1984)*	1,05 a 1,11
Gonçalves(1987)	>1,02
Cánovas(1988)	1,05 a 1,08
BS 6089:1981***	1,087

Fontes: \* Autores citados por CREMONINI (1994), \*\* Autor citado por GONÇALVES (1994) e \*\*\* Citado por NEVILLE (2001).

Desta forma, verifica-se que não há consenso quanto às razões ou se há ou não interferência nos resultados da resistência obtida com testemunhos extraídos paralelamente ou perpendicularmente ao sentido da concretagem do membro estrutural a ser avaliado. No entanto, há consenso que: o equipamento deve estar bem fixado, as amostras não devem ser retiradas de partes não representativas dos elementos estruturais que apresentam características localizadas de exsudação e segregação, e no caso da comparação entre as resistências de testemunhos e corpos-de-prova padronizados dar-se preferência a testemunhos retirados no mesmo sentido da concretagem.

## F. Influência do Equipamento de Extração

Nos testemunhos a vibração do equipamento de extração pode causar microfissuras que enfraquecem a ligação entre o agregado graúdo e a argamassa. Além disso, em função da ação do broqueamento, o agregado encontra-se exposto podendo

ser expelido no ensaio à compressão, portanto, GUTSCHOW E MOLIN (2001) denominam, então, a influência devido à ausência de argamassa de “efeito parede”, já que nos corpos-de-prova padronizados existe a argamassa nas superfícies externas cobrindo o agregado graúdo, ver

Figura 2.1- Diferença entre superfície do testemunho (1) e a superfície do corpo-de-prova padronizado (2). 22

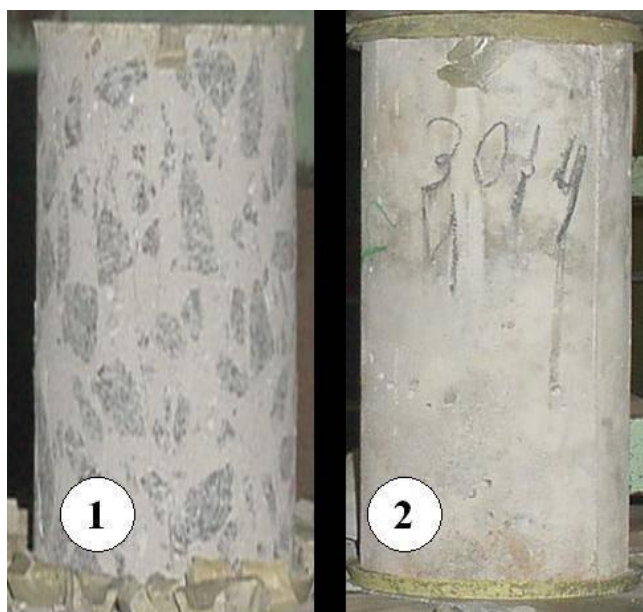


Figura 2.1- Diferença entre a superfície do testemunho (1) e a superfície do corpo-de-prova padronizado (2).

Como o processo de extração pode causar danos variáveis ao concreto, GUTSCHOW E MOLIN (2001) consideram que um teor de agregado constante é de especial importância, já que estes danos dependem da quantidade de agregado graúdo e da dureza da pasta a ser cortada pela broca.

NEVILLE (2001) admite que a resistência dos testemunhos seja mais variável que a dos corpos-de-prova padronizados. Mesmo quando a extração é cuidadosamente executada e planejada o broqueamento causa um enfraquecimento entre as partículas do agregado graúdo que ficam próximos às faces dos testemunhos, e podem ainda ocorrer microfissuras em função deste efeito dinâmico da extratora. Então, NEVILLE (2001) recomenda que sempre que possível deve-se testar mais de um testemunho.

GONÇALVES (1994) afirma que os testemunhos apresentam uma zona superficial perturbada em consequência da ação do corte, considera que a quantificação

desta ação é difícil, citando que a Concrete Society sugere que esta ação ocasiona uma redução na resistência em torno de 6%, dependendo da dimensão da amostra extraída.

BARTLETT (1997) indica uma expressão que determina em função do diâmetro do testemunho o dano relativo ao processo de extração capaz de afetar o resultado da resistência à compressão da amostra, esta expressão é:

$$F_d := \left( 1 - \frac{0.2265}{d} \right)^{-1} \quad \text{Equação 2.6}$$

Na Equação 2.6  $F_d$  corresponde ao fator de correção para resistência à compressão obtida com testemunhos com diâmetro  $d$  em polegadas. Por exemplo, para um testemunho extraído com um diâmetro de 10 cm ou 4 in, a resistência resultante desta amostra, de acordo com a referida expressão, deverá ser multiplicada pelo fator  $F_d$  de aproximadamente de 1,06. Porém, este autor relata, neste mesmo artigo, que os estudos de BLOEM com testemunhos de 4 polegadas de diâmetro resultaram em um fator de correção igual a 1.045, diferente do valor de 1.06 que seria obtido com o uso da Equação 2.6. Apesar disto, o ACI 214.4R/2003 baseia-se neste artigo de BARTLETT (1997) prescrevendo que o broqueamento interfere no resultado de resistência à compressão dos testemunhos, com 4 polegadas de diâmetro, reduzindo-a em torno de 6%, considerando necessário à aplicação deste valor na conversão da resistência obtida com os testemunhos.

A NBR 7680/1983 e a prEN 12504-1/1999 limitam-se a recomendar cuidados na fixação do equipamento de extração, com o objetivo de não causar vibrações que possam danificar os testemunhos.

A ASTM C 42/2003 recomenda que no instante da extração o concreto deva estar com resistência suficiente para não ter a união entre o agregado graúdo e argamassa enfraquecida. Para tanto, recomenda que as extrações aconteçam após 14 dias da concretagem do elemento estrutural, lembrando que o crescimento da resistência a qualquer idade depende dos processos de cura e do nível de resistência. No caso do broqueamento causar danos à amostra esta só deverá ser utilizada se a porção danificada for removida sem deixar de atender às prescrições relativas à razão altura diâmetro.

O ACI 214.4R/2003 recomenda que a resistência do testemunho seja corrigida multiplicando-a pelo fator de correção de 1.06, considerando que este fator cobre o dano

devido ao broqueamento, as microfissuras e o corte do agregado que poderá ser expelido durante o ensaio à compressão.

### **2.2.1.2 Considerações sobre o Método Destrutivo de Extração de Testemunhos**

Conforme comentado nos itens anteriores, apesar do método de extração de testemunhos ser afetado por muitos fatores, este método é considerado bastante confiável, pois permite a quantificação direta da resistência à compressão. Além disso, ao retirar as amostras pode-se inspecionar o interior do elemento estrutural. É importante relatar que a confiabilidade dos resultados aumenta de acordo com o aumento do número de amostras extraídas, mas, com isto, aumentam-se os custos e os riscos de debilitar o membro que necessita de avaliação, NEVILLE (2001) e ACI 214.4R/2003. No entanto, para obtenção de resultados seguros deve-se cuidadosamente planejar e executar a extração, o armazenamento, o transporte e o ensaio à compressão das amostras, assim como, interpretar corretamente os resultados obtidos.

Desta forma, observando-se as vantagens do método de extração de testemunhos e verificando-se que apenas o ACI 214.4R/2003 e o Concrete Society sugerem que a resistência à compressão, quando obtida através do ensaio com testemunhos, deve ser multiplicada por um coeficiente de correção de 1.06, para eliminar os danos que as ações de broqueamento e corte das extremidades causa as amostras extraídas.

Decidiu-se, portanto, neste estudo experimental, avaliar no método de extração de testemunho os efeitos dos processos de broqueamento e corte das extremidades na resistência à compressão das amostras extraídas. Para tanto, nos capítulos subsequentes, serão comentadas as metodologias estatísticas necessária a uma análise consistente dos resultados a serem obtidos, assim como, também será descrito o programa experimental de moldagem, extração, preparação e ensaio à compressão das amostras; tudo com o objetivo de quantificar se os processos de broqueamento e retificação das extremidades afetam a resistência à compressão obtida através de testemunhos.



### **3. METODOLOGIA ESTATÍSTICA**

#### **3.1 INTRODUÇÃO**

Este capítulo apresenta os procedimentos estatísticos utilizados nesta pesquisa com a finalidade de auxiliar a análise dos resultados obtidos através dos ensaios à compressão de testemunhos. A utilização de técnicas estatísticas nesta pesquisa tem a finalidade de validar os resultados da resistência à compressão obtidos através do ensaio de testemunhos já que estes são influenciados por diversos fatores.

Dentre as normas consultadas apenas o ACI 214.4R/2003 e o Concrete Society, consideram que a resistência à compressão medida através de testemunhos seja afetada pelos processos de broqueamento e corte das extremidades. Prescrevem que esta propriedade quando obtida através de testemunhos seja multiplicada por 1.06 para, assim, corrigir os efeitos gerados durante a extração que são: o corte das partículas dos agregados, as microfissuras e as ondulações ao longo da altura destas amostras e etc. Assim, esta pesquisa busca determinar, experimentalmente, apenas se o broqueamento e o corte das extremidades interferem nos resultados dos testemunhos extraídos e ensaiados com razão altura diâmetro igual ou menor que dois retirados paralelamente e normal à direção de concretagem do elemento estrutural dos quais foram obtidos.

De acordo com o ACI 214.4R/2003 através da utilização de técnicas de análises estatísticas é possível fazer comparações entre as resistências médias de amostras submetidas a diferentes procedimentos experimentais. Com o uso destas técnicas é possível verificar se a diferença entre os resultados médios dos conjuntos de resistência comparados deve-se à aleatoriedade dos dados ou à significância das variáveis focalizadas no plano experimental prévio.

Desta maneira, para determinar experimentalmente os efeitos do broqueamento na resistência dos testemunhos é necessário comparar os resumos estatísticos encontrados através dos os ensaios realizados com os conjuntos de amostras extraídas a valores de referência, ou seja, a valores de resistência à compressão obtidos a partir de amostras não afetadas pelos processos de broqueamento e corte das extremidades.

Dentre as normas consultadas de extração, preparo e ensaio de testemunhos o ACI 214.4R/2003 é o padrão mais atual a considerar e a corrigir os efeitos dos processos de broqueamento e corte das extremidades na resistência determinada com testemunhos. Além disto, este padrão prescreve e exemplifica cuidados e técnicas estatísticas que auxiliam no planejamento experimental e na análise dos resultados, por estas razões esta pesquisa irá se basear em suas prescrições.

Portanto, nesta seção, serão comentadas as técnicas e conceitos estatísticos seguidos para: auxiliar o planejamento experimental, analisar e comparar os resultados de resistência à compressão do concreto obtido através do ensaio realizado com os corpos-de-prova referência e com os corpos-de-prova extraídos buscando atender, desta maneira, ao objetivo desta pesquisa, ou seja, determinar se os processos de broqueamento e corte das extremidades influenciam a resistência à compressão dos testemunhos com diferentes razões altura diâmetro.

### **3.2 INFLUÊNCIA DO TAMANHO DA AMOSTRAGEM NA ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Para o bom planejamento experimental é fundamental definir previamente a quantidade de amostras que irá compor cada lote a ser moldado, ensaiado e analisado, pois, segundo NEVILLE (2001) e o ACI 214.4R/2003, a acurácia dos resultados de resistência à compressão cresce à medida que o número de amostras testadas aumenta, mas isto, gera maiores custos com a obtenção, preparo e ensaio das mesmas. Além disto, os resultados dos testes, normalmente, são analisados através de métodos estatísticos.

No entanto, a escolha do método de análise mais adequado dependerá da quantidade de exemplares testados, bem como, das hipóteses ou suposições formuladas sobre a característica medida, as quais apesar de facilitarem a interpretação e o julgamento dos resultados, também dependem do número de exemplares testados; já que a aceitação ou a rejeição de uma hipótese envolve erros, ou seja, pode acontecer de rejeitarmos uma hipótese que deveria ser aceita (erro do tipo I) ou de aceitarmos uma hipótese que deveria ser rejeitada (erro do tipo II). Porém, segundo SPIEGEL (1978), BUSSAB e MORETIN (1987) e ACI 214R/2002, estes erros são minimizados

simultaneamente quando a quantidade de amostras pertencentes ao conjunto de dados da característica medida é aumentada.

Desta maneira, a definição do número de amostras que irá compor cada lote deve atender aos recursos financeiros disponíveis, assim como, a acurácia necessária para atender ao objetivo do estudo; tornando, então, as afirmações em relação às características analisadas através dos métodos estatísticos de análise dos resultados mais confiáveis, ASTM E 122/2002 e ACI 214.4R/2003. Porém, é importante ressaltar que os métodos de análise estatística devem ser escolhidos de acordo com o tipo de distribuição que o conjunto de dados segue. O ACI 214R/2002, por exemplo, citaram estudos de COOK (1982), que segundo esta norma revelaram que os dados de resistência à compressão podem ser analisados estatisticamente considerando-os normalmente distribuídos, desde que a resistência média não seja superior a 70 MPa. Da mesma forma, MIRZA, HATZINIKOLAS E MACGREGOR (1979) são citados no ACI 214.4R/2003 como exemplo de pesquisadores que têm consenso quanto a adotar que as resistências do concreto seguem uma distribuição normal de probabilidades. Os estatísticos BUSSAB e MORETTIN (1987), por sua vez, afirmam que uma amostragem formada por pelo menos 30 exemplares pode ser tratada como normalmente distribuída; tal afirmação baseia-se no teorema do limite central e na teoria das grandes amostras, conceitos fundamentais da teoria da inferência estatística. BUSSAB e MORETTIN (1987) consideram que as vantagens de se aproximar à distribuição amostral de uma distribuição Normal ou de Gauss está na facilidade de se identificar no conjunto de dados os valores excessivamente altos e/ou baixos, já que este tipo de distribuição caracteriza-se por uma distribuição em forma de sino e pela simetria em torno da média.

Verificada a importância do tamanho da amostragem nos custos, na escolha e na acurácia dos métodos estatísticos de análise dos resultados definiu-se que cada lote, necessário a atender o objetivo desta pesquisa, deverá ser composto de pelo menos 30 unidades e os métodos estatísticos de análise dos resultados serão escolhidos adotando-se a distribuição amostral como normalmente distribuída, já que o concreto a ser utilizado na moldagem das amostras terá resistência à compressão inferior a 70 MPa. No entanto, os constituintes do concreto, os grupos e subgrupos com suas respectivas quantidades de elementos a ser moldados e ensaiados para determinar se os processos de broqueamento e corte das extremidades influenciam a resistência à compressão do concreto quando esta propriedade é obtida através de testemunhos serão descritos detalhadamente nas seções subseqüentes desta dissertação.

### 3.3 TÉCNICAS ESTATÍSTICAS PARA ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após definir a quantidade mínima de exemplares que deverá compor cada lote e a sua influência na análise dos resultados, inicia-se o planejamento e a realização dos procedimentos experimentais necessários à moldagem, preparação e ensaio das amostras, os quais serão descritos no próximo capítulo. Com o ensaio à compressão das amostras, obtêm-se os resultados da variável estudada; porém, não basta obter os resultados, tem-se que interpretá-los já que o ensaio de resistência à compressão, assim como, o método de extração de testemunhos é afetado por diversos fatores. Desta forma, para auxiliar na difícil tarefa de interpretação dos resultados é comum utilizar técnicas estatísticas, mas, segundo o ACI 214.4R/2003 e NEVILLE (2001), a utilização das técnicas estatísticas na análise dos resultados só é eficiente se o investigador compreende a essência física da metodologia experimental utilizada.

O ACI 214.4R/2003, visando facilitar a interpretação dos resultados, recomenda que seja feita previamente uma revisão bibliográfica sobre os processos em que as amostras serão submetidas para atender ao objetivo da investigação. Além disso, recomenda que sejam feitas anotações durante a execução de cada processo e que estas anotações sejam revistas antes dos resultados serem analisados através das técnicas estatísticas. Em outras palavras, o ACI recomenda que ao se analisar um lote de dados deve-se inicialmente investigar se o resultado obtido com cada amostra que o compõe é consistente com os demais, ou seja, investigar se há no lote valores suspeitos, “*outliers*”, isto é feito investigando-se as anotações feitas e realizando-se testes estatísticos. Por conseguinte, este padrão indica que as informações do lote sejam sumarizadas através do cálculo dos parâmetros estatísticos, o que consiste no cálculo da média, do desvio padrão, da variância, etc. Além disto, no caso desta pesquisa, será necessário comparar os valores dos parâmetros estatísticos obtidos com os testemunhos aos valores dos parâmetros estatísticos obtidos com amostras de referência a fim de avaliar se a diferença entre estes parâmetros ocorre devido à aleatoriedade dos dados ou devido à influência dos processos aos quais foram submetidos. Para as comparações entre os resultados dos lotes o ACI recomenda a realização dos testes estatísticos *F* (ANOVA) e *t Student* os quais se referem, respectivamente, a comparação entre a variância dos lotes e a comparação entre a média dos lotes.

Conforme foi dito anteriormente, o ACI é uma das normas mais atuais no que se refere ao ensaio de testemunhos, por esta razão, nesta pesquisa as análises dos resultados serão, em sua maior parte, baseadas nesta norma. Nos próximos subitens, deste capítulo, serão comentados os conceitos relativos às técnicas estatísticas de análise adotadas para resumir as informações sobre os lotes moldados e ensaiados. Serão também descritas as técnicas estatísticas adotadas para compará-los entre si, concluindo se as diferenças observadas são devidas à aleatoriedade dos dados ou devido as variáveis focalizadas no plano experimental.

### 3.3.1 CONCEITOS ESTATÍSTICOS

Os parâmetros estatísticos ou a estatística do lote refere-se às informações resumidas em relação ao conjunto de dados e consistem, por exemplo, no cálculo da média, do desvio padrão, da variância e etc., sendo estes parâmetros considerados durante a investigação dos valores discrepantes, “*outliers*”, ou seja, durante a realização do teste *F* e do teste *t de Student*. Portanto, a importância de se calcular a estatística de cada lote está no fato de que estes parâmetros resumem as informações sobre o conjunto de dados e neles baseiam-se às afirmações a respeito do foco da pesquisa, neste caso, a respeito da influência dos processos de broqueamento e corte das extremidades na resistência dos testemunhos.

Desta forma, os conceitos dos parâmetros estatísticos, assim como, os conceitos dos testes utilizados para investigar se o efeito do broqueamento e do corte das extremidades afetam a resistência dos testemunhos são:

- Contagem ( $n$ ) => Quantidade de amostras que compõe o lote;
- Mínimo => Menor valor obtido dentro do conjunto de observações;
- Máximo => Maior valor obtido dentro do conjunto de observações;
- Média do lote ( $\mu$ ) => Esta medida de posição consiste na soma dos valores

obtido em cada amostra ( $x_i$ ) contida no lote dividida pela contagem dos  $n$  elementos que compõe o lote;

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Equação 3.1

- Variância do lote ( $s^2$ ) => Informa a variabilidade do conjunto de valores medindo a concentração dos dados em torno da média, permitindo, com isto, comparar diferentes conjuntos de valores em relação a algum processo ou a algum critério pré-estabelecido. A variância é calculada como a média dos quadrados das diferenças entre os valores individuais e a sua média, ou ainda como o quadrado do desvio padrão, ver equação abaixo:

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n - 1} \quad \text{Equação 3.2}$$

- Desvio padrão ( $s$ ) => É uma medida de dispersão dos dados, avaliando a distância de cada dado em relação à média do conjunto de dados, é definido como a raiz quadrada positiva da variância, ou seja:

$$s = \sqrt{s^2} \quad \text{Equação 3.3}$$

- Coeficiente de variação ( $\delta$ ) => Este parâmetro expressa o desvio padrão do conjunto de dados como uma porcentagem da média, sendo menos afetado pelo nível de resistência que o desvio padrão, veja:

$$\delta = \frac{s}{\mu} \times 100 \quad \text{Equação 3.4}$$

- Nível de significância ( $\alpha$ ) => O nível de significância deve ser pré-estabelecido antes da realização de qualquer teste estatístico e refere-se a uma porcentagem na qual podemos cometer o erro de rejeitarmos uma hipótese que deveria ter sido aceita, por exemplo, digamos que seja estabelecido previamente um nível de significância de 5%, isto significa que teremos 5 chances em 100 de rejeitarmos uma hipótese quando na verdade ela deveria ser aceita, ou seja, podemos ter 95% de confiança em que tenhamos tomado a decisão correta, diríamos, então, que a hipótese foi *rejeitada ao nível de significância de 5%*, o que significa que podemos ter errado com uma probabilidade de 5%.

- *Outliers*- Este termo refere-se a possível presença de valores duvidosos dentro do conjunto de dados, os quais interferem na qualidade do cálculo dos

parâmetros estatísticos acima citados, bem como, prejudicam a realização dos testes estatísticos que visam facilitar a interpretação dos resultados.

- ANOVA- Refere-se à análise da variância e consiste na realização de procedimentos estatísticos para fazer inferências sobre as populações com base nas informações das amostras. Isto é feito através da comparação das variâncias dentro de cada conjunto de dados e entre os conjuntos de dados. A técnica da análise da variância foi elaborada por Fisher Snedecor e baseia-se em sua distribuição, a qual é chamada de distribuição *F*. Para a realização desta técnica compara-se um *F calculado* (ver Equação 3.5) a um *F tabelado* (Encontrado usualmente em livros de estatística), e se o *F calculado* for maior que o *F tabelado* diz-se que as variâncias dos conjuntos comparados não podem ser consideradas iguais.

$$F_{calculado} = \frac{S_A^2}{S_B^2} \quad \text{Equação 3.5}$$

- Teste *t de Student* - Este teste, segundo o ACI 214.4R/2003, verifica a hipótese de igualdade entre as médias de dois conjuntos de dados definidos previamente como normalmente distribuídos. No entanto, as equações definidas para este teste, geralmente, são escolhidas após ser realizado o teste *F*, ou seja, após definir se as variâncias dos dois conjuntos de dados a serem comparados podem ser ditas iguais ou diferentes, pois com isto pode-se aplicar o teste *t de Student* para variâncias diferentes ou teste *t de Student* para variâncias iguais, as equações para cada caso serão mostradas mais adiante. Com a realização do teste *t de Student* pode-se avaliar se as variáveis focalizadas no plano experimental, as quais diferenciam os lotes a ser comparados, exercem influências significativas nos mesmos.

Nesta seção foram definidos os parâmetros estatísticos e explicados de forma sucinta os métodos estatísticos a ser aplicados com o objetivo de facilitar a análise e a interpretação dos resultados. Porém, nos próximos itens serão apresentados com maiores detalhes os métodos estatísticos a serem utilizados, nesta pesquisa, para investigar se nos conjuntos de dados há valores suspeitos, para avaliar a variância e a média dos conjuntos que serão comparados entre si, tudo a fim de atendermos ao objetivo da pesquisa.

### 3.3.2 IDENTIFICAÇÃO NOS CONJUNTOS DE DADOS DE VALORES SUSPEITOS OU “*OUTLIERS*”

Quando as observações que compõem um lote de amostras afastam-se demasiadamente das restantes, parecendo que foram obtidas de uma maneira diferente chamam-se estas observações de suspeitas, extremas, “*outliers*” etc. sendo comum à presença deste tipo de observação em um conjunto de dados, FIGUEIRA (1998).

A presença de resultados suspeitos pode ser devido a variações físicas não controladas, mas observadas durante os processos de obtenção, preparação e/ou ensaio das amostras justificando a exclusão ou a permanência destes valores no conjunto de dados a ser analisado. Assim, é fundamental fazer anotações a respeito de cada processo que as amostras forem submetidas para poder justificar a exclusão ou a permanência dos valores obtidos dentro do conjunto de dados a ser analisado. Porém, quando não forem observadas e/ou anotadas razões físicas que justifiquem a permanência de cada valor no conjunto de dados, a investigação se os valores devem ser excluídos ou mantidos no conjunto de dados poderá ser feita, segundo a ASTM E 122-2000, ACI 214.4R/2003 e NEVILLE (2001), através da utilização de vários métodos estatísticos, tais como: Box-plot, método *z*, método *z*-modificado, Teste *Dixon's*, Teste *Rosner's*, Teste *Grubb's* e, entre outros, método dos Quartis.

Desta maneira, a análise dos resultados de resistência à compressão obtida com o ensaio das amostras que compõe cada lote moldado e ensaiado neste estudo iniciará com a conferência dos valores e com a observação das anotações feitas sobre cada amostra, seguida da investigação quanto à consistência dos valores obtidos através da utilização do método estatístico dos Quartis.

O método dos Quartis foi escolhido, por basear-se em uma distribuição normal de probabilidades e por permitir investigar simultaneamente se há no conjunto de dados valores altos ou baixos que devam ser excluídos. O ACI 214.4R/2003 recomenda uma outra forma de identificação de valores suspeitos que se baseia na ASTM E 178/2002, esta forma não foi adotada por não permitir identificar simultaneamente se há valores excessivamente altos e baixos presentes nos conjuntos de dados.

Portanto, tenta-se, com revisão das anotações e com a realização de testes estatísticos, proteger as conclusões sobre a variável investigada em cada lote da influência de valores duvidosos ou suspeitos, já que a presença de tais valores altera a estatística do lote; isto é, interfere na média, no desvio-padrão, na variância etc.



### 3.3.2.1 Método Estatístico dos Quartis

Os Quartis (ou juntas  $J1$ ,  $J2$  e  $J3$ ), são valores que dividem a distribuição dos dados em quatro intervalos iguais, ver Figura 3.1- Definição do limite inferior ( $LI$ ) e do limite superior ( $LS$ ) pelo critério dos Quartis. 33. Para os dados representados pela distribuição normal 25% deles estão abaixo do valor  $J1$ , 50% estão abaixo do valor  $J2$  e 75% estão abaixo do valor  $J3$ .

A adoção deste critério para eliminar as observações discrepantes ou “*outliers*” dentro do conjunto de dados consiste, segundo BUSSAB e MORETIN (1987), em eliminar os valores abaixo do limite inferior,  $LI$ , ou acima do limite superior,  $LS$ , os quais são definidos, respectivamente, como  $LI=J1-1,5.dj$  e  $LS=J3+1,5.dj$ , onde  $dj = J3-J1$ , ou seja, os valores fora do intervalo  $[J1-1,5.dj ; J3+1,5.dj]$  são considerados discrepantes devendo ser excluídos dos conjuntos de dados.

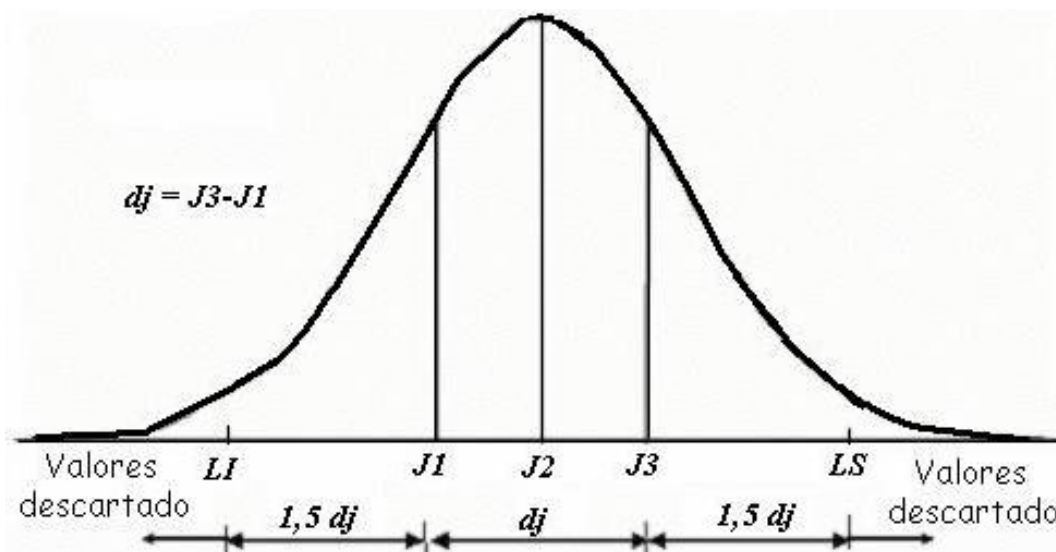


Figura 3.1- Definição do limite inferior ( $LI$ ) e do limite superior ( $LS$ ) pelo critério dos Quartis.

Portanto, após a obtenção do conjunto de valores da variável estudada e após revisar as anotações feitas sobre cada amostra, as quais podem conter razões físicas que justifiquem a exclusão de alguns valores, aplica-se ao conjunto de dados o método dos Quartis para tentar descartar valores suspeitos e que para tais não há razões físicas que justifiquem sua permanência ou exclusão no conjunto de dados. Feito isto, caso seja identificado por este método valores fora do intervalo  $[J1-1,5.dj ; J3+1,5.dj]$ , calcula-se

a nova estatística do lote, ou seja, calculam-se novamente os valores da média, do desvio padrão, do coeficiente de variação e etc. tentando, assim, evitar a presença de valores inconsistentes dentro do conjunto de dados, os quais afetam os parâmetros estatísticos e, por conseguinte, as conclusões a ser tiradas sobre o foco da pesquisa.

### 3.3.3 MÉTODOS ESTATÍSTICOS DE COMPARAÇÃO ENTRE CONJUNTOS DE DADOS

Conforme comentado nas seções anteriores, para determinar o possível dano que o broqueamento e corte das extremidades causa à resistência à compressão determinada a partir do ensaio realizado com testemunhos, com razão altura diâmetro igual e menor que dois, extraídos paralelamente e normal à direção de concretagem dos elementos estruturais dos quais são retirados, é necessário moldar amostras sob condições padronizadas para que a resistência à compressão estimada com estas amostras seja adotada como valor de referência.

Desta maneira, após investigar se nos conjuntos de dados há valores suspeitos faz-se necessário recalculá-la estatística de cada lote, comparando-os entre si através de métodos estatísticos para avaliar se as diferenças registradas por suas variâncias e por suas médias são devidas à aleatoriedade dos dados ou devidas as diferenças físicas ocasionadas durante a realização dos processos idealizados no plano experimental. No caso desta pesquisa, tem-se como objetivo principal determinar se a resistência à compressão dos testemunhos é afetada pelos processos de broqueamento e corte das extremidades, as comparações serão, então, realizadas entre as amostras extraídas e as amostras de referência.

Neste estudo experimental a comparação entre os lotes também segue as recomendações estatísticas publicadas no ACI 214.4R/2003 e na ASTM E 178/2002, os testes recomendados por estes dois padrões normativos são: Testes estatísticos *F* (ANOVA) e *t de Student*, tais testes baseiam-se em distribuições de probabilidades normais e são utilizados após identificar os “*outliers*” e recalculá-la, se necessários, os parâmetros estatísticos de cada lote.

### 3.3.3.1 Teste $F$ (ANOVA)

Conforme recomendações do ACI 214.4R/2003 e da ASTM E 178/2002, antes de se analisar através de testes estatísticos a diferença entre as médias de dois conjuntos de dados deve-se verificar se as variâncias dos mesmos podem ser consideradas iguais ou diferentes isto pode ser verificado através da realização do teste  $F$  ou ANOVA.

A técnica da análise da variância ou ANOVA, segundo SPIEGEL (1978) foi elaborada por Fisher Snedecor, baseia-se em uma distribuição  $F$  e na realização do teste  $F$  onde se compara um  $F$  *calculado* a um  $F$  *tabelado*, sendo este último encontrado usualmente em tabelas de livros de estatística, o qual depende dos graus de liberdade dos conjuntos a ser comparados, bem como, do nível de significância  $\alpha$  adotado. A Equação 3.5 mostra que a razão entre as variâncias dos dois conjuntos de dados a ser comparados resulta na obtenção do  $F$  *calculado*, porém, é importante ressaltar que deverá ficar no denominador desta equação a maior variância calculada nestes dois conjuntos de dados em análise. Segundo EVANGELISTA (2002), quando o  $F$  *calculado* é maior que o  $F$  *tabelado* pode-se dizer que as variâncias dos conjuntos de dados comparados são diferentes para o nível de significância,  $\alpha$ , preestabelecido.

$$v_A = n_A - 1$$

Equação 3.6

$$v_B = n_B - 1$$

Equação 3.7

Onde  $v_A$  e  $v_B$  se referem, respectivamente, aos graus de liberdade do conjunto de dados que possui maior e menor variância. Já  $n_A$  e  $n_B$  se referem, respectivamente, ao número de exemplares que compõem o conjunto de dados de maior e menor variância.

### 3.3.3.2 Teste $t$ de Student

Após definir através da realização da ANOVA ou teste  $F$  se as variâncias de dois grupos de dados comparados podem ser ditas iguais ou diferentes realiza-se o teste  $t$  de Student adequado às variâncias definidas como iguais ou diferentes.

Com o teste *t de Student* os dois conjuntos de dados serão comparados quanto às médias, ou seja, será avaliado se as médias podem ser ditas iguais ou diferentes, o que significará, respectivamente, se a diferença entre as médias é devido à aleatoriedade dos dados ou devido às diferenças físicas impostas no plano experimental, isto do ponto de vista estatístico.

O teste *t de Student*, tanto para conjuntos de dados considerados com variâncias iguais quanto para conjunto de dados considerados com variâncias diferentes, consiste em comparar um *t calculado* a um *t tabelado*, sendo este último encontrado usualmente em tabelas de livros de estatística, o qual depende dos graus de liberdade dos conjuntos a ser comparados, bem como, do nível de significância,  $\alpha$ , preestabelecido. As expressões que resultam no *t calculado* diferem para os casos em que os conjuntos de dados a ser comparados são definidos como equivalentes ou como diferentes, ver equações a seguir. Quando o *t calculado* é maior que o *t tabelado* pode-se dizer que o fator que influencia a amostra é significativo, ou seja, as diferenças entre as médias dos dois conjuntos de dados comparados não é consequência apenas da aleatoriedade dos dados e sim devido às variações impostas no plano experimental.

As equações necessárias à realização do teste *t de Student*, para dois conjuntos de dados considerados com variâncias equivalentes, são as seguintes:

$$t_{\text{calculado}} = \frac{|\mu_A - \mu_B|}{\sqrt{s_a^2 \cdot \left( \frac{1}{n_A} + \frac{1}{n_B} \right)}} \quad \text{Equação 3.8}$$

$$s_a^2 = \frac{(n_A - 1)s_A^2 + (n_B - 1)s_B^2}{n_A + n_B - 2} \quad \text{Equação 3.9}$$

$$\nu = n_A + n_B - 2 \quad \text{Equação 3.10}$$

Onde  $\mu_A$  e  $\mu_B$  se referem, respectivamente, a média dos dois conjuntos de dados a serem comparados,  $s_a^2$  é a variância agrupada dos dois conjuntos de dados em análise, já  $n_A$  e  $n_B$  se referem, respectivamente, ao número de exemplares que compõem cada conjunto de dados e  $\nu$  refere-se aos graus de liberdade dos conjuntos de dados.

As equações necessárias à realização do teste *t de Student*, para dois conjuntos de dados considerados com variâncias diferentes, são as seguintes:

$$t_{\text{calculado}} = \frac{|\mu_A - \mu_B|}{\sqrt{\frac{s_A^2}{n_A} + \frac{s_B^2}{n_B}}} \quad \text{Equação 3.11}$$

$$\nu = \frac{\left(\frac{s_A^2}{n_A} + \frac{s_B^2}{n_B}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_A^2}{n_A}\right)^2}{n_A + 1} + \frac{\left(\frac{s_B^2}{n_B}\right)^2}{n_B + 1}} - 2 \quad \text{Equação 3.12}$$

Onde  $\mu_A$  e  $\mu_B$  se referem, respectivamente, a média dos dois conjuntos de dados a serem comparados,  $s_A^2$  e  $s_B^2$  são as variâncias calculadas em cada conjunto de dados em análise. Já  $n_A$  e  $n_B$  se referem, respectivamente, ao número de exemplares que compõem cada conjunto de dados e  $\nu$  se referem aos graus de liberdade.

### 3.4 CONSIDERAÇÕES PARA AS ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Conforme apresentado neste capítulo a tarefa de analisar os resultados através da estatística pode ser dividida em duas etapas. A primeira etapa consiste na realização do método estatístico escolhido para investigar se no conjunto de dados há “*outliers*”. Porém, a segunda etapa da análise consiste, quando possível, na escolha e na realização de testes estatísticos que permitam a comparação apropriada entre os resultados obtidos em conjuntos de dados que possuem características físicas distintas a fim de avaliar estatisticamente a significância de tais diferenças. Neste estudo a primeira etapa será realizada utilizando-se o método estatístico dos Quartis. Por haver diferenças físicas entre os conjuntos de dados, a segunda etapa da análise dos resultados, por sua vez, será realizada utilizando-se os testes estatísticos de comparação *F* e *t de Student*.

É importante ressaltar que para as comparações entre os conjuntos de dados deve-se definir previamente qual o valor do nível de significância a ser considerado durante a realização dos testes *F* e *t de Student*. A determinação do valor do nível de significância a ser adotado durante a realização dos testes *F* e *t de Student* seguirá, mais uma vez, as recomendações do ACI 214.4R/2003, o qual prescreve que na comparação entre dois conjuntos de dados de resistência à compressão deve ser feita adotando-se um nível de significância igual a 5%, isto porque, muitos estatísticos e engenheiros não consideram que uma diferença seja estatisticamente significativa se for associada a um nível de significância maior que 5%.

## **4. PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES**

Neste capítulo apresenta-se uma descrição das etapas necessárias a realização do ensaio de extração de testemunhos: tipos de formas adotadas, concretagem, adensamento, cura, extração de testemunhos, preparação das amostras, ensaios, etc.

Como diversos fatores interferem na resistência à compressão quando esta é obtida através do ensaio de testemunhos, procurou-se, neste estudo, isolar os efeitos causados pelos processos de broqueamento e corte das extremidades a fim de avaliar a interferência dos mesmos nos resultados de resistência à compressão obtida com amostras de razões altura diâmetro variando entre 1 e 2, extraídas normal e paralela à direção de concretagem de blocos moldados experimentalmente. Além destes blocos de concreto também foram moldados corpos-de-prova cilíndricos, com dimensões de 15x30 cm e 10x20 cm, para serem utilizados como referências, ou seja, para que as resistências à compressão obtida com estas amostras sejam comparadas aos resultados, desta mesma propriedade, mas, obtidos com as amostras extraídas.

Desta maneira, será visto nos próximos subitens os procedimentos experimentais realizados para a obtenção e ensaios à compressão dos corpos-de-prova padronizados, assim como, dos testemunhos obtidos a partir dos blocos. Para os corpos-de-prova padronizados seguiram-se as prescrições de moldagem e cura da NBR 5738/1994 e ensaio da NBR 5739/1994, já para os blocos destinados à extração dos testemunhos seguiram-se os procedimentos de extração, preparação e ensaio proposto na NBR 7680/1983, na ASTM C42/2003 e no ACI 214.4R/2003.

As análises dos resultados obtidos tanto com as amostras padronizadas quanto com as amostras extraídas seguiram os procedimentos estatísticos da ASTM E 122/2000 e da ASTM E 178/2002 recomendados pelo ACI 214.4R/2003.

Em resumo, a partir da comparação entre os resultados de resistência à compressão obtida com os CP's de referência e com os testemunhos será avaliado se o broqueamento e a retificação das amostras interferem do ponto de vista estatístico nos resultados de resistência à compressão.

## 4.2 DEFINIÇÃO DOS GRUPOS MOLDADOS E ENSAIADOS

Para definir os grupos de amostras a ser analisados é preciso ter bem definido o objetivo do estudo e os custos envolvidos com a moldagem, preparação e ensaio das amostras. No caso desta pesquisa, o objetivo, principal, pretendido é investigar a resistência à compressão do concreto quando estimada a partir de testemunhos; verificando se esta propriedade é afetada pelo processo de broqueamento e preparação das extremidades.

Porém, para estudar experimentalmente estes processos é preciso considerar as dificuldades que ocorrem na prática, ou seja, nas estruturas existentes nem sempre é possível extrair amostras com razão altura diâmetro igual a dois e o sentido da aplicação da carga nas amostras nem sempre é o mesmo da concretagem do elemento estrutural do qual foram retirados, conforme ocorre nos corpos-de-prova cilíndricos padronizados.

Desta maneira, definiu-se que o efeito do broqueamento e do processo de corte das extremidades, retificação, na resistência à compressão será estudado através de testemunhos com razão altura diâmetro igual e menor que dois extraídos paralelamente e normal à direção de concretagem dos elementos dos quais serão retirados. Assim, os elementos destinados à extração dos testemunhos serão divididos em dois grupos denominados de blocos EP's e de blocos EN's, respectivamente, para extração de testemunho paralelo e normal à direção do lançamento sendo cada grupo dividido em três subgrupos de acordo com a altura dos testemunhos a ser extraído variando, com isto, a razão altura diâmetro, ver figuras a seguir.

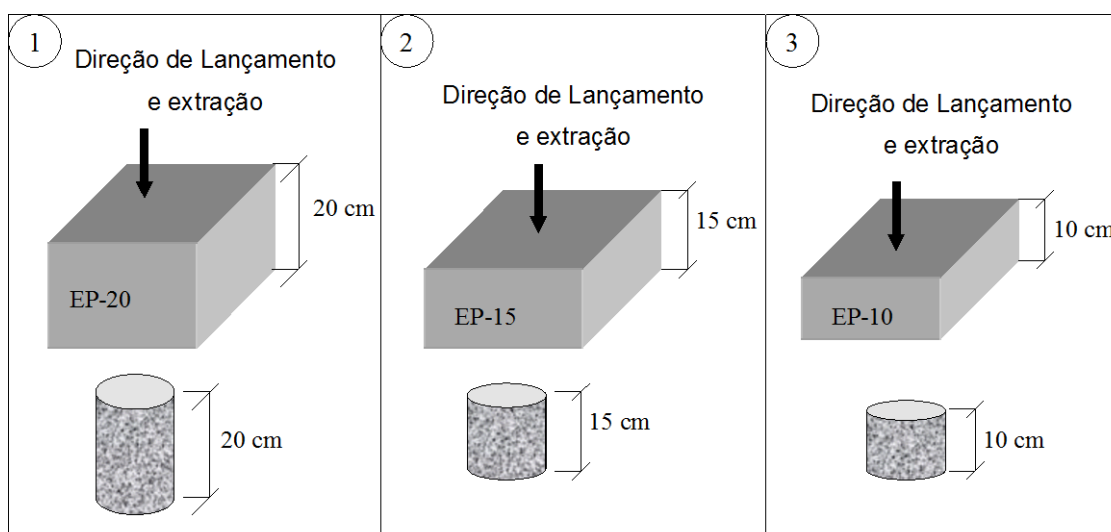




Figura 4.1- Subgrupos de amostras: (1) EP-20, (2) EP-15 e (3) EP-10 destinados, respectivamente, à extração de testemunho com 20 cm, 15 cm e 10 cm de altura.

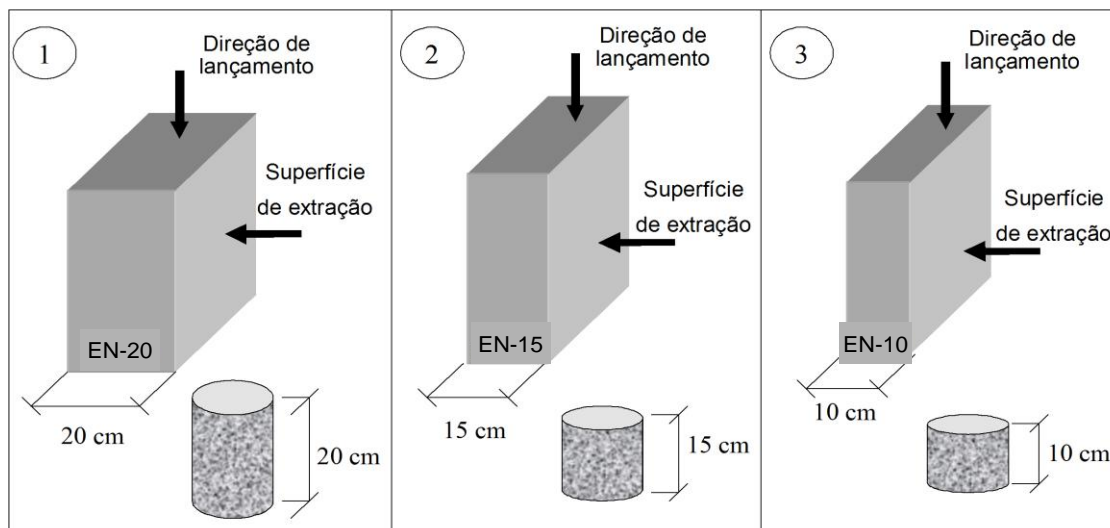


Figura 4.2- Subgrupos de amostras: (1) EN-20, (2) EN-15 e (3) EN-10 destinados, respectivamente, à extração de testemunho com 20 cm, 15 cm e 10 cm de altura.

Assim, para atender ao objetivo da pesquisa não basta moldar elementos destinados à extração dos testemunhos é necessário moldar corpos-de-prova padronizados com 15x30 cm e 10x20 cm para servirem como referência na análise da resistência a compressão, ver Figura 4.3.

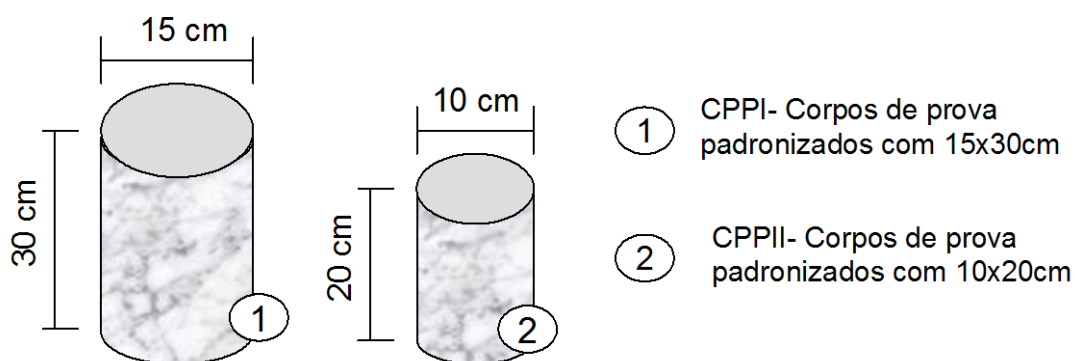


Figura 4.3- Grupo de amostras padronizadas e de referência.

No capítulo anterior após verificar a importância do tamanho da amostragem nos custos e na análise dos resultados definiu-se que cada lote ou subgrupo de amostras, necessário a atender o objetivo desta pesquisa, seria composto de pelo menos 30

unidades. Como o concreto seria doado por uma empresa concreteira os custos limitantes das quantidades de amostras a ser moldadas estavam na fabricação das formas para os grupos das amostras extraídas e no caso das amostras de referência na quantidade de formas existentes no laboratório.

Desta maneira, para as formas dos elementos destinados à extração dos testemunhos fabricou-se apenas 30 unidades em cada subgrupo dos blocos EP's e EN's, já para a moldagem das amostras de referência havia mais de 30 formas disponíveis no Laboratório de Estruturas da UFPE sendo, então, moldadas 57 amostras com 15x30 cm e 60 amostras com 10x20 cm.

### 4.3 FORMAS

Os blocos de concreto destinados à extração dos testemunhos foram divididos em dois grupos denominados anteriormente de blocos EP's e de blocos EN's destinados, respectivamente, à extração de testemunho paralelo e normal à direção do lançamento do concreto. Cada grupo foi dividido em 3 subgrupos de 30 blocos de acordo com a altura do testemunho a ser extraído, ver

**Figura 4.1-** Subgrupos de amostras: (1) EP-20, (2) EP-15 e (3) EP-10 destinados, respectivamente, à extração de testemunho com 20 cm, 15 cm e 10 cm de altura. ....40

**Figura 4.2-** Subgrupos de amostras: (1) EN-20, (2) EN-15 e (3) EN-10 destinados, respectivamente, à extração de testemunho com 20 cm, 15 cm e 10 cm de altura. ....41

**Figura 4.3-** Grupo de amostras padronizadas ou de referência. ....41

**Figura 4.4-** Distância mínima do furo as bordas do elemento estrutural.....42

**Figura 4.5-** Formas dos blocos EP's fabricadas com compensado plastificado.....43

**Figura 4.6-** Caminhão betoneira (1) e carro de mão para distribuição do concreto (2).  
.....44

**Figura 4.7-** Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. ....45

**Figura 4.8-** Moldagem dos blocos. ....45

<b>Figura 4.9-</b> Formas dos blocos após concretagem cobertas com serragem de madeira..	46
<b>Figura 4.10-</b> CP's de referência após a concretagem. ....	46
<b>Figura 4.11-</b> Instalação e fixação do equipamento de extração (1) e broqueamento (2).	47
<b>Figura 4.12-</b> (1) Direção de lançamento, de extração dos testemunhos e posição dos blocos EP's, (2) direção de lançamento dos blocos EN's e (3) Posicionamento e direção de extração dos testemunhos nos blocos EN's. ....	48

ix

<b>Figura 4.13-</b> Bloco antes da extração do testemunho (1), bloco após a extração do testemunho (2) e testemunho (3). ....	48
<b>Figura 4.14-</b> Testemunho de nº. 15, extraído do bloco EN-15, com a presença de um agregado argiloso.....	49
<b>Figura 4.15-</b> Testemunhos devidamente capeados.....	50
<b>Figura 4.16-</b> Ruptura à compressão.....	51
<b>Figura 4.17-</b> Visão geral das amostras após o ensaio de resistência à compressão.....	51

e Figura 4.2.

As formas para moldagem dos blocos de concreto foram confeccionadas em compensado plastificado a fim de minimizar a absorção da água do concreto pelas mesmas, ver Figura 4.5. As dimensões destas formas foram determinadas segundo a prescrição da NBR 7680/1983 no que se refere à distância mínima entre as bordas do elemento estrutural a ser avaliado e o local de extração no mesmo. Segundo esta norma, a distância não deve ser inferior a uma vez o diâmetro do testemunho a ser extraído, ver Figura 4.4 e Tabela 4.1.

Tabela 4.1

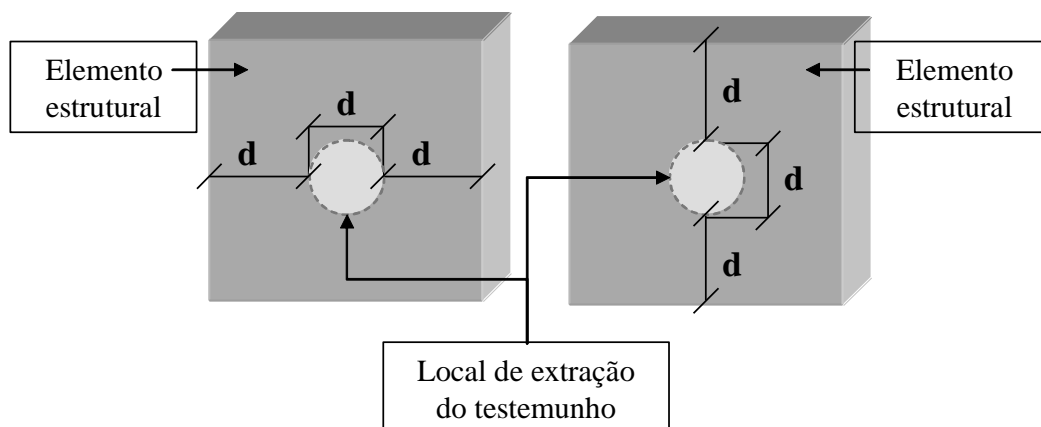


Figura 4.4- Distância mínima do furo às bordas do elemento estrutural.

Tabela 4.1- Quantidades e dimensões dos elementos de concreto moldados.

Grupo	Subgrupo	Quantidade (unidade)	Dimensões das formas (metro)			
			Diâmetro	Altura	Comprimento	Largura
EP	20	30	-	<b>0,20</b>	0,30	0,30
	15	30	-	<b>0,15</b>	0,30	0,30
	10	30	-	<b>0,10</b>	0,30	0,30
EN	20	30	-	0,30	0,30	<b>0,20</b>
	15	30	-	0,30	0,30	<b>0,15</b>
	10	30	-	0,30	0,30	<b>0,10</b>
CP's	CPPI (15x30)cm	57	0,15	0,30	-	-
	CPPII (10x20)cm	60	0,10	0,20	-	-
<b>Total</b>		<b>297</b>	-	-	-	-

Desta forma, para atender as dimensões recomendadas na NBR 7680/1983, consumiu-se no fabrico das formas dos blocos 28 folhas do compensado plastificado com 12 mm de espessura, admitindo-se que os testemunhos a ser extraídos teriam um diâmetro máximo de 10 cm sendo retirado de cada bloco apenas um testemunho.

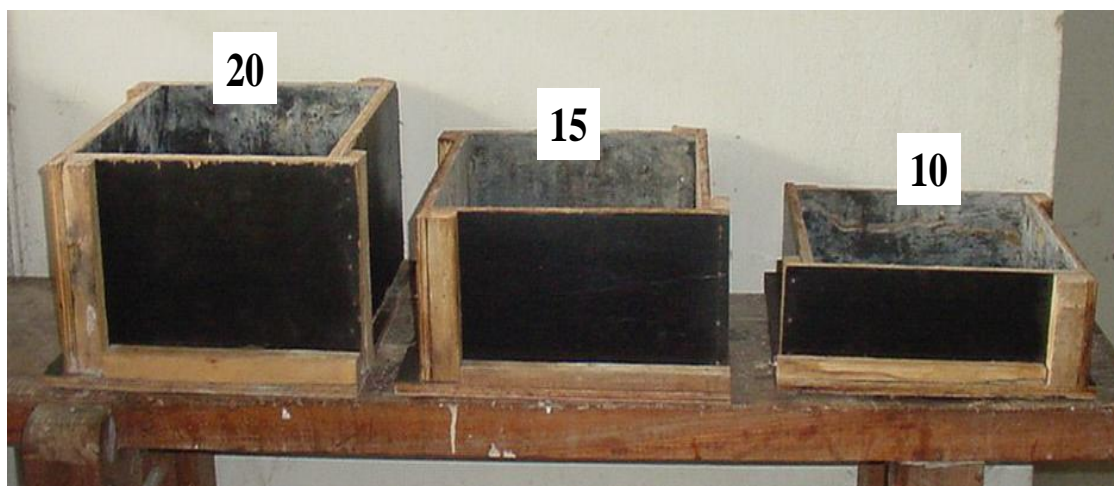


Figura 4.5- Formas dos blocos EP's fabricadas com compensado plastificado.

Os corpos-de-prova padronizados ou CP's de referência foram moldados em formas cilíndricas de metal sendo moldadas 57 amostras denominadas CPPI com 15 cm de diâmetro por 30 cm de altura e 60 amostras denominadas de CPPII com 10 cm de diâmetro por 20 cm de altura.

#### 4.4 MATERIAIS

O concreto utilizado para moldagem das amostras padronizadas e dos blocos de onde se extraiu os testemunhos foi produzido em usina e transportado em caminhão betoneira até o local da concretagem. Os materiais que compuseram o concreto foram:

- Água;
- Cimento Portland CII F 32;
- Aditivo Mastermix 283 R da MBT (retardador de pega);
- Areia;
- Brita granítica com diâmetro nominal de 19 mm e de 25 mm.

O fornecedor do concreto especificou as características e os consumos destes materiais, os quais estão relacionados na tabela a seguir:

Tabela 4.2- Proporções dos materiais utilizados no concreto.

Resistência solicitada (MPa)	a/c	Consumo de materiais						Abatimento (cm)
		Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Água (l/m <sup>3</sup> )	Areia (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Brita 25 mm (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Brita 19 mm (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Aditivo (l/m <sup>3</sup> )	
25	0,54	344,0	187,0	0,70	0,45	1,20	1,10	7+ - 1

#### 4.5 LANÇAMENTO E CURA DAS AMOSTRAS

O concreto utilizado na moldagem dos blocos e dos CP's de referência foi transportado em caminhão betoneira e distribuído em carros de mão até a localização das formas.



Figura 4.6- Caminhão betoneira (1) e carro de mão para a distribuição do concreto (2).

Antes de ser feita a moldagem das amostras foi realizado, conforme a NBR 7223/1982, o ensaio para determinar a consistência do concreto recebido através do abatimento do tronco de cone com o objetivo de conferir o abatimento de  $7 \pm 1$  cm informado pelo fornecedor, ver Figura 4.7 . Este ensaio foi feito antes do lançamento e mais duas vezes após ter sido iniciado a moldagem das amostras, verificando-se nas três situações o valor especificado pelo fornecedor do concreto.



Figura 4.7- Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.

A moldagem dos blocos e dos CP's de referência foi realizada no dia 30/04/2003 sendo a compactação do concreto em todas as formas feita com o uso de vibradores de imersão com 2,5 cm de diâmetro.

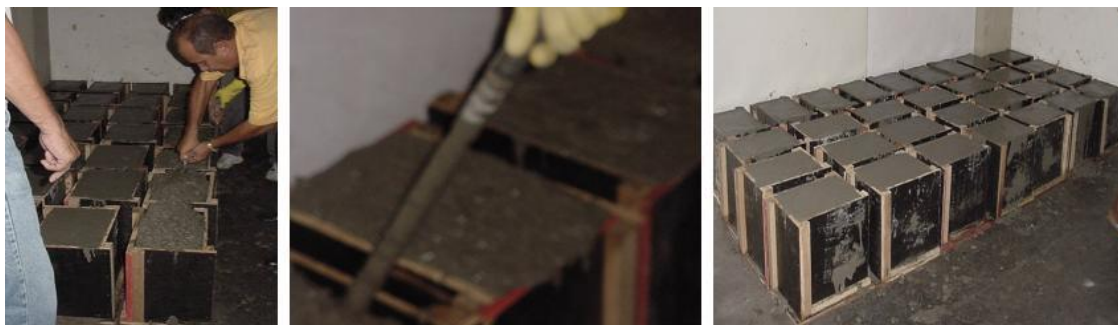


Figura 4.8- Moldagem dos blocos.



Figura 4.9- Formas dos blocos após a concretagem cobertas com serragem de madeira.

Os blocos EP's e EN's, todos os corpos-de-prova CPPII (10x20) cm e 39 corpos-de-prova CPPI (15x30) cm foram mantidos em suas formas por 14 dias após a concretagem sendo curados, nesse período, com o uso de serragem de madeira umedecida diariamente com água, conforme mostra para os grupos dos blocos a Figura 4.9. Após estes 14 dias os blocos e os CP's foram desformados e, então, colocados no mesmo ambiente laboratorial para garantir condições semelhantes de temperatura e umidade relativa do ar, foram assim mantidos nestas condições até ser iniciado o processo de extração dos testemunhos e ensaio à compressão de ambos os grupos de amostras.



Figura 4.10- CP's de referência após a concretagem.

Os demais 18 corpos-de-prova do sub-grupo CPPI (15x30) cm foram mantidos dentro de suas formas por cinco dias após a concretagem sendo, então, desformados e colocados em um tanque com água saturada com cal até completarem a idade de 28 dias, nesta idade, foram ensaiados à compressão com a finalidade de determinar a resistência característica do concreto utilizado na moldagem de todas as amostras.

#### **4.6 EXTRAÇÃO DOS TESTEMUNHOS E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS**

Após aproximadamente sete meses da data de concretagem iniciou-se o processo de extração dos testemunhos a partir dos blocos EP's e EN's. A extração das amostras foi feita utilizando uma extratora com broca diamantada esfriada à água. Para minimizar as vibrações provenientes do equipamento de extração fixou-se à extratora com parafusos a uma base de concreto ficando a mesma com a broca posicionada na vertical para baixo. Os blocos também foram colocados individualmente sobre uma base de concreto.



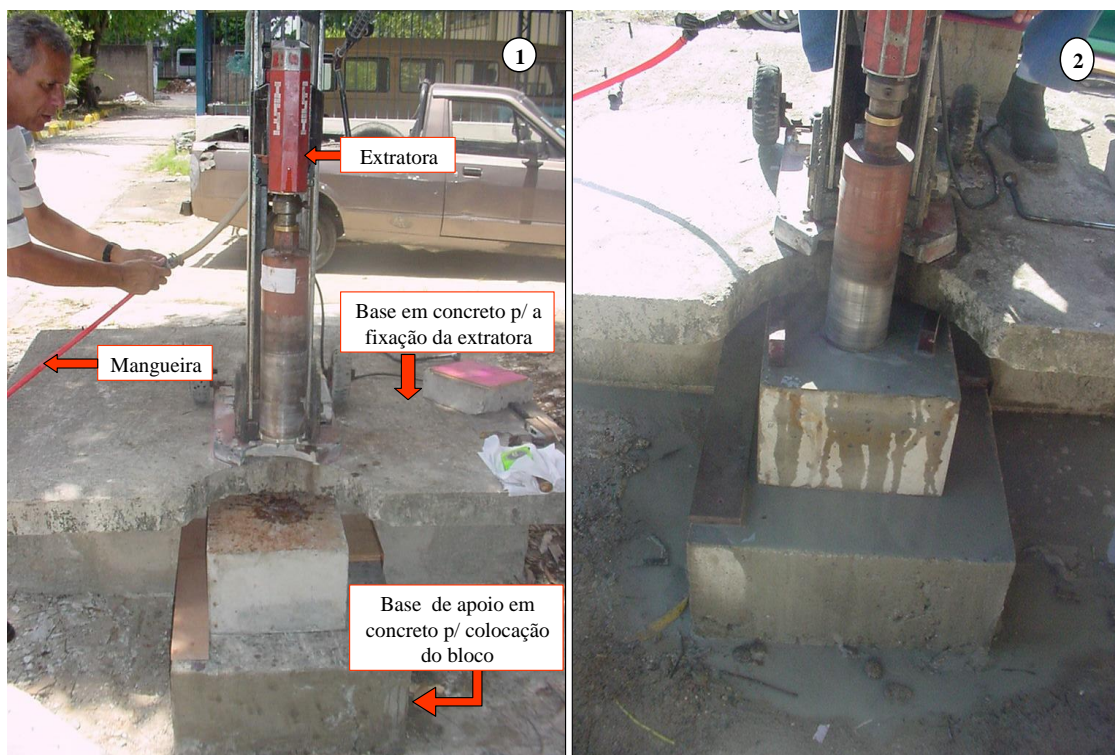


Figura 4.11- Instalação e fixação do equipamento de extração (1) e broqueamento (2).

Durante todo o processo de broqueamento manteve-se o equipamento com a broca na vertical para baixo. Desta forma, para extração dos testemunhos a partir dos blocos EN's, foi necessário posicioná-los com a face destinada à extração do testemunho para cima, conforme mostra a figura a seguir.

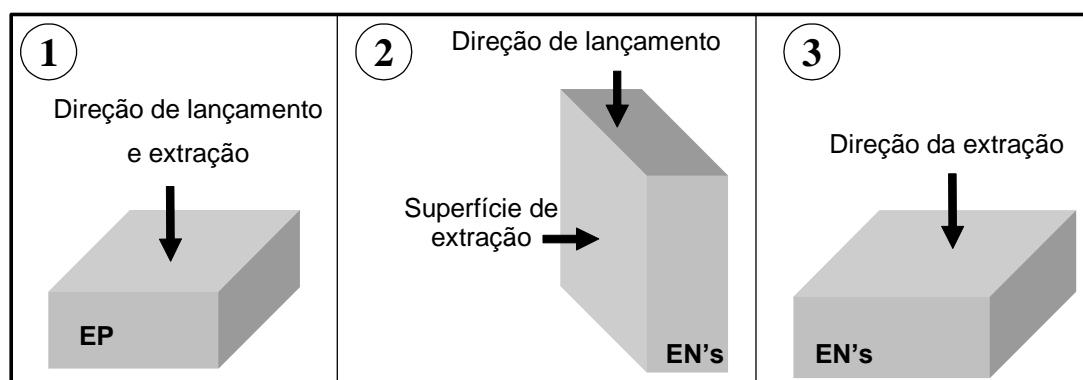


Figura 4.12- (1) Direção de lançamento, de extração dos testemunhos e posição dos blocos EP's, (2) direção de lançamento dos blocos EN's e (3) Posicionamento e direção de extração dos testemunhos nos blocos EN's.

Desta forma, com equipamento devidamente instalado e o bloco posicionado corretamente sobre a base de concreto iniciou-se a extração dos testemunhos. O

processo de extração nos 180 blocos moldados aconteceu entre o dia 05/11/2003 e 12/11/2003 sendo extraído de cada bloco apenas um testemunho. Para que as amostras fossem extraídas sem forçar o equipamento e a uma velocidade constante foi necessário substituir a broca diamantada duas vezes, ou seja, para obter os 180 testemunhos foram utilizadas 3 brocas diamantadas. As brocas utilizadas não eram do mesmo fabricante ocasionando variações nos diâmetros das amostras extraídas.

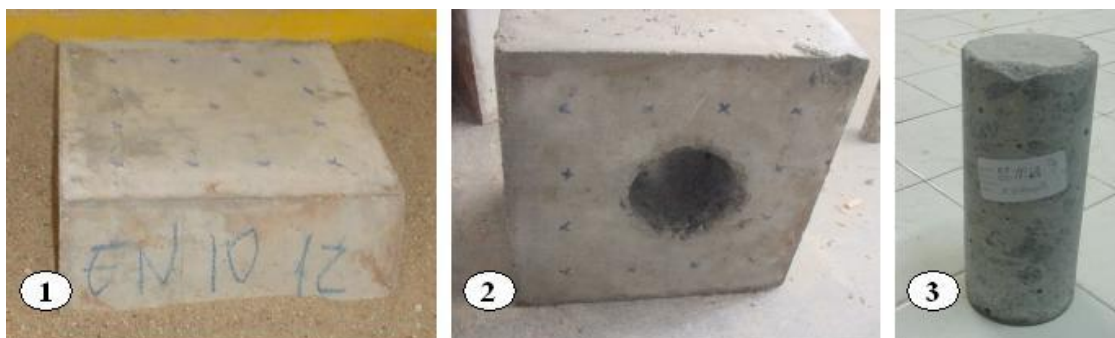


Figura 4.13- Bloco antes da extração do testemunho (1), bloco após a extração do testemunho (2) e testemunho (3).

Dos 180 testemunhos extraídos apenas um testemunho quebrou durante o processo de extração. A amostra danificada foi a de número 20 do subgrupo EN-20 sendo a mesma cortada e ensaiada a compressão, porém a resistência obtida foi excluída do conjunto de dados, pois sua razão altura diâmetro era inferior a dos demais testemunhos deste subgrupo. Também foi excluída do conjunto de dados o valor da resistência à compressão obtida com o testemunho de número 15 extraído a partir do bloco EN-15, pois esta amostra tinha ao longo de sua altura um agregado argiloso que se distinguia do agregado utilizado na mistura do concreto, conforme mostra a Figura 4.14 a seguir.



Figura 4.14- Testemunho de n°. 15, extraído do bloco EN-15, com a presença de um agregado argiloso.

Após o broqueamento os testemunhos foram medidos e colocados para secagem ao ar no ambiente laboratorial até a data do ensaio de resistência à compressão sendo, então, retirados deste local apenas para preparar as superfícies destinadas ao recebimento da carga de compressão. O período de secagem ao ar após a extração foi superior ao período de pelo menos 7 dias recomendados no ACI 214.4R/2003, esta recomendação do ACI baseia-se nas prescrições da ASTM C 42/1999, a fim de reduzir o gradiente de umidade entre o interior e exterior da amostra.

A preparação das superfícies destinadas ao recebimento das cargas de compressão, no caso das amostras de referência, foram devidamente capeadas com enxofre. Já no caso dos testemunhos obtidos dos blocos EP-20 e EN-20, além de capeadas, foram aparadas utilizando uma serra de disco esfriada à água para ficarem com a razão altura diâmetro igual a dois. Os demais testemunhos tiveram suas extremidades aparadas apenas nos casos em que estas superfícies estavam danificadas devido ao processo de extração. No entanto, todos os testemunhos antes de serem ensaiados à compressão foram capeados com enxofre, da mesma maneira, que as amostras de referência.



Figura 4.15- Testemunhos devidamente capeados.

#### 4.7 ENSAIO DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Na realização do ensaio de resistência à compressão foram consideradas para todas as amostras as recomendações normativas da NBR 5739/1994 em relação à velocidade de aplicação do carregamento, centralização das amostras nos pratos da prensa, preparação e regularização das superfícies das amostras, etc. Porém, para o ensaio realizado com as amostras CPPII (10x20) cm e com os testemunhos também foram consideradas as recomendações de Neville (1997) e de Aïtcin (1998). Estes autores recomendam que a rótula da prensa tenha as dimensões de acordo com o diâmetro da amostra a ser testada. Aïtcin (1998) indica um modelo de rótula para amostras com diâmetro em torno de 10 cm. Baseado no modelo proposto, fabricou-se uma rótula para ser utilizada com as amostras de diâmetro inferior a 15 cm. No entanto, o modelo sofreu adaptações para adequar-se à prensa existente no laboratório da UFPE.

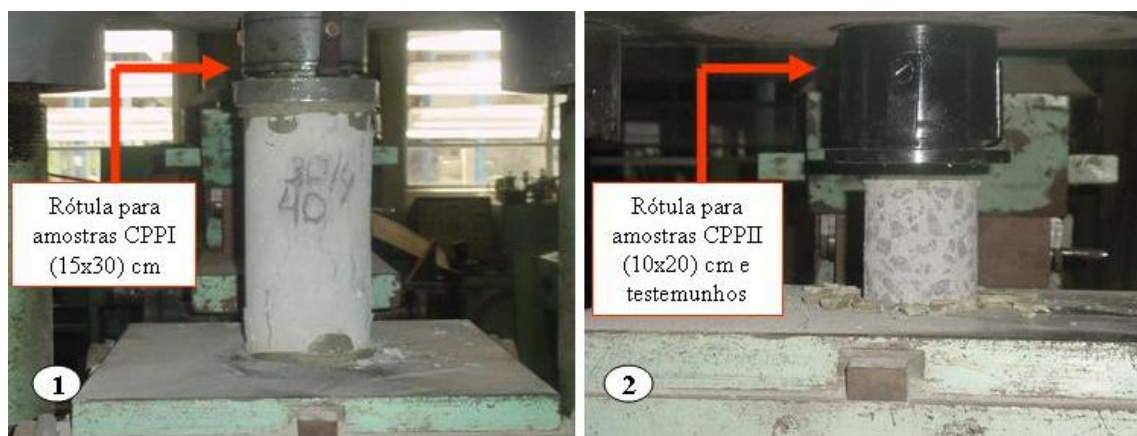


Figura 4.16- Ruptura à compressão.

Todas as amostras, extraídas e de referência, foram capeadas e ensaiadas à compressão no Laboratório de Estruturas da UFPE sendo a ruptura das amostras realizada em duas etapas. Na primeira etapa, 18 corpos-de-prova de referência CPPI (15x30) cm foram rompidos à compressão com o objetivo de caracterizar a resistência do concreto aos 28 dias de idade. Na segunda etapa, foram ensaiados os demais CP's de referência e os testemunhos extraídos dos blocos com o intuito de fazer comparações entre os resultados de resistência obtidos com as amostras de referência e com as amostras extraídas buscando, principalmente, a obtenção do dano devido ao broqueamento e a preparação das extremidades.



Figura 4.17- Visão geral das amostras após o ensaio de resistência à compressão.

#### **4.8 COMENTÁRIOS QUANTO AOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS**

Conforme mostrado, os testemunhos foram obtidos a partir dos blocos moldados com o mesmo concreto utilizado na moldagem das amostras de referência, no entanto, as amostras extraídas apesar de serem amostras do mesmo concreto dos corpos-de-prova padronizados quando ensaiadas à compressão a resistência obtida é influenciada por diversas variáveis, tais como: danos devidos ao broqueamento e preparação das extremidades, sentido da extração em relação à moldagem e ensaio, razão altura diâmetro, etc.

Porém, neste estudo os resultados de resistência à compressão obtida com o ensaio dos testemunhos e dos corpos-de-prova padronizados foram comparados; analisando-se, com isto, apenas a influência do processo de broqueamento e de preparação das extremidades nos resultados de resistência á compressão obtida com testemunhos extraídos paralelos e normais a direção de lançamento com diferentes razões altura diâmetro. Para fazer tal comparação foi necessário isolar e/ou não considerar durante a realização dos procedimentos experimentais a influência das outras variáveis que interferem nos resultados de resistência à compressão dos testemunhos, tais como: nível de resistência, cura, condições de umidade na instante dos ensaios, assim como, foi necessário submeter os CP's de referência testados no mesmo período em que os testemunhos as mesmas condições de umidade e temperatura até a data da realização dos testes.

## **5. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS**

### **5.1 CONSIDERAÇÕES**

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos nos ensaios dos corpos-de-prova testemunhos e dos corpos-de-prova padronizados, além disso, também serão feitas as discussões à cerca dos resultados e dos testes estatísticos realizados com os mesmos.

Em resumo, o planejamento experimental foi idealizado moldando-se amostras sob condições padronizadas para servirem de referência e moldando-se blocos de concreto destinados a extrações dos testemunhos. Após a moldagem, cura, extração e preparação das amostras realizaram-se em duas etapas os ensaios de resistência à compressão. A primeira etapa dos ensaios aconteceu após 28 dias da data de moldagem

das amostras sendo ensaiados apenas 18 corpos-de-prova com 15x30 cm a fim de quantificar a resistência média à compressão para esta idade de ruptura. A segunda etapa dos ensaios de resistência à compressão aconteceu após aproximadamente oito meses da data de moldagem das amostras sendo ensaiados todos os corpos-de-prova padronizados e todos os testemunhos extraídos.

Porém, para atender aos objetivos do estudo, não basta quantificar a resistência à compressão obtida com as amostras extraídas ou os  $C_p$ 's de referência têm que se analisar os resultados. Para tanto, seguiu-se as recomendações do ACI 214.4R-2003, dividindo-se a análise dos resultados em duas etapas. Na primeira etapa investiga-se a presença de valores suspeitos ou “*outliers*” dentre os resultados obtidos, conforme, mostrado no capítulo referente à metodologia estatística o método adotado foi o dos Quartis. Na segunda etapa, realizam-se os testes *F* e *t de Student* comparando os conjuntos de dados de referência e os subgrupos nos quais foram impostas às variações físicas idealizadas no plano experimental a fim de avaliar se as diferenças entre tais conjuntos de dados são significativas.

Portanto, serão mostradas nos próximos itens as informações referentes aos resultados de resistência à compressão obtida em cada conjunto de dados e as discussões referentes à primeira e à segunda etapa das análises dos resultados.

## **5.2 APRESENTAÇÃO DOS DADOS E DISCUSSÃO RELATIVOS A PRIMEIRA ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS**

### **5.2.1 CORPOS-DE-PROVA DE REFERÊNCIA**

Os 18 corpos-de-prova do subgrupo de referência CPPI (15x30) cm foram ensaiados após 28 dias da data de moldagem com a finalidade de caracterizar a resistência do concreto utilizado. Estas 18 amostras foram mantidas no tanque com água saturada com cal até a data do ensaio, seguindo as recomendações da NBR 5739/1994 preconizadas na NBR 5738/1994.

A identificação das amostras ensaiadas, a respectiva resistência à compressão e os parâmetros estatísticos necessários à realização da primeira etapa da análise dos resultados encontram-se na tabela a Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Resistência à compressão aos 28 dias obtida com amostras CPPI (15x30) cm.

Ensaio CPPI (15x30) cm				Estatística	
n	f <sub>CPPI</sub> (MPa)	n	f <sub>CPPI</sub> (MPa)	Quantidades de amostras ensaiadas-n (unidade)	18
				Menor valor de Resistência obtido (MPa)	26,9
				Maior valor de Resistência obtido (MPa)	31,1
1	26,9	10	29,2	Resistência média (MPa)	29,4
2	29,7	11	27,2	Desvio Padrão-s (MPa)	1,4
3	29,4	12	30,3	Variância -s <sup>2</sup>	1,8
4	27,7	13	31,1	J1	28,5
5	30,0	14	30,9	J3	30,4
6	29,7	50	26,9	Dj = J3 - J1	1,8
7	30,6	51	29,4	1.5*Dj	2,8
8	29,7	52	30,6	LI = J1 - 1.5*Dj	25,8
9	30,0	53	30,6	LS = 1.5*Dj - J3	33,1

Todos os resultados de resistência à compressão obtidos nesta primeira etapa de ensaio foram considerados na determinação da resistência média, pois, não havia razões físicas observadas e anotadas que justificassem a exclusão dos valores mostrados na Tabela 5.1. Por conseguinte, do ponto de vista estatístico também nenhum valor foi considerado *“outliers”*, pois, todos os resultados de resistência à compressão apresentados na Tabela 5.1 estão compreendidos no intervalo definido pelo método dos Quartis, [*LI (limite inferior)* ; *LS (limite superior)*], ou seja, todos os valores de resistência à compressão estão dentro do intervalo [25,8 MPa ; 33,1 MPa] não sendo considerados, desta maneira, valores suspeitos.

Portanto, a resistência à compressão média do concreto aos 28 dias é 29,4 MPa, o que nos permite considerar nas análises a seguir que os demais conjuntos de dados podem ser tratados como normalmente distribuídos já que este valor é inferior a 70 MPa, consideração relatada no ACI 214R/2003 e transcrita dos estudos de COOK (1982).

As demais amostras foram ensaiadas após aproximadamente oito meses da concretagem, ou seja, na segunda etapa dos ensaios de resistência à compressão testaram-se os demais CP's de referência e os testemunhos extraídos dos blocos. Os CP's de referência ensaiados nesta etapa foram: os 39 exemplares restantes dos CPPI (15x30) cm e os 60 exemplares dos CPPII (10x20) cm. Ambos os conjuntos de amostras foram submetidos às condições semelhantes de cura, de umidade e de temperatura dos 180 blocos destinados à extração dos testemunhos a fim de minimizar as diferenças



entre a categoria de amostras de referência e a categoria de amostras extraídas, permitindo, desta maneira, a realização de comparações entre os conjuntos de dados.

Os resultados obtidos na segunda etapa dos ensaios à compressão para os CP's de referência estão mostrados a seguir na Tabela 5.2 e na Tabela 5.3, em tais tabelas há os valores da resistência à compressão dos exemplares pertencentes aos respectivos conjuntos de dados e a seqüência de passos necessários à realização da análise estatística dos mesmos.

Tabela 5.2- Resistência à compressão dos CPPI (15x30) cm rompidos no mesmo período em que os testemunhos.

CPPI (15X30) cm									
Nº DA AMOSTRA TESTADA	DIMENSÕES (cm)		RELAÇÃO h/d	f <sub>CPPI</sub> (MPa)	Nº DA AMOSTRA TESTADA	DIMENSÕES (cm)		RELAÇÃO h/d	f <sub>CPPI</sub> (MPa)
	ALTURA (h)	DIÂMETRO (d)				ALTURA (h)	DIÂMETRO (d)		
17	30,0	15,1	2,0	35,2	37	30,1	15,2	2,0	39,6
18	30,1	15,0	2,0	37,3	38	30,1	15,0	2,0	37,2
19	30,1	15,1	2,0	24,1	39	30,1	15,0	2,0	36,9
20	30,1	15,1	2,0	30,3	40	30,2	15,1	2,0	33,6
21	29,9	15,0	2,0	33,2	41	30,0	15,0	2,0	39,8
22	30,0	15,1	2,0	34,9	42	30,0	15,1	2,0	37,7
23	30,1	15,2	2,0	34,6	43	30,1	15,1	2,0	38,5
24	30,2	15,1	2,0	36,9	44	30,1	15,1	2,0	38,5
25	30,0	15,0	2,0	37,2	45	30,0	15,0	2,0	35,2
26	30,1	15,0	2,0	40,5	46	30,1	14,9	2,0	30,4
27	30,0	15,0	2,0	41,6	47	30,1	15,1	2,0	33,5
28	30,2	15,1	2,0	33,7	48	30,2	15,0	2,0	40,6
29	30,0	15,1	2,0	36,5	49	30,0	15,0	2,0	40,6
30	29,9	15,0	2,0	33,2	54	30,0	15,0	2,0	33,4
31	30,0	15,0	2,0	35,8	55	30,1	15,2	2,0	31,4
32	30,0	15,0	2,0	31,4	56	30,2	15,0	2,0	29,4
33	30,0	15,1	2,0	38,1	57	30,1	15,0	2,0	40,2
34	30,0	15,0	2,0	36,7	58	30,0	14,9	2,0	36,7
35	30,1	15,0	2,0	39,0	59	30,2	15,0	2,0	35,1
36	30,1	15,0	2,0	39,2	-	-	-	-	-
ANÁLISE DOS RESULTADOS									
INVESTIGAÇÃO DOS DADOS QUANTO A PRESENÇA DE OUTLIERS	ESTATÍSTICA	Resistência Média do lote - $\mu$	35,8	MPa	NENHUMA RAZÃO FÍSICA FOI OBSERVADA DURANTE A REALIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS QUE JUSTIFICASSEM A EXCLUSÃO DE QUAISQUER UM DOS VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO OBTIDOS.				
		Variância - $s^2$	13,7	-					
		Desvio Padrão - s	3,7	MPa					
		Coef. Variação - $\delta$	10,3	%					
		nº de amostras - n	39	UNIDADE					
		Menor valor - f <sub>CPPI</sub>	24,1	MPa					
	Maior valor - f <sub>CPPI</sub>	41,6	MPa						
	QUARTIS	J1 =	33,3	MPa	APENAS A RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO OBTIDA COM A AMOSTRA 19 FOI EXCLUÍDA, POR SER INFERIOR AO VALOR CALCULADO COMO LIMITE INFERIOR NO MÉTODO DOS QUARTIS, OU SEJA: LI=25,9 MPa > f <sub>CPPI_19</sub> =24,1 MPa.				
		J3 =	38,3	MPa					
		dj = J3 - J1	5,0	MPa					
		1.5*dj	7,5	MPa					
LI =		25,9	MPa						
LS =	45,8	MPa							
ESTATÍSTICA APÓS INVESTIGAÇÃO DE OUTLIERS	ESTATÍSTICA	Resistência Média do lote - $\mu$	36,1	MPa	ESTES VALORES SERÃO UTILIZADOS NA SEGUNDA ETAPA DA ANÁLISE DOS DADOS, OU SEJA, NA REALIZAÇÃO DOS TESTES DE COMPARAÇÃO F e t de Student.				
		Variância - $s^2$	10,2	-					
		Desvio Padrão - s	3,2	MPa					
		Coef. Variação - $\delta$	8,8	%					
		nº de amostras - n	38	UNIDADE					
		Menor valor - f <sub>CPPI</sub>	29,4	MPa					
Maior valor - f <sub>CPPI</sub>	41,6	MPa							

Tabela 5.3- Resistência à compressão dos CPPII (10x20) cm rompidos no mesmo período em que os testemunhos.

CPPII (10X20) cm									
Nº DA AMOSTRA TESTADA	DIMENSÕES (cm)		RELAÇÃO h/d	f <sub>CPPII</sub> (MPa)	Nº DA AMOSTRA TESTADA	DIMENSÕES (cm)		RELAÇÃO h/d	f <sub>CPPII</sub> (MPa)
	ALTURA (h)	DIÂMETRO (d)				ALTURA (h)	DIÂMETRO (d)		
1	20,3	10,1	2,0	35,8	31	20,0	9,9	2,0	-
2	20,0	10,1	2,0	35,7	32	20,0	10,0	2,0	25,0
3	20,3	10,1	2,0	33,0	33	20,1	10,0	2,0	38,3
4	20,0	10,1	2,0	39,8	34	20,1	10,1	2,0	38,7
5	20,0	10,3	1,9	30,8	35	20,0	10,1	2,0	37,4
6	20,4	9,9	2,1	39,5	36	20,0	10,0	2,0	24,2
7	20,3	9,9	2,1	34,2	37	20,0	10,1	2,0	36,7
8	20,1	10,0	2,0	38,3	38	20,0	10,1	2,0	36,1
9	20,2	10,0	2,0	34,3	39	19,9	10,0	2,0	36,2
10	20,2	10,0	2,0	36,6	40	20,2	9,9	2,0	37,8
11	20,1	10,1	2,0	34,5	41	19,9	10,1	2,0	35,7
12	20,1	10,1	2,0	36,4	42	20,1	10,1	2,0	35,4
13	20,0	10,1	2,0	27,3	43	20,1	9,9	2,0	32,5
14	20,1	10,1	2,0	28,3	44	20,0	10,0	2,0	37,2
15*	20,3	10,1	2,0	30,4	45	20,1	10,0	2,0	37,8
16	20,2	10,0	2,0	30,0	46	20,0	10,0	2,0	38,3
17	20,3	10,0	2,0	42,9	47	20,0	9,9	2,0	40,1
18	20,1	10,0	2,0	39,5	48	20,1	10,0	2,0	35,4
19	20,0	10,0	2,0	30,5	49	20,1	10,0	2,0	39,6
20	20,0	10,0	2,0	35,4	50	20,1	10,1	2,0	34,8
21	20,1	10,0	2,0	-	51	19,9	10,0	2,0	35,8
22	20,2	10,1	2,0	34,6	52	20,0	10,0	2,0	39,0
23	20,0	10,0	2,0	35,0	53	20,0	10,1	2,0	34,4
24	20,1	10,0	2,0	29,9	54	20,0	10,0	2,0	36,9
25	20,0	10,2	2,0	34,4	55	20,0	10,0	2,0	38,5
26	20,2	10,1	2,0	33,7	56	20,2	10,1	2,0	37,7
27	20,0	10,0	2,0	31,7	57	20,1	10,0	2,0	39,0
28	20,1	10,1	2,0	25,1	58	20,0	10,1	2,0	37,2
29	20,1	10,0	2,0	36,0	59	20,0	10,0	2,0	32,0
30	20,0	10,0	2,0	20,1	60	20,0	10,0	2,0	37,7
ANÁLISE DOS RESULTADOS									
INVESTIGAÇÃO DOS DADOS QUANTO A PRESENÇA DE OUTLIERS	ESTATÍSTICA	Resistência Média do lote - $\mu$	34,8	MPa	OS VALORES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DAS AMOSTRAS 21 E 31 NÃO FORAM CONSIDERADOS NO CÁLCULO DESTA ESTATÍSTICA POIS ESTAVAM INELEGÍVEIS.				
		Variância - $s^2$	19,5	-					
		Desvio Padrão - s	4,4	MPa					
		Coef. Variação - $\delta$	12,7	%					
		nº de amostras - n	58	UNIDADE					
		Menor valor - f <sub>CPPII</sub>	20,1	MPa					
	Maior valor - f <sub>CPPII</sub>	42,9	MPa						
	QUARTIS	J1 =	31,8	MPa		APENAS O VALOR DA RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DA AMOSTRA 30 FOI EXCLUÍDO POR FICAR ABAIXO DO VALOR CALCULADO COMO LIMITE INFERIOR.			
		J3 =	37,8	MPa					
		dj = J3 - J1	6,0	MPa					
		1.5*dj	8,9	MPa					
L=		22,9	MPa						
LS=	46,7	MPa							
ESTATÍSTICA APÓS INVESTIGAÇÃO DE OUTLIERS	Resistência Média do lote - $\mu$	35,1	MPa	ESTES VALORES SERÃO UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES F E t de Student, TAIS MÉTODOS SERÃO UTILIZADOS NA SEGUNDA ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS.					
	Variância - $s^2$	15,9	-						
	Desvio Padrão - s	4,0	MPa						
	Coef. Variação - $\delta$	11,4	%						
	nº de amostras - n	57,0	UNIDADE						
	Menor valor - f <sub>CPPII</sub>	25,1	MPa						
Maior valor - f <sub>CPPII</sub>	42,9	MPa							

A Tabela 5.2 e a Tabela 5.3 apresentaram o resumo da primeira etapa da análise dos resultados para todos os CP's de referência testados na segunda etapa de ensaios à compressão. Conforme mostrado nestas tabelas, a resistência média à compressão para as amostras com 15x30 cm e para as amostras com 10x20 cm é,

respectivamente, 36,1 MPa e 35,1 MPa, a significância desta diferença será avaliada na segunda etapa da análise dos dados.

### 5.2.2 DADOS DA EXTRAÇÃO, PREPARAÇÃO E ENSAIO À COMPRESSÃO DOS TESTEMUNHOS.

A extração dos testemunhos aconteceu após aproximadamente sete meses da data de concretagem. Após a extração os testemunhos foram medidos (altura e diâmetro), quando necessário suas extremidades foram aparadas, foram colocados para secagem ao ar no ambiente laboratorial para, então, serem capeados e ensaiados à compressão juntamente com os CP's de referência testados na segunda etapa do ensaio à compressão. O período compreendido entre a extração dos testemunhos e a realização do ensaio de resistência à compressão foi de aproximadamente 30 dias a fim de reduzir o gradiente de umidade formado, entre o exterior e o interior das amostras, durante o processo de extração.

As informações referentes às amostras que compõem cada um dos subgrupos de testemunhos estão mostradas nas tabelas 5.4 a 5.9 a seguir. Em tais tabelas há os dados: da extração, da preparação, do ensaio à compressão e a primeira etapa da análise dos resultados, ou seja, contêm os dados necessários à investigação dos “*outliers*” e a estatística final. É importante ressaltar que a estatística final é calculada após excluir do conjunto de dados os possíveis “*outliers*”, devendo ser determinada para cada um dos conjuntos de dados para, então, serem comparados, na segunda etapa da análise, através dos testes *F* e *t de Student* a fim de avaliar se as diferenças entre tais conjuntos de dados comparados são devidas às variações físicas impostas no plano experimental, ver tabelas 5.4 a 5.9.

Tabela 5.4- Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EP-20.

EP-20							
Nº DA AMOSTRA TESTADA	EXTRAÇÃO			DADOS DA RETIFICAÇÃO DAS EXTREMIDADES			ENSAIO Á COMPRESSÃO
	DIMENSÕES (cm)			TIPO DE RETIFICAÇÃO	DIMENSÕES (cm)		f <sub>EP-20</sub> (MPa)
	ALTURA (h)	DIÂMETRO (d)	RELAÇÃO h/d		ALTURA (h)	RELAÇÃO h/d	
1	20,5	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,3	2,0	30,0
2	20,1	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	30,2
3	20,2	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,3	2,0	26,8
4	20,1	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	24,1
5	20,0	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	30,0
6	20,4	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	39,1
7	20,2	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	42,5
8	19,4	9,1	2,1	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	44,1
9	19,8	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	40,9
10	20,4	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,3	2,0	40,9
11	20,2	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	37,6
12	20,2	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,3	2,0	32,3
13	20,2	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	43,1
14	20,0	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	26,1
15	20,5	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	19,5
16	19,8	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	38,5
17	20,2	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,8	2,0	29,4
18	20,3	9,8	2,1	Aparadas e capeadas	19,5	2,0	34,5
19	19,9	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,8	2,0	38,1
20	20,1	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,9	2,0	24,7
21	20,1	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,9	2,0	30,1
22	20,5	9,8	2,1	Aparadas e capeadas	19,7	2,0	31,5
23	20,3	9,9	2,1	Aparadas e capeadas	19,8	2,0	36,1
24	20,2	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,8	2,0	27,9
25	20,3	9,8	2,1	Aparadas e capeadas	19,7	2,0	31,8
26	20,2	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,8	2,0	31,4
27	20,1	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,8	2,0	28,7
28	20,3	9,8	2,1	Aparadas e capeadas	19,7	2,0	27,2
29	20,1	9,8	2,1	Aparadas e capeadas	19,5	2,0	29,3
30	20,0	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,7	2,0	32,6
ANÁLISE DOS RESULTADOS							
INVESTIGAÇÃO DOS DADOS QUANTO A PRESENÇA DE OUTLIERS	ESTATÍSTICA	Resistência Média do lote - $\mu$	33,4	MPa	AS AMOSTRAS 4 E 15 NÃO FORAM CONSIDERADAS NO CÁLCULO DESTA ESTATÍSTICA, POIS, RESPECTIVAMENTE, CAIU DA BANCADA ANTES DO ENSAIO À COMPRESSÃO E APRESENTOU-SE COM O CAPEAMENTO EXCESSIVAMENTE ESPESSO.		
		Variância - $s^2$	31,9	-			
		Desvio Padrão - s	5,7	MPa			
		Coef. Variação - $\delta$	16,9	%			
		nº de amostras - n	28,0	UNIDADE			
		Menor valor - f <sub>EP-20</sub>	19,5	MPa			
		Maior valor - f <sub>EP-20</sub>	44,1	MPa			
	QUARTIS	J1 =	29,6	MPa	NENHUM VALOR CONSIDERADO FICOU FORA DO INTERVALO DEFINIDO, PELO LIMITE INFERIOR E SUPERIOR, NO MÉTODO DO QUARTIS.		
		J3 =	37,2	MPa			
		dj = J3 - J1	7,6	MPa			
		1.5*dj	11,4	MPa			
		Lf=	18,2	MPa			
		LS=	48,7	MPa			
ESTATÍSTICA APÓS INVESTIGAÇÃO DE OUTLIERS	Resistência Média do lote - $\mu$	33,4	MPa	ESTES VALORES SERÃO UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES F E t de Student, TAIS MÉTODOS SERÃO UTILIZADOS NA SEGUNDA ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS.			
	Variância - $s^2$	31,9	-				
	Desvio Padrão - s	5,7	MPa				
	Coef. Variação - $\delta$	16,9	%				
	nº de amostras - n	28,0	UNIDADE				
	Menor valor - f <sub>EP-20</sub>	19,5	MPa				
	Maior valor - f <sub>EP-20</sub>	44,1	MPa				

Conforme mostrado na Tabela 5.4, a maioria dos testemunhos do subgrupo EP-20 resultaram em amostras com relação altura diâmetro superior a dois sendo

necessário, antes da realização do ensaio à compressão, retificar suas extremidades, aparando-as, para que esta relação ficasse igual a das amostras de referência, ou seja, igual a dois. Desta maneira, após obter os resultados de resistência à compressão, os quais estavam livres da influência do uso de fatores de correção, calculou-se a estatística do lote EP-20, desconsiderando os valores obtidos com o ensaio das amostras de número 4 e 15, já que as razões citadas na Tabela 5.4 tornaram estes valores duvidosos. Por conseguinte, através do método dos Quartis definiu-se o limite inferior e o superior para investigar se todos os valores estavam dentro do intervalo, **[18,2 MPa ; 48,7 MPa]**, sendo todos os valores considerados consistentes manteve-se a estatística calculada devendo a mesma ser utilizada na 2ª Etapa da análise dos dados.

A Tabela 5.5, a seguir, mostra que durante o processo de broqueamento a amostra de número 20 do subgrupo EN-20 quebrou, sendo devido a esta variação física, não controlada, excluída do conjunto de dados. As demais amostras deste subgrupo antes de serem ensaiadas à compressão, pela mesma razão que nos testemunhos do subgrupo EP-20, tiveram que ter suas extremidades aparadas para ficarem com a relação altura diâmetro igual a dois. Em seguida, obteve-se a resistência à compressão de cada uma das amostras e realizou-se a primeira etapa da análise, na qual verificou-se que nenhum dos valores obtidos deveriam ser considerados **“outliers”**, mantendo-se, portanto, a estatística calculada, ver todo o resumo desta etapa da análise para este subgrupo na Tabela 5.5 a seguir.

Tabela 5.5-Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EN-20.

EN-20							
Nº DA AMOSTRA TESTADA	DADOS DA EXTRAÇÃO			DADOS DA RETIFICAÇÃO DAS EXTREMIDADES		ENSAIO À COMPRESSÃO	
	DIMENSÕES (cm)			TIPO DE RETIFICAÇÃO	DIMENSÕES (cm)		f <sub>EN-20</sub> (MPa)
	ALTURA (h)	DIÂMETRO (d)	RELAÇÃO h/d		ALTURA (h)	RELAÇÃO h/d	
1	20,0	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	36,8
2	20,0	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	24,2
3	20,2	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	31,9
4	20,2	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	34,9
5	20,2	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	30,6
6	20,2	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	34,3
7	20,1	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,5	2,0	24,2
8	20,3	9,8	2,1	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	31,9
9	20,1	9,9	2,0	Aparadas e capeadas	19,8	2,0	33,0
10	20,1	9,9	2,0	Aparadas e capeadas	19,5	2,0	32,9
11	20,1	9,9	2,0	Aparadas e capeadas	19,7	2,0	34,7
12	20,1	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	36,4
13	20,2	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	27,1
14	19,9	9,9	2,0	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	29,9
15	20,1	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	38,3
16	20,3	9,8	2,1	Aparadas e capeadas	19,5	2,0	34,0
17	20,1	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	34,7
18	20,2	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	38,0
19	19,8	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,7	2,0	30,6
20	AMOSTRA QUEBRADA DURANTE O PROCESSO DE EXTRAÇÃO						
21	20,1	9,9	2,0	Aparadas e capeadas	19,5	2,0	36,5
22	20,2	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,4	2,0	34,9
23	20,1	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	34,3
24	20,1	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,6	2,0	33,2
25	20,0	9,8	2,0	Aparadas e capeadas	19,5	2,0	36,1
26	20,1	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,3	2,0	38,7
27	20,1	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,3	2,0	28,4
28	20,1	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,3	2,0	36,0
29	20,3	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,2	2,0	33,9
30	20,2	9,1	2,2	Aparadas e capeadas	18,3	2,0	37,7
ANÁLISE DOS RESULTADOS							
INVESTIGAÇÃO DOS DADOS QUANTO A PRESENÇA DE OUTLIERS	ESTATÍSTICA	Resistência Média do lote - $\mu$	33,4	MPa	A AMOSTRA DE Nº 20 QUEBROU DURANTE O PROCESSO DE EXTRAÇÃO E OS VALORES DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO OBTIDO COM AS DEMAIS AMOSTRAS FORAM TODOS CONSIDERADOS NO CÁLCULO DESTA ESTATÍSTICA, JÁ QUE NENHUMA VARIAÇÃO FÍSICA NÃO PREVISTA FOI OBSERVADA PARA AS MESMAS.		
		Variância - $s^2$	14,8	-			
		Desvio Padrão - $s$	3,8	MPa			
		Coef. Variação - $\delta$	11,5	%			
		nº de amostras - $n$	29,0	UNIDADE			
		Menor valor - $f_{EN-20}$	24,2	MPa			
		Maior valor - $f_{EN-20}$	38,7	MPa			
	QUARTIS	$J1 =$	30,8	MPa	NENHUM VALOR CONSIDERADO FICOU FORA DO INTERVALO, [23,0 MPa ; 43,8 MPa], DEFINIDO, RESPECTIVAMENTE, PELO LIMITE INFERIOR E SUPERIOR NO MÉTODO DO QUARTIS.		
		$J3 =$	36,0	MPa			
		$dj = J3 - J1$	5,2	MPa			
		$1.5 * dj$	7,8	MPa			
		$Ll =$	23,0	MPa			
		$Ls =$	43,8	MPa			
ESTATÍSTICA APÓS INVESTIGAÇÃO DE OUTLIERS	Resistência Média do lote - $\mu$	33,4	MPa	ESTES VALORES SERÃO UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES F E t de Student, TAIS MÉTODOS SERÃO UTILIZADOS NA SEGUNDA ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS.			
	Variância - $s^2$	14,8	-				
	Desvio Padrão - $s$	3,8	MPa				
	Coef. Variação - $\delta$	11,5	%				
	nº de amostras - $n$	29,0	UNIDADE				
	Menor valor - $f_{EN-20}$	24,2	MPa				
	Maior valor - $f_{EN-20}$	38,7	MPa				

Conforme apresentado na Tabela 5.4 e na Tabela 5.5, os resultados determinados com o ensaio das amostras dos Subgrupos EP-20 e EN-20 não foram corrigidos em relação à altura diâmetro, isto porque, as variações dos diâmetros comerciais das brocas utilizadas nas extratoras resultaram em amostras com diâmetros inferiores a 10 cm implicando, devido as suas alturas iguais a, aproximadamente, vinte centímetros, em uma razão altura diâmetro superior a dois. Nestas condições, segundo as prescrições normativas, antes do ensaio à compressão, as extremidades das amostras devem ser retificadas para obtenção de uma razão com valor igual a dois para, assim, não precisarem de correção, da mesma forma que as amostras padronizadas ou de referência. As resistências médias determinadas na estatística final tanto para o Subgrupo EP-20 quanto para o Subgrupo EN-20 foi 33,4 MPa, porém, os demais parâmetros estatísticos foram diferentes. Assim, nos próximos subitens deste capítulo, será avaliada estatisticamente a significância de tal igualdade. Os demais subgrupos de testemunhos, EP-15, EP-10, EN-15 e EN-10, terão a primeira etapa de suas análises apresentadas nas tabelas 5.6 até a 5.9, mostradas a seguir.

No entanto, antes de realizar a investigação dos **“outliers”** foi necessário corrigir em relação à altura diâmetro os valores da resistência à compressão determinado com o ensaio de cada testemunho destes subgrupos, isto porque, as extrações resultaram em amostras com razão altura diâmetro inferior a dois. Por conseguinte, determinou-se para cada conjunto de dados a estatística final, a qual será utilizada na segunda etapa da análise dos resultados, onde as resistências médias de tais subgrupos de testemunhos serão comparadas à resistência média obtida com o ensaio das amostras referência a fim de avaliar a influência do broqueamento e/ou retificação na resistência à compressão determinada a partir de amostras com razão altura diâmetro inferior a dois.

É importante lembrar que, as diferenças nos diâmetros comerciais das brocas utilizadas na extratora ocasionaram variações nos diâmetros dos testemunhos tornando-os inferiores a 10 cm sendo. Portanto, considerado relevante na determinação do fator de correção para relação altura diâmetro dos testemunhos dos subgrupos EP-15, EN-15, EP-10 e EN-10 a utilização da equação proposta pelo ACI 214.4R/2003, já que esta norma considera a influência do diâmetro, da altura e da condição de umidade das amostras para determinar este fator, ver Equação 2.3 e tabelas 5.6 e 5.7 a seguir.



Tabela 5.6- Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EP-15.

EP-15									
Nº DA AMOSTRA TESTADA	DADOS DA EXTRAÇÃO			DADOS DA RETIFICAÇÃO DAS EXTREMIDADES			ENSAIO À COMPRESSÃO	CORREÇÃO SEGUNDO O ACI 214.4R-2003	
	DIMENSÕES (cm)			TIPO DE RETIFICAÇÃO	DIMENSÕES (cm)			$f_{EP-15}$ (MPa)	$F_{h/d}$ - FATOR DE CORREÇÃO $h/d$
	ALTURA (h)	DIÂMETRO (d)	RELAÇÃO $h/d$		ALTURA (h)	RELAÇÃO $h/d$			
1	15,6	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,0	1,6	31,7	0,98	31,2
2	15,3	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	14,8	1,6	21,6	0,98	21,2
3	15,2	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,0	1,6	41,1	0,98	40,4
4	16,0	9,1	1,8	Aparadas e capeadas	15,0	1,6	33,4	0,98	32,9
5	15,6	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,2	1,7	33,7	0,99	33,2
6	15,7	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,3	1,7	26,4	0,99	26,1
7	15,7	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,3	1,7	20,8	0,99	20,5
8	15,8	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,5	1,7	28,1	0,99	27,8
9	15,4	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,0	1,6	28,1	0,98	27,6
10	15,3	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,0	1,6	32,0	0,98	31,5
11	15,2	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,1	1,7	25,0	0,98	24,6
12	15,9	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,0	1,6	28,5	0,98	28,1
13	15,5	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,0	1,6	42,5	0,98	41,8
14	15,4	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	14,9	1,6	27,3	0,98	26,8
15	15,5	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	14,7	1,6	41,1	0,98	40,3
16	15,5	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	14,9	1,6	44,1	0,98	43,4
17	15,8	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,0	1,6	29,7	0,98	29,2
18	15,7	9,9	1,6	Aparadas e capeadas	14,9	1,5	36,8	0,97	35,6
19	15,6	9,9	1,6	Aparadas e capeadas	14,9	1,5	24,0	0,97	23,2
20	15,4	9,9	1,6	Aparadas e capeadas	15,2	1,5	35,8	0,97	34,8
21	15,5	9,9	1,6	Aparadas e capeadas	15,3	1,5	36,1	0,97	35,2
22	15,5	9,9	1,6	Aparadas e capeadas	14,9	1,5	27,5	0,97	26,6
23	15,6	9,9	1,6	Aparadas e capeadas	15,2	1,5	32,7	0,97	31,8
24	15,6	9,9	1,6	Aparadas e capeadas	15,4	1,6	28,1	0,97	27,4
25	15,5	9,9	1,6	Aparadas e capeadas	15,1	1,5	33,6	0,97	32,6
26	15,4	9,9	1,5	Aparadas e capeadas	15,0	1,5	27,5	0,97	26,7
27	15,6	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,1	1,7	33,9	0,98	33,4
28	15,3	9,9	1,5	Aparadas e capeadas	15,0	1,5	26,7	0,97	25,9
29	15,6	9,1	1,7	Aparadas e capeadas	15,3	1,7	36,5	0,99	36,0
30	15,3	9,9	1,5	Aparadas e capeadas	14,8	1,5	18,0	0,96	17,4
ANÁLISE DOS RESULTADOS									
INVESTIGAÇÃO DOS DADOS QUANTO A PRESENÇA DE OUTLIERS	ESTATÍSTICA	Resistência Média do lote - $\mu$	30,4	MPa	A ESTATÍSTICA FOI CALCULADA COM TODOS OS VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO OBTIDOS, JÁ QUE NENHUMA VARIAÇÃO FÍSICA, NÃO PREVISTA, FOI OBSERVADA DURANTE A REALIZAÇÃO DOS PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS. PORÉM, TODOS OS VALORES FORAM CORRIGIDOS EM RELAÇÃO A ALTURA DIÂMETRO, SEGUINDO AS RECOMENDAÇÕES DO ACI 214.4R-2003.				
		Variância - $s^2$	40,6	-					
		Desvio Padrão - $s$	6,4	MPa					
		Coef. Variação - $\delta$	20,9	%					
		nº de amostras - $n$	30,0	UNIDADE					
		Menor valor - $f_{EP-15}$	17,4						
		Maior valor - $f_{EP-15}$	43,4						
	QUARTIS	$J1 =$	26,1	MPa		NENHUM DOS VALORES OBTIDOS FOI CONSIDERADO "outliers", POIS, TODOS ESTAVAM COMPREENDIDOS NO INTERVALO, [13.2 MPa ; 47.6 MPa], DEFINIDO PELO MÉTODO DOS QUARTIS.			
		$J3 =$	34,7	MPa					
		$dj = J3 - J1$	8,6	MPa					
		$1,5 \cdot dj$	12,9	MPa					
		$Ll =$	13,2	MPa					
		$Ls =$	47,6	MPa					
ESTATÍSTICA APÓS INVESTIGAÇÃO DE OUTLIERS	Resistência Média do lote - $\mu$	30,4	MPa	ESTES VALORES SERÃO UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES F E t de Student, TAIS MÉTODOS SERÃO UTILIZADOS NA SEGUNDA ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS.					
	Variância - $s^2$	40,6	-						
	Desvio Padrão - $s$	6,4	MPa						
	Coef. Variação - $\delta$	20,9	%						
	nº de amostras - $n$	30,0	UNIDADE						
	Menor valor - $f_{EP-15}$	17,4	MPa						
	Maior valor - $f_{EP-15}$	43,4	MPa						

Conforme apresentado, na Tabela 5.6, após a correção dos valores de resistência à compressão em relação à altura diâmetro inferior a dois dos testemunhos do subgrupo EP-15, realizou-se, da mesma forma, que o apresentado para os CP's de referência e para as amostras dos subgrupos EP-20 e EN-20, a primeira etapa da análise dos resultados, na qual nenhum valor foi excluído do conjunto de dados. O valor da resistência média obtido na estatística final deste subgrupo foi 30,4 MPa menor que o resultado encontrado com os subgrupos de referências e com os subgrupos EP-20 e EN-20. A resistência média obtida com o subgrupo EP-15 será, na próxima etapa da análise dos dados, comparada à resistência obtida com os CP's de referência CPPII (10x20) cm a fim de avaliar o efeito do broqueamento e/ou retificação somado a influência do uso do fator de correção para a razão altura diâmetro inferior a dois.

Assim como no subgrupo EP-15, as resistências à compressão dos conjuntos de dados EN-15, EP-10 e EN-10, obtidos com o ensaio de amostras com razão altura diâmetro também inferior a dois, deverão ser corrigidas em relação à influência desta razão em suas resistências à compressão, antes de ser realizada a primeira etapa da análise dos dados, ver tabelas 5.7 a 5.9 a seguir.

Tabela 5.7- Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EN-15.

EN-15							
Nº DA AMOSTRA TESTADA	DADOS DA EXTRAÇÃO			TIPO DE RETIFICAÇÃO DAS EXTREMIDADES	ENSAIO À COMPRESSÃO	CORREÇÃO SEGUNDO O ACI 214.4R-2003	
	DIMENSÕES (cm)				$f_{EN-15}$ (MPa)	$F_{h/d}$ - FATOR DE CORREÇÃO $h/d$	$f_{EN-15}$ (MPa) APÓS APLICAR O FATOR $F_{h/d}$
	ALTURA (h)	DIÂMETRO (d)	RELAÇÃO $h/d$				
1	15,3	9,1	1,7	Apenas capeadas	27,4	0,99	27,1
2	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	34,7	0,99	34,2
3	15,1	9,1	1,7	Apenas capeadas	26,2	0,98	25,8
4	15,1	9,1	1,7	Apenas capeadas	41,9	0,99	41,3
5	15,0	9,1	1,6	Apenas capeadas	27,1	0,98	26,7
6	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	35,1	0,99	34,6
7	15,3	9,1	1,7	Apenas capeadas	29,9	0,99	29,5
8	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	39,7	0,99	39,1
9	15,3	9,1	1,7	Apenas capeadas	29,4	0,99	29,0
10	15,3	9,1	1,7	Apenas capeadas	29,7	0,99	29,3
11	15,1	9,1	1,7	Apenas capeadas	34,5	0,98	34,0
12	15,3	9,1	1,7	Apenas capeadas	30,4	0,99	29,9
13	15,1	9,1	1,7	Apenas capeadas	27,0	0,98	26,6
14	15,1	9,1	1,7	Apenas capeadas	23,1	0,98	22,8
15	15,1	9,1	1,7	Apenas capeadas	Amostra não ensaiada à compressão devido a presença de uma agregado argiloso		
16	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	26,2	0,99	25,8
17	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	24,4	0,98	24,0
18	14,9	9,1	1,6	Apenas capeadas	34,3	0,98	33,8
19	15,3	9,1	1,7	Apenas capeadas	30,7	0,99	30,2
20	15,0	9,1	1,6	Apenas capeadas	27,7	0,98	27,2
21	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	25,7	0,98	25,4
22	15,3	9,1	1,7	Apenas capeadas	24,7	0,99	24,3
23	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	20,5	0,99	20,2
24	15,0	9,1	1,6	Apenas capeadas	35,9	0,98	35,3
25	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	Valor de resistência inalegível		
26	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	34,1	0,99	33,6
27	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	27,6	0,99	27,2
28	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	25,2	0,99	24,8
29	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	32,2	0,99	31,7
30	15,2	9,1	1,7	Apenas capeadas	25,6	0,99	25,2
ANÁLISE DOS RESULTADOS							
INVESTIGAÇÃO DOS DADOS QUANTO A PRESENÇA DE OUTLIERS	ESTATÍSTICA	Resistência Média do lote - $\mu$	28,8	MPa	AS AMOSTRAS DE NÚMERO 4, 15 E 25 NÃO FORAM CONSIDERADAS NO CÁLCULO DESTA ESTATÍSTICA, POIS, RESPECTIVAMENTE, FORAM EXTRAÍDAS DE FORMA INCLINADA, POR CONTER UM AGREGADO ARGILOSO E PELO FATO DO VALOR NÃO ESTAR ANOTADO DE FORMA LEGÍVEL.		
		Variância - $s^2$	20,3	-			
		Desvio Padrão - $s$	4,5	MPa			
		Coef. Variação - $\delta$	15,6	%			
		nº de amostras - $n$	27,0	UNIDADE			
		Menor valor - $f_{EN-15}$	20,2	MPa			
		Maior valor - $f_{EN-15}$	41,3	MPa			
	QUARTIS	$J1 =$	25,8	MPa		NENHUM VALOR CONSIDERADO FICOU FORA DO INTERVALO, [16,6 MPa ; 40,9MPa], DEFINIDO PELO MÉTODO DOS QUARTIS.	
		$J3 =$	31,8	MPa			
		$dj = J3 - J1$	6,1	MPa			
		$1,5 \cdot dj$	9,1	MPa			
		$L\bar{=}$	16,6	MPa			
		$LS=$	40,9	MPa			
		ESTATÍSTICA APÓS INVESTIGAÇÃO DE OUTLIERS	Resistência Média do lote - $\mu$	28,8			MPa
Variância - $s^2$	20,3		-				
Desvio Padrão - $s$	4,5		MPa				
Coef. Variação - $\delta$	15,6		%				
nº de amostras - $n$	27,0		UNIDADE				
Menor valor - $f_{EN-15}$	20,2		MPa				
Maior valor - $f_{EN-15}$	41,3		MPa				

Desta maneira, para o subgrupo EN-15 mostrado na Tabela 5.7, calculou-se estatística do lote após corrigir os valores de resistência à compressão em relação à razão altura diâmetro das amostras e após desconsiderar as amostras de número 4, 15 e 25, respectivamente, por ter sido extraída de forma inclinada em relação à superfície do bloco (ver Figura 5.1- (A) Extração correta - perpendicular à superfície do bloco destinada à extração; (B) Extração incorreta - inclinada em relação à superfície do bloco destinada à extração. 66

(B)), por ter ao longo de sua altura um agregado argiloso que se distinguia dos agregados da mistura (ver Figura 4.14) e por não ter sido anotado o valor da resistência à compressão de forma legível. Em seguida, definiu-se através do método dos Quartis o intervalo [16,6 MPa ; 40,9 MPa], no qual verificou-se que nenhum valor foi definido estatisticamente como “*outliers*” sendo, desta maneira, mantida a estatística já calculada para este subgrupo.

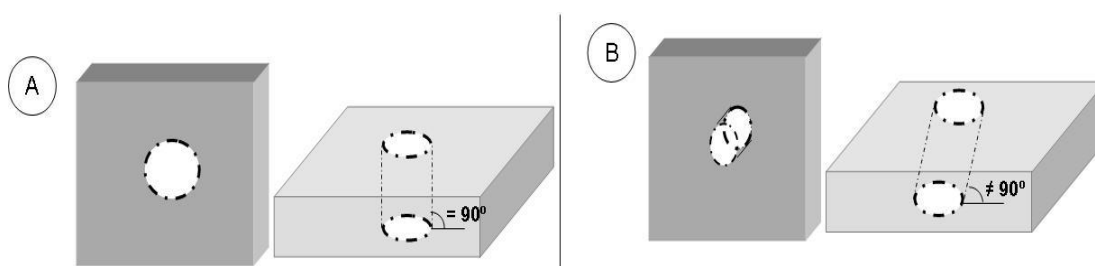


Figura 5.1- (A) Extração correta - perpendicular à superfície do bloco destinada à extração; (B) Extração incorreta - inclinada em relação à superfície do bloco destinada à extração.

Os dados dos procedimentos experimentais e da primeira etapa da análise dos resultados para os subgrupos EP-10 e EN-10 estão mostrados na Tabela 5.8 e na Tabela 5.9, a seguir. Observando-se estas tabelas verifica-se que as extrações resultaram em testemunhos com relação altura diâmetro em torno de 1.0.

Portanto, a resistência à compressão obtida com cada uma das amostras destes subgrupos foi também multiplicada pelos coeficientes de correção obtidos a partir da expressão proposta pelo ACI 214.4R/2003 a fim de minimizar os efeitos da razão altura diâmetro nesta propriedade e permitindo que estes subgrupos possam ser comparados, na segunda etapa da análise dos resultados, aos CP's de referência e entre si, da mesma forma que nos subgrupos EP-15 e EN-15.

Tabela 5.8- Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EP-10.

EP-10									
Nº DA AMOSTRA TESTADA	DADOS DA EXTRAÇÃO			DADOS DA RETIFICAÇÃO DAS EXTREMIDADES			ENSAIO À COMPRESSÃO	CORREÇÃO SEGUNDO O ACI 214.4R-2003	
	DIMENSÕES (cm)			TIPO DE RETIFICAÇÃO	DIMENSÕES (cm)		$f_{EP-10}$ (MPa)	$F_{hd}$ - FATOR DE CORREÇÃO h/d	$f_{EP-10}$ (MPa) APÓS APLICAR O FATOR - $F_{hd}$
	ALTURA (h)	DIÂMETRO (d)	RELAÇÃO h/d		ALTURA (h)	RELAÇÃO h/d			
1	10,2	9,1	1,1	Aparadas e Capeadas	9,9	1,1	44,8	0,89	40,1
2	10,0	9,1	1,1	Aparadas e Capeadas	9,9	1,1	40,4	0,89	36,1
3	10,0	9,1	1,1	Aparadas e Capeadas	9,9	1,1	31,9	0,89	28,4
4	10,1	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	38,7	0,90	34,7
5	9,7	9,1	1,1	Aparadas e Capeadas	9,5	1,0	39,7	0,88	35,1
6	10,0	9,1	1,1	Aparadas e Capeadas	9,6	1,1	38,6	0,89	34,2
7	9,9	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	40,2	0,89	36,0
8	10,1	9,1	1,1	Aparadas e Capeadas	9,9	1,1	40,7	0,89	36,4
9	10,0	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	37,5	0,90	33,6
10	10,2	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	32,7	0,90	29,4
11	10,2	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	30,8	0,90	27,6
12	9,9	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	29,3	0,89	26,1
13	10,2	9,1	1,1	Aparadas e Capeadas	9,6	1,1	34,2	0,89	30,3
14	9,9	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	18,5	0,89	16,4
15	10,1	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	33,6	0,90	30,1
16	10,1	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	40,9	0,90	36,8
17	9,8	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	46,5	0,90	41,6
18	10,1	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	27,2	0,89	24,3
19	10,0	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	34,0	0,90	30,5
20	10,1	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	27,9	0,89	25,0
21	10,0	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	35,3	0,89	31,6
22	9,9	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	27,8	0,89	24,8
23	10,2	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	22,0	0,90	19,7
24	10,1	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	37,9	0,90	34,1
25	9,9	9,1	1,1	Aparadas e Capeadas	9,6	1,1	39,7	0,89	35,2
26	10,0	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	30,2	0,89	27,0
27	10,2	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	15,9	0,89	14,2
28	9,9	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	25,5	0,89	22,7
29	9,9	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	26,4	0,89	23,5
30	9,8	9,1	1,1	Apenas Capeadas	-	-	24,5	0,89	21,7
ANÁLISE DOS RESULTADOS									
INVESTIGAÇÃO DOS DADOS QUANTO A PRESENÇA DE OUTLIERS	ESTATÍSTICA	Resistência Média do lote - $\mu$	29,6	MPa	DURANTE A REALIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE MOLDAGEM, EXTRAÇÃO, PREPARAÇÃO E ENSAIO NÃO SE OBSERVOU NENHUMA VARIAÇÃO FÍSICA QUE JUSTIFICASSE A EXCLUSÃO DE QUAISQUER UMA DAS AMOSTRAS. DESTA MANEIRA, ESTA ESTATÍSTICA FOI CALCULADA COM TODOS OS VALORES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO OBTIDOS.				
		Variância - $s^2$	46,2	-					
		Desvio Padrão - s	6,8	MPa					
		Coef. Variação - $\delta$	23,0	%					
		nº de amostras - n	30,0	UNIDADE					
		Menor valor - $f_{EP-10}$	14,2	MPa					
		Maior valor - $f_{EP-10}$	41,6	MPa					
	QUARTIS	$J1 =$	25,0	MPa	NENHUM VALOR CONSIDERADO FICOU FORA DO INTERVALO, [11,2 MPa ; 47,9 MPa], DEFINIDO, RESPECTIVAMENTE, PELO LIMITE INFERIOR E SUPERIOR NO MÉTODO DO QUARTIS.				
		$J3 =$	34,2	MPa					
		$dj = J3 - J1$	9,2	MPa					
		$1.5 \cdot dj$	13,8	MPa					
		$Ll =$	11,2	MPa					
		$LS =$	47,9	MPa					
ESTATÍSTICA APÓS INVESTIGAÇÃO DE OUTLIERS	Resistência Média do lote - $\mu$	29,6	MPa	ESTES VALORES SERÃO UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES $F$ E $t$ de Student, TAIS MÉTODOS SERÃO UTILIZADOS NA SEGUNDA ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS.					
	Variância - $s^2$	46,2	-						
	Desvio Padrão - s	6,8	MPa						
	Coef. Variação - $\delta$	23,0	%						
	nº de amostras - n	30,0	UNIDADE						
	Maior valor - $f_{EP-10}$	41,6	MPa						

Tabela 5.9- Dados da extração, preparo e ensaio à compressão dos testemunhos obtidos a partir dos blocos EN-10.

EN-10							
Nº DA AMOSTRA TESTADA	DADOS DA EXTRAÇÃO			TIPO DE RETIFICAÇÃO DAS EXTREMIDADES	ENSAIO À COMPRESSÃO	CORREÇÃO SEGUNDO O ACI 214.4R-2003	
	DIMENSÕES (cm)				$f_{EN-10}$ (MPa)	$F_{h/d}$ - FATOR DE CORREÇÃO h/d	$f_{EN-10}$ (MPa) APÓS APLICAR O FATOR - $F_{h/d}$
	ALTURA (h)	DIÂMETRO (d)	RELAÇÃO h/d				
1	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	23,5	0,89	21,0
2	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	43,4	0,90	39,0
3	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	39,2	0,90	35,3
4	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	25,3	0,89	22,6
5	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	26,4	0,90	23,7
6	10,3	9,1	1,1	Apenas capeado	45,8	0,91	41,5
7	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	29,1	0,90	26,1
8	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	27,0	0,89	24,1
9	10,3	9,1	1,1	Apenas capeado	27,6	0,90	24,8
10	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	26,4	0,90	23,6
11	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	32,8	0,90	29,5
12	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	20,8	0,89	18,6
13	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	27,0	0,90	24,2
14	10,3	9,1	1,1	Apenas capeado	24,5	0,90	22,0
15	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	32,7	0,90	29,4
16	10,3	9,1	1,1	Apenas capeado	24,3	0,90	21,9
17	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	29,6	0,90	26,6
18	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	37,2	0,90	33,5
19	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	43,5	0,90	39,2
20	10,3	9,1	1,1	Apenas capeado	35,7	0,90	32,2
21	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	27,6	0,90	24,7
22	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	33,2	0,90	29,8
23	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	26,5	0,90	23,7
24	10,3	9,1	1,1	Apenas capeado	34,7	0,90	31,3
25	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	29,5	0,90	26,5
26	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	40,9	0,90	36,9
27	10,2	9,1	1,1	Apenas capeado	42,3	0,90	38,2
28	10,5	9,1	1,2	Apenas capeado	23,0	0,90	20,8
29	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	35,6	0,90	32,0
30	10,1	9,1	1,1	Apenas capeado	22,7	0,89	20,3
ANÁLISE DOS RESULTADOS							
INVESTIGAÇÃO DOS DADOS QUANTO A PRESENÇA DE OUTLIERS	ESTATÍSTICA	Resistência Média do lote - $\mu$	28,1	MPa	DURANTE A REALIZAÇÃO DOS PROCESSOS EXPERIMENTAIS NÃO SE OBSERVOU NENHUMA VARIACÃO FÍSICA QUE JUSTIFICASSE A EXCLUSÃO DE QUAISQUER UMA DAS AMOSTRA. DESTA MANEIRA, ESTA ESTATÍSTICA FOI CALCULADA COM TODOS OS VALORES DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO OBTIDOS.		
		Variância - $s^2$	41,7	-			
		Desvio Padrão - s	6,5	MPa			
		Coef. Variação - $\delta$	23,0	%			
		nº de amostras - n	30,0	UNIDADE			
		Menor valor - $f_{EN-10}$	18,6	MPa			
		Maior valor - $f_{EN-10}$	41,5	MPa			
	QUARTIS	$J1 =$	23,8	MPa	NENHUM VALOR CONSIDERADO FICOU FORA DO INTERVALO, [10,7 MPa ; 45,5 MPa], DEFINIDO, RESPECTIVAMENTE, PELO LIMITE INFERIOR E SUPERIOR NO MÉTODO DO QUARTIS.		
		$J3 =$	32,5	MPa			
		$dj = J3 - J1$	8,7	MPa			
		$1.5 \cdot dj$	13,1	MPa			
		$LI =$	10,7	MPa			
		$LS =$	45,5	MPa			
ESTATÍSTICA APÓS INVESTIGAÇÃO DE OUTLIERS	Resistência Média do lote - $\mu$	28,1	MPa	ESTES VALORES SERÃO UTILIZADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS TESTES F E t de Student, TAIS MÉTODOS SERÃO UTILIZADOS NA SEGUNDA ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS.			
	Variância - $s^2$	41,7	-				
	Desvio Padrão - s	6,5	MPa				
	Coef. Variação - $\delta$	23,0	%				
	nº de amostras - n	30,0	UNIDADE				
	Menor valor - $f_{EN-10}$	18,6	MPa				
	Maior valor - $f_{EN-10}$	41,5	MPa				

Em resumo, conforme se observa na Tabela 5.8 e na Tabela 5.9, após a aplicação do fator de correção para a razão altura diâmetro inferior a dois,  $F_{h/d}$ , as resistências à compressão obtida com o ensaio das amostras dos subgrupos EP-10 e EN-10, foram investigada em relação à presença de “*outliers*”, constatando estatisticamente que não havia valores suspeitos a serem excluídos destes conjuntos de dados.

Portanto, após concluir para todos os subgrupos de amostras a primeira etapa da análise dos dados realizar-se-á no item a seguir a segunda etapa desta análise, a qual avaliará através dos testes estatísticos *F* e *t de Student* a significância das diferenças físicas entre os conjuntos de dados comparados.

### **5.3 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DA SEGUNDA ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS**

De acordo com as recomendações do ACI, não basta obter a resistência à compressão tem que se analisar os conjuntos de dados através da investigação dos “*outliers*” (1ª Etapa da análise dos dados) e, quando necessário, também deve ser feito comparações entre os resumos estatísticos dos conjuntos de dados (2ª Etapa da análise dos dados) para avaliar a significância das variações físicas entre os mesmos.

As tabelas anteriores apresentaram os resultados de resistência à compressão e a primeira etapa da análise dos resultados dos conjuntos de amostras idealizadas para atender ao objetivo principal da pesquisa. No entanto, a quantidade de amostras moldadas e as diferenças físicas existentes entre elas permitiram a partir da realização das comparações estatísticas, propostas pelo ACI, avaliar o efeito do broqueamento e/ou retificação na resistência obtida com os testemunhos e também avaliar a influência de outros fatores na resistência à compressão das amostras moldadas. As comparações realizadas entre os conjuntos de dados e os objetivos pretendidos estão mostradas na tabela a seguir:

Tabela 5.10- Conjuntos de dados comparados e os objetivos pretendidos com as comparações.

COMPARAÇÕES ENTRE OS CONJUNTOS DE DADOS	OBJETIVO
CPPII 10X20 cm e EP-20	AVALIAR SE AS RESISTÊNCIAS OBTIDAS ATRAVÉS DE TESTEMUNHOS EXTRAÍDOS DE FORMA PARALELA E NORMAL A DIREÇÃO DE CONCRETAGEM SÃO AFETADAS PELO BROQUEAMENTO E/OU RETIFICAÇÃO DAS EXTREMIDADES PARA AS DIFERENTES RAZÕES ALTURA DIÂMETRO, h/d, DAS AMOSTRAS ENSAIADAS
CPPII 10X20 cm e EP-15	
CPPII 10X20 cm e EP-10	
CPPII 10X20 cm e EN-20	
CPPII 10X20 cm e EN-15	
CPPII 10X20 cm e EN-10	
EP-20 e EN-20	AVALIAR SE O SENTIDO DA EXTRAÇÃO INFLUENCIA OS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS AMOSTRAS EXTRAÍDAS COM DIFERENTES RAZÕES ALTURA DIÂMETRO.
EP-15 e EN-15	
EP-10 e EN-10	
CPPI 15X30 CM e CPPII 10X20 cm	AVALIAR SE A DIFERENÇA ENTRE O VOLUME DAS AMOSTRAS TESTADAS EM CADA CONJUNTO DE DADOS INFLUENCIA OS RESULTADOS DE RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO MESMO QUANDO ESTAS SÃO ROMPIDAS COM A RÓTULA DA PRENSA APROPRIADA AOS SEUS DIÂMETROS.

Portanto, utilizou-se para comparar os vários conjuntos de dados apresentados na Tabela 5.10 os testes estatísticos *F* e *t de Student*, ambos foram recomendados pelo ACI e consistem em comparar os resumos estatísticos de dois conjuntos de dados para avaliar se as diferenças entre eles são devidas à aleatoriedade natural dos resultados obtidos ou devido às variações físicas impostas no plano experimental. Porém, para realizar estes testes é necessário, segundo o ACI, admitir que os valores de resistência à compressão obtido em cada conjunto de dados seguem uma distribuição normal de probabilidades.

É importante lembrar que os cuidados para se admitir que os valores da resistência à compressão obtidos em cada conjunto de dados seguiriam uma distribuição normal de probabilidades foram tomados durante o planejamento experimental, onde se levou em conta as recomendações de BUSSAB e MORETIN (1987) moldando-se em cada subgrupo de amostras pelo menos 30 exemplares. Além disso, aos vinte oito dias de idade foram rompidas 18 amostras do subgrupo CPPI (15x30) cm a fim de certificarmos que a resistência do concreto utilizado na moldagem de todas as amostras tinha resistência média inferior a 70 MPa podendo, segundo a consideração relatada no ACI 214R-2003 e transcrita dos estudos de COOK (1982), serem tratados, então, como normalmente distribuídos. Porém, para a realização dos testes *F* e *t de Student* o ACI ainda prescreve que seja adotado um nível de significância igual a 5%.



Portanto, nesta seção serão comentados os resultados obtidos com a realização da segunda etapa da análise dos resultados, ou seja, com a realização dos testes *F e t de Student* propostos para comparar os subgrupos de amostras apresentados na Tabela 5.10 admitindo-se, para tais comparações, que os valores de resistência à compressão obtido em cada conjunto de dados seguem uma distribuição normal de probabilidades e que os testes estatísticos serão realizados adotando-se um nível de significância igual a 5%, tudo conforme recomendado no ACI 214.4R/003.

### 5.3.1 COMPARAÇÃO ENTRE O SUBGRUPO CPPII (10X20) CM E OS SUBGRUPOS DE TESTEMUNHOS

Durante a revisão bibliográfica verificou-se que o processo de broqueamento pode causar microfissuras entre o agregado e a pasta de concreto, além de, deixar o agregado exposto podendo, inclusive, ser expelido durante o ensaio de resistência à compressão, ver Figura 2.1. A fim de avaliar se os testemunhos extraídos na direção paralela e normal à concretagem são afetados por este processo de broqueamento, na medida em que se varia a razão altura diâmetro das amostras, direcionou-se todo planejamento experimental ao atendimento deste objetivo. Lembremos que neste estudo, há casos em que está somado ao efeito do broqueamento à retificação das extremidades das amostras, por exemplo, as amostras dos subgrupos EP-20 foram todas aparadas devido à necessidade de deixar as amostras com razão altura diâmetro igual a dois.

Então, para atender ao objetivo da pesquisa, foram moldadas amostras sob condições padronizadas, para que os valores de resistência à compressão obtido com as mesmas fossem tomados como referência, buscando a partir da comparação entre estas amostras e os testemunhos avaliar a influência do broqueamento e/ou retificação das extremidades na resistência das amostras extraídas. Dentre as amostras padronizadas escolheram-se as amostras CPPII (10x20) cm para serem comparadas aos testemunhos, pois, seus diâmetros são iguais a 10 cm aproximando-se mais do diâmetro das amostras extraídas.

Assim, as tabelas a seguir apresentarão os resultados dos testes *F e t de Student* realizado com os resumos estatísticos obtidos com as amostras CPPII (10x20) cm e com as amostras de cada subgrupo de testemunho a fim de avaliar o efeito do broqueamento e/ou retificação das extremidades em cada caso.

### 5.3.1.1 Comparação entre CPPII (10x20) cm e os subgrupos de testemunhos EP-20 e EN-20

A comparação entre os resumos estatísticos dos subgrupos de testemunhos EP-20 e EN-20 e as amostras obtidas sob condições padronizadas, CPPII (10x20) cm, permitiram avaliar, através da realização dos testes *F* e *t de Student*, se é relevante, a um nível de significância igual a 5%, à influência do broqueamento e retificação das extremidades na resistência à compressão de testemunhos extraídos de forma paralela à concretagem, EP-20, e de forma normal à concretagem, EN-20, mas, lembra-se que em ambos os subgrupos as amostras foram ensaiadas com a razão altura diâmetro igual a dois,  $h/d=2$ . O Gráfico 5.1 e a Tabela 5.11 a seguir mostrarão, respectivamente, os valores das resistências médias à compressão dos subgrupos de amostras EP-20, CPPII (10x20) cm e EN-20 e os resumos dos testes *F* e *t de Student* para a comparação entre: EP-20x CPPII (10x20) cm e EN-20 x CPPII (10x20) cm.

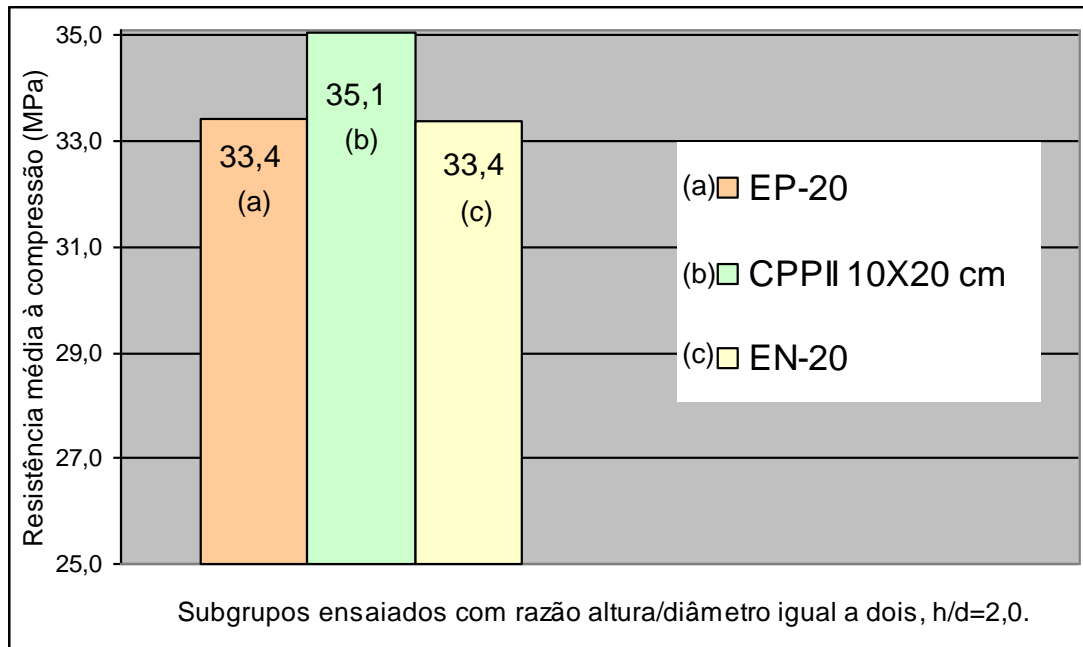


Gráfico 5.1- Resistência média à compressão dos subgrupos CPPII (10x20) cm, EP-20 e EN-20.

Tabela 5.11- Resultado dos testes *F* e *t de Student* realizado entre os subgrupos EP-20 x CPPII (10x20) cm e EN-20 x CPPII (10x20) cm.

2ª ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS		SUBGRUPOS COMPARADOS							
		CPPII 10X20 cm X EP-20			CPPII 10X20 cm X EN-20				
		EP-20	CPPII 10X20 cm	RELAÇÃO $f_{CPPII} / f_{EP-20}$	EN-20	CPPII 10X20 cm	RELAÇÃO $f_{CPPII} / f_{EN-20}$		
ESTATÍSTICA APÓS INVESTIGAÇÃO DOS "Outliers"	Média - ( $\mu$ ) - MPa	33,4	35,1	1,05	33,4	35,1	1,05		
	Variância - ( $s^2$ )	31,9	15,9		14,8	15,9			
	Desvio Padrão - ( $s$ ) - MPa	5,7	4,0		3,8	4,0			
	nº de amostras após a exclusão dos "outliers" - ( $n$ ) - Unidade	28	57		29	57			
	Nível de significância - ( $\alpha$ ) - %	5			5				
TESTES ESTATÍSTICOS P/ COMPARAÇÃO ENTRE DOIS CONJUNTOS DE DADOS	HIPÓTESE ESTABELECIDA PARA O TESTE <i>F</i>		$S^2_{EP-20} = S^2_{CPPII}$		$S^2_{EN-20} = S^2_{CPPII}$				
	Teste <i>F</i>	$F_{cal}$	2,0		1,1				
		$F_{tab}$	1,7		1,8				
		Resultado	Variâncias diferentes, $F_{tab} < F_{cal}$		Variâncias iguais, $F_{tab} > F_{cal}$				
	HIPÓTESE ESTABELECIDA PARA O TESTE <i>t de Student</i>		$\mu_{EP-20} = \mu_{CPPII}$		$\mu_{EN-20} = \mu_{CPPII}$				
	Teste <i>t de Student</i>	$t_{cal}$	1,4		1,9				
		$t_{tab}$	2,0		2,0				
		Resultado	Médias iguais, $t_{tab} > t_{cal}$		Médias iguais, $t_{tab} > t_{cal}$				

Conforme mostrado na Tabela 5.11 a relação entre a resistência média das amostras de referência, CPPII (10x20) cm, e dos subgrupos de testemunhos EP-20 e EN-20 foi de 1,05, o que se aproxima do relatado no Concrete Society apud GONÇALVES (1994), em BARTLET (1997) e no ACI 214.4R/2003, os quais afirmam que a resistência de testemunhos, testados com diâmetro de aproximadamente 10 cm, deve ser corrigida multiplicando-a pelo fator de correção de 1,06, considerando que este fator cobre o dano gerado pelo broqueamento no que se refere às microfissuras e o corte do agregado, o qual pode ser expelido durante o ensaio a compressão. No entanto, a realização dos testes *F* e *t de Student* mostraram que para o nível de significância de 5% os testemunhos extraídos de forma paralela e normal a concretagem quando testados à compressão com razão altura diâmetro igual a dois não são significativamente afetados pelo broqueamento e retificação.

### 5.3.1.2 Comparação entre CPPII (10x20) cm e os subgrupos de testemunhos EP-15 e EN-15

Os resultados da resistência média à compressão apresentados no Gráfico 5.2 foram obtidos, respectivamente, com as amostras dos subgrupos EP-15, CPPII (10x20) cm e EN-15, dos quais apenas o subgrupo CPPII (10x20) cm foi ensaiado com razão altura diâmetro igual a dois. Por esta razão, as resistências médias à compressão obtida com os exemplares de testemunhos contidos nos subgrupos EP-15 e EN-15 tiveram que ser corrigidos, através da Equação 2.3, em relação à razão altura diâmetro antes de serem analisados pelos métodos estatísticos (Quartis, teste *F* e *t de Student*) ficando com os valores apresentados no Gráfico 5.2.

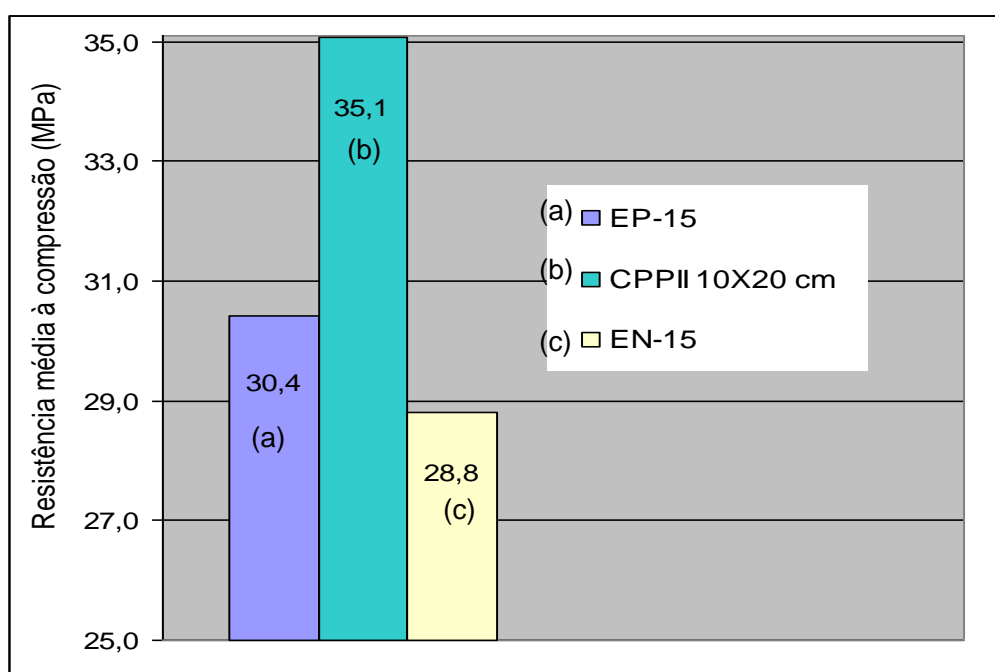


Gráfico 5.2- Resistência à compressão dos CPPII (10x20) cm e dos testemunhos EP-15 e EN-15.

É importante enfatizar que a segunda etapa da análise dos resultados, a qual se refere à realização dos testes *F* e *t de Student* entre os subgrupos CPPII (10x20) cm x EP-15 e CPPII (10x20) cm x EN-15, visou, através destas comparações estatísticas, avaliar a influência do broqueamento na resistência à compressão dos testemunhos ensaiados com razão altura diâmetro em torno de 1,5 após o acréscimo da influência do fator de correção para a relação altura diâmetro, ver Tabela 5.12.

Tabela 5.12- Resultado dos testes *F* e *t de Student* realizado entre os subgrupos EP-15 x CPPII (10x20) cm e EN-15 x CPPII (10x20) cm.

2ª ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS		SUBGRUPOS COMPARADOS					
		CPPII 10X20 cm X EP-15			CPPII 10X20 cm X EN-15		
		EP-15	CPPII 10X20 cm	RELAÇÃO $f_{CPPII} / f_{EP-15}$	EN-15	CPPII 10X20 cm	RELAÇÃO $f_{CPPII} / f_{EN-15}$
ESTADÍSTICA CALCULADO APÓS INVESTIGAÇÃO DOS "Outliers"	Média - ( $\mu$ ) - MPa	30,4	35,1	1,15	28,8	35,1	1,22
	Variância - ( $s^2$ )	40,6	15,9		20,3	15,9	
	Desvio Padrão - ( $s$ ) - MPa	6,4	4,0		4,5	4,0	
	nº de amostras após a exclusão dos "outliers" - ( $n$ ) - Unidade	30	57		27	57	
	Nível de significância - ( $\alpha$ ) - %	5			5		
TESTES ESTADÍSTICOS P/ COMPARAÇÃO ENTRE DOIS CONJUNTOS DE DADOS	HIPÓTESE ESTABELECIDADA PARA O TESTE <i>F</i>		$S^2_{EP-15} = S^2_{CPPII}$		$S^2_{EN-15} = S^2_{CPPII}$		
	Teste <i>F</i>	$F_{cal}$	2,6		1,3		
		$F_{tab}$	1,7		1,7		
		Resultado	Variâncias diferentes, $F_{tab} < F_{cal}$		Variâncias iguais, $F_{tab} > F_{cal}$		
	HIPÓTESE ESTABELECIDADA PARA O TESTE <i>t de Student</i>		$\mu_{EP-15} = \mu_{CPPII}$		$\mu_{EN-15} = \mu_{CPPII}$		
	Teste <i>t de Student</i>	$t_{cal}$	3,6		6,5		
		$t_{tab}$	2,0		2,0		
		Resultado	Médias diferentes, $t_{tab} < t_{cal}$		Médias diferentes, $t_{tab} < t_{cal}$		

Observando o Gráfico 5.2 e a Tabela 5.12 verifica-se que a resistência média à compressão dos subgrupos de testemunhos EP-15 e EN-15 é inferior, respectivamente, em 15% e 22% em relação resistência média à compressão das amostras de referência CPPII (10x20) cm. Desta maneira, verificamos que sob o ponto de vista estatístico ao nível de significância de 5%, que tanto a resistência média à compressão do subgrupo de testemunhos EP-15, quanto à resistência média à compressão do subgrupo de testemunhos EN-15 são afetadas pelo processo de obtenção das amostras somado ao acréscimo da utilização do coeficiente de correção em relação à altura diâmetro inferior a dois das mesmas. Além disso, observamos nos subgrupos EP-15 e EN-15 que o coeficiente 1,06, relatado no Concrete Society apud GONÇALVES (1994), em BARTLETT (1997) e proposto no ACI 214.4R-2003, é insuficiente para cobrir as diferenças físicas entre estes subgrupos e as amostras padronizadas CPPII (10x20) cm tomadas como referência.

### 5.3.1.3 Comparação entre CPPII (10x20) cm e os subgrupos de testemunhos EP-10 e EN-10

Da mesma forma que nos subgrupos EP-15 e EN-15, os resultados de resistência à compressão obtidos com os testemunhos dos subgrupos EP-10 e EN-10 foram corrigidos em relação à altura diâmetro das amostras que os compunham através da expressão proposta pelo ACI 214.4R-2003. O gráfico a seguir mostra as resistências médias destes subgrupos de testemunhos e a resistência média determinada com as amostras de referência do subgrupo CPPII (10x20) cm.

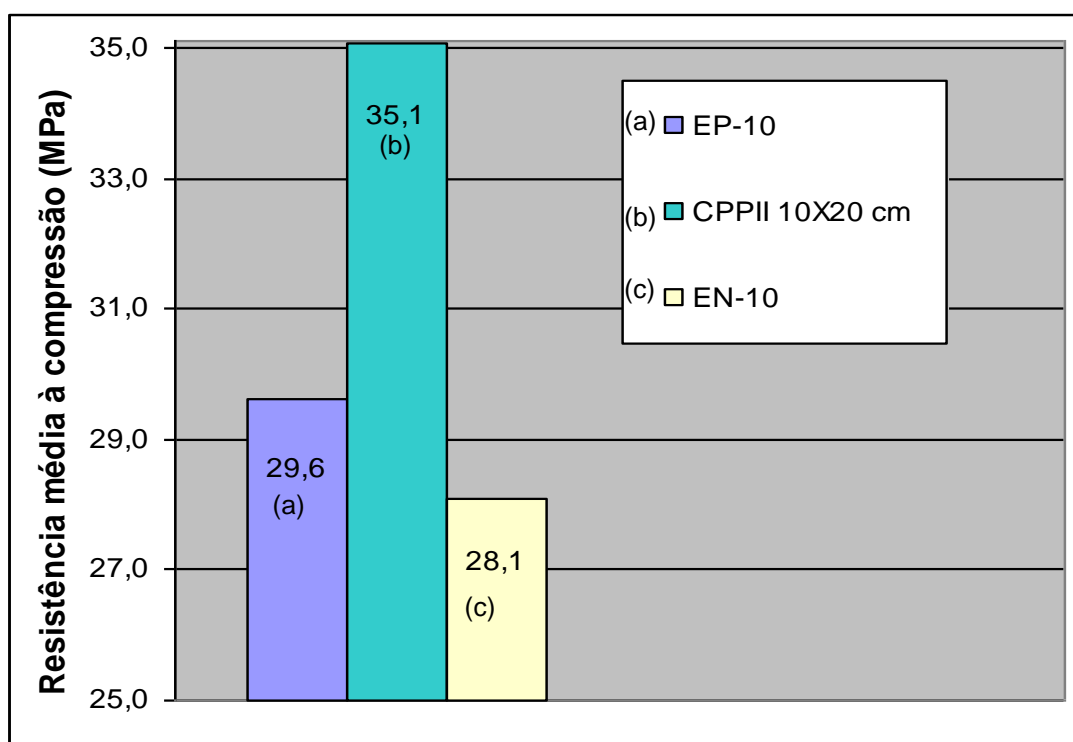


Gráfico 5.3- Resistência à compressão dos CPPII (10x20) cm e dos testemunhos EP-10 e EN-10.

Os resultados de resistência média à compressão mostrados no Gráfico 5.3 foram obtidos, no caso dos subgrupos de testemunhos, após a correção em relação à razão altura diâmetro e, para os três subgrupos, EP-10, CPPII (10x20) cm e EN-10, após a realização da primeira etapa da análise dos resultados. A Tabela 5.13 a seguir mostra o resultado da comparação, realizada através dos testes estatísticos de comparação *F* e *t de Student*.

Tabela 5.13- Resultado dos testes *F* e *t de Student* realizado entre os subgrupos EP-10 x CPPII (10x20) cm e EN-10 x CPPII (10x20) cm.

2ª ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS		SUBGRUPOS COMPARADOS					
		CPPII 10X20 cm X EP-10			CPPII 10X20 cm X EN-10		
		EP-10	CPPII 10X20 cm	RELAÇÃO $f_{CPPII} / f_{EP-10}$	EN-10	CPPII 10X20 cm	RELAÇÃO $f_{CPPII} / f_{EN-10}$
ESTATÍSTICA CALCULADO APÓS INVESTIGAÇÃO DOS "Outliers"	Média - ( $\mu$ ) - MPa	29,6	35,1	1,18	28,1	35,1	1,25
	Variância - ( $s^2$ )	46,2	15,9		41,7	15,9	
	Desvio Padrão - ( $s$ ) - MPa	6,8	4,0		6,5	4,0	
	nº de amostras após a exclusão dos "outliers" - ( $n$ ) - Unidade	30	57		30	57	
	Nível de significância - ( $\alpha$ ) - %	5			5		
TESTES ESTATÍSTICOS P/ COMPARAÇÃO ENTRE DOIS CONJUNTOS DE DADOS	HIPÓTESE ESTABELECIDA PARA O TESTE <i>F</i>		$s^2_{EP-10} = s^2_{CPPII}$		$s^2_{EN-10} = s^2_{CPPII}$		
	Teste <i>F</i>	$F_{cal}$	2,9		2,6		
		$F_{tab}$	1,7		1,7		
		Resultado	Variâncias diferentes, $F_{tab} < F_{cal}$		Variâncias diferentes, $F_{tab} < F_{cal}$		
	HIPÓTESE ESTABELECIDA PARA O TESTE <i>t de Student</i>		$\mu_{EP-10} = \mu_{CPPII}$		$\mu_{EN-10} = \mu_{CPPII}$		
	Teste <i>t de Student</i>	$t_{cal}$	4,1		5,4		
		$t_{tab}$	2,0		2,0		
Resultado		Médias diferentes, $t_{tab} < t_{cal}$		Médias diferentes, $t_{tab} < t_{cal}$			

Conforme apresentado na Tabela 5.13, as relações entre as resistências médias obtidas com os subgrupos de testemunhos EP-10 e EN-10 e o subgrupo de amostras de referência CPPII (10x20) cm foram, respectivamente, igual a 1,18 e 1,25. Os resumos dos testes estatísticos de comparação, apresentados na Tabela 5.13, resultaram, para um nível de significância igual a 5%, de que estas amostras são afetadas pelo processo de broqueamento acrescido da influência da aplicação do fator de correção para a relação altura diâmetro inferior a dois. Portanto, é negativa a hipótese de que as resistências médias à compressão dos subgrupos de testemunhos são iguais à resistência média do subgrupo de amostras de referência CPPII (10x20) cm.

#### 5.3.1.4 Considerações sobre o efeito do broqueamento na resistência dos testemunhos

Em resumo, podemos dizer que a comparação estatística feita através dos testes *F* e *t de Student* entre os subgrupos de amostras extraídas e o subgrupo de amostra de referência, CPPII (10x20) cm, demonstrou, para um nível de significância de

5%, que os testemunhos ensaiados com razão altura diâmetro igual a dois, EP-20 e EN-20, não são significativamente afetados pelo processo de broqueamento somado a processo de retificação de suas extremidades. Além disso, demonstrou que a diferença entre estes subgrupos de amostras extraídas e o subgrupo de amostras de referência, CPPII (10x20) cm, é em torno de 5%, o que se aproxima do relatado no Concrete Society apud GONÇALVES (1994), em BARTLETT (1997) e no ACI 214.4R/2003, os quais prescreveram que a resistência à compressão obtida com o ensaio de testemunhos de diâmetro em torno de 10 cm deve ser majorada em 6%.

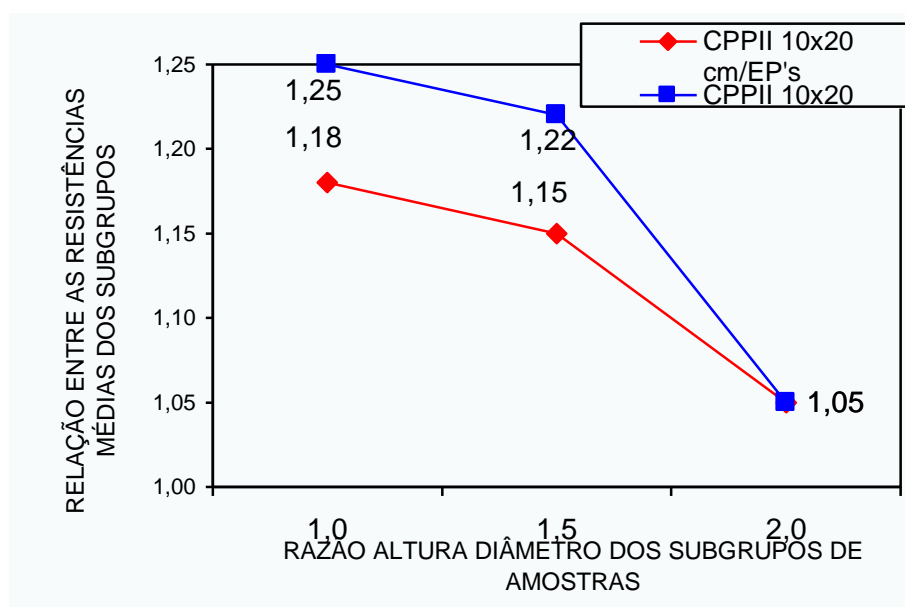


Gráfico 5.4- Relação entre a resistência média das amostras de referência, CPPII (10x20) cm, e os subgrupos de testemunhos, EP's e EN's.

No entanto, verificamos no Gráfico 5.4 que na medida em que a razão altura diâmetro dos subgrupos de testemunhos diminui aumenta a diferença entre a resistência média à compressão destas amostras em relação à resistência média à compressão do subgrupo de referência, CPPII (10x20) cm, sendo a diferença ainda maior quando os testemunhos são extraídos de forma normal a concretagem.

Desta maneira, as realizações dos testes estatísticos de comparação levaram-nos a concluir que os subgrupos de testemunhos EP-15, EP-10, EN-15 e EN-10 são afetados pelo processo de extração, ou seja, as amostras com razão altura diâmetro menor que dois são afetadas pelo processo de extração sendo esse dano superior a 6% discordando o que difere do relatado no Concrete Society e apud GONÇALVES (1994), em BARTLETT (1997) e no ACI 214.4R/2003.



### 5.3.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS SUBGRUPOS DE TESTEMUNHOS EP'S E EN'S

Durante a revisão bibliográfica, verificou-se que não há consenso entre os pesquisadores quanto há possível interferência do sentido da extração e do ensaio em relação à concretagem na resistência à compressão dos testemunhos. Apesar disto, foi possível montar a Tabela 2.6, a qual se refere às relações entre as resistências dos testemunhos extraídos e ensaiados de forma paralela e normal a concretagem, constatando, porém, que tais relações variaram entre 1,02 e 1,12.

Portanto, decidiu-se através dos subgrupos de amostras extraídas de forma paralela e normal a concretagem avaliar, através dos testes estatísticos *F* e *t de Student*, se o sentido da extração, para as diferentes razões altura diâmetro das amostras, influencia a resistência à compressão das mesmas, ver gráfico e tabela a seguir.

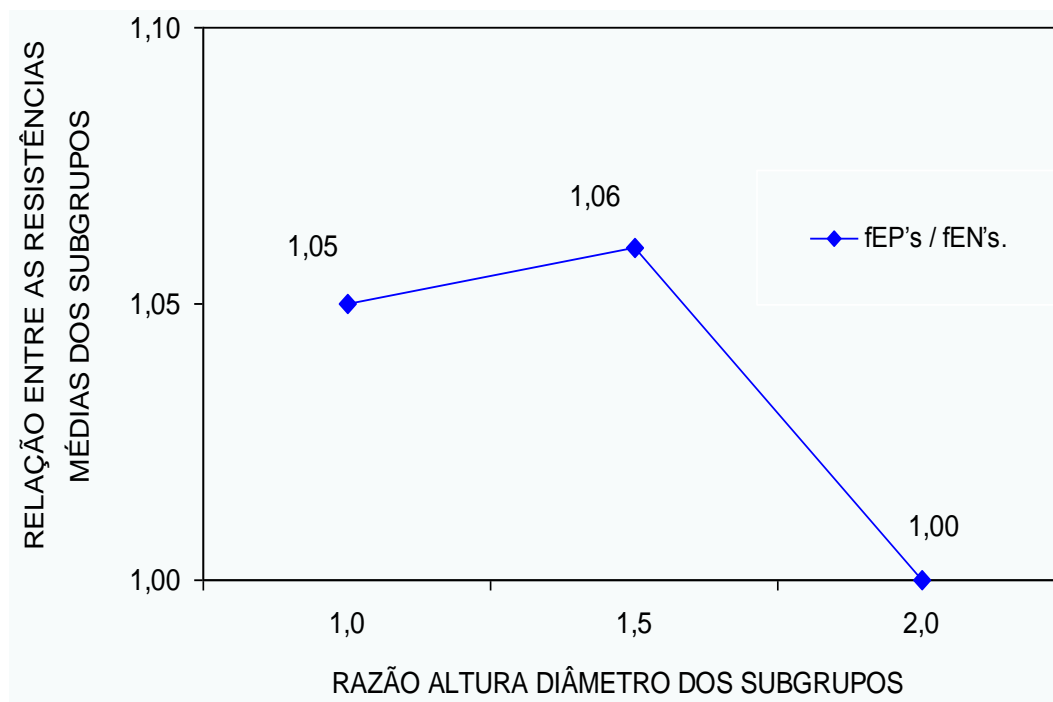


Gráfico 5.5- Relação entre as resistências dos testemunhos extraídos e ensaiados de forma paralela e normal a concretagem,  $f_{EP's} / f_{EN's}$ .

Tabela 5.14- Resultado dos testes *F* e *t de Student* para a comparação entre os subgrupos de testemunhos extraídos e ensaiados de forma paralela e normal à concretagem

2ª ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS		COMPARAÇÃO ENTRE OS SUBGRUPOS DE TESTEMUNHOS								
		EP-20 X EN-20			EP-15 X EN-15			EP-10 X EN-10		
		EP-20	EN-20	RELAÇÃO $f_{EP-20} / f_{EN-20}$	EP-15	EN-15	RELAÇÃO $f_{EP-15} / f_{EN-15}$	EP-10	EN-10	RELAÇÃO $f_{EP-10} / f_{EN-10}$
ESTATÍSTICA CALCULADA APÓS INVESTIGAÇÃO DOS "Outliers"	Média - ( $\mu$ ) - MPa	33,4	33,4	1,00	30,4	28,8	1,06	29,6	28,1	1,05
	Variância - ( $s^2$ )	31,9	14,8		40,6	20,3		46,2	41,7	
	Desvio Padrão - ( $s$ ) - MPa	5,7	3,8		6,4	4,5		6,8	6,5	
	nº de amostras após a exclusão dos "outliers" - ( $n$ ) - Unidade	28	29		30	27		30	30	
	Nível de significância - ( $\alpha$ ) - %	5			5			5		
TESTES ESTATÍSTICOS P/ COMPARAÇÃO ENTRE DOIS CONJUNTOS DE DADOS	HIPÓTESE ESTABELECIDA PARA O TESTE <i>F</i>		$s^2_{EP-20} = s^2_{EN-20}$		$s^2_{EP-15} = s^2_{EN-15}$		$s^2_{EP-10} = s^2_{EN-10}$			
	Teste <i>F</i>	$F_{cal}$	2,2		2,0		1,1			
		$F_{tab}$	1,9		1,9		1,9			
		Resultado	Variâncias diferentes, $F_{tab} < F_{cal}$		Variâncias diferentes, $F_{tab} < F_{cal}$		Variâncias iguais, $F_{tab} > F_{cal}$			
	HIPÓTESE ESTABELECIDA PARA O TESTE <i>t de Student</i>		$\mu_{EP-20} = \mu_{EN-20}$		$\mu_{EP-15} = \mu_{EN-15}$		$\mu_{EP-10} = \mu_{EN-10}$			
	Teste <i>t de Student</i>	$t_{cal}$	0,02		1,10		0,90			
		$t_{tab}$	1,10		2,00		2,00			
		Resultado	Médias iguais, $t_{tab} > t_{cal}$		Médias iguais, $t_{tab} > t_{cal}$		Médias iguais, $t_{tab} > t_{cal}$			

Para o nível de significância de 5%, as resistências médias das amostras não são estatisticamente afetadas pelo sentido da extração em relação à concretagem, mesmo quando são testadas com razão altura diâmetro inferior a dois, conforme, os resultados dos testes *F* e *t de Student* apresentado na Tabela 5.14- Resultado dos testes *F* e *t de Student* para a comparação entre os subgrupos de testemunhos extraídos e ensaiados de forma paralela e normal à concretagem. No entanto, segundo NEVILLE (2001) a resistência média à compressão será menor quando obtida através do ensaio de testemunhos extraídos de forma normal a concretagem, pois, nestes casos ocorre maior exsudação e/ou podem ocorrer variações no posicionamento do equipamento de extração que minimizam o valor desta propriedade. Considerando a afirmação deste pesquisador, pode-se atribuir que os subgrupos EN-15 e EN-10 tiveram menor resistência em relação aos subgrupos EP-15 e EP-10 devido à exsudação, já que as amostras EP's e EN's foram todas extraídas com o equipamento fixado de maneira semelhante.

### 5.3.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS SUBGRUPOS CPPI (15X30) CM E CPPII (10X20) CM

As amostras padronizadas, CPPI (15x30) cm e CPPII (10x20) cm, foram moldadas com o propósito dos seus resultados de resistência à compressão serem considerados valores de referência permitindo, através da comparação com os resultados de resistência à compressão obtidos com os testemunhos, avaliar se o processo de extração afeta as amostras extraídas, objetivo principal desta pesquisa. No entanto, com a disponibilidade de formas metálicas e de concreto para a moldagem de ambos os subgrupos de amostras padronizadas, decidiu-se compará-los entre si a fim de investigar se a diferença de volume existente entre os subgrupos afetava os resultados de resistência à compressão.

É importante ressaltar que a comparação entre os subgrupos de amostras padronizadas só foi possível pelo fato de diferirem apenas em relação às dimensões, já que foram moldadas com o mesmo material, no mesmo dia e submetidas às mesmas condições de umidade e temperatura. Além disso, para investigar essa diferença de volume entre as amostras CPPI (15x30) cm e CPPII (10x20) cm seguiram-se às recomendações de Aitcin (1998), o qual indica que a rótula da prensa do ensaio de resistência à compressão deve ter dimensões apropriadas em relação ao diâmetro da

amostra a ser testada. Desta maneira, utilizou-se no instante do ensaio à compressão das amostras com diâmetro inferior a 15 cm um modelo, adaptado à prensa existente no laboratório da UFPE, da rótula proposta por Aitcin (1998).

As comparações entre os resumos estatísticos, obtidos a partir dos resultados de resistência a compressão de cada uma das amostras que compõem os conjuntos de dados CPPI (15x30) cm e CPPII (10x20) cm, foram realizadas através dos testes estatísticos *F* e *t de Student*, testando-se a hipótese de nulidade, a qual se refere à comparação entre as médias dos dois conjuntos de dados permitindo avaliar se as mesmas podem ser ditas estatisticamente iguais para o nível de significância preestabelecido.

Tabela 5.15- Resultado dos testes *F* e *t de Student* para a comparação entre os subgrupos CPPI (15x30) cm e CPPII (10x20) cm.

2ª ETAPA DA ANÁLISE DOS RESULTADOS		SUBGRUPOS COMPARADOS CPPI (15X30) cm X CPPII (10X20) cm		
		CPPI	CPPII	RELAÇÃO $f_{CPPI} / f_{CPPII}$
ESTATÍSTICA CALCULADA APÓS INVESTIGAÇÃO DOS "Outliers"	Média - ( $\mu$ ) - MPa	36,1	35,1	1,03
	Variância - ( $s^2$ )	10,2	15,9	
	Desvio Padrão - ( $s$ ) - MPa	3,2	4,0	
	nº de amostras após a exclusão dos "outliers" - ( $n$ ) - Unidade	38	57	
	Nível de significância - ( $\alpha$ ) - %	5		
TESTES ESTATÍSTICOS P/ COMPARAÇÃO ENTRE DOIS CONJUNTOS DE DADOS	HIPÓTESE ESTABELECIDADA PARA O TESTE <i>F</i>		$s^2_{CPPI} = s^2_{CPPII}$	
	Teste <i>F</i>	$F_{cal}$	1,6	
		$F_{tab}$	1,7	
		Resultado	Variâncias iguais, $F_{tab} > F_{cal}$	
	HIPÓTESE ESTABELECIDADA PARA O TESTE <i>t de Student</i>		$\mu_{CPPI} = \mu_{CPPII}$	
	Teste <i>t de Student</i>	$t_{cal}$	1,4	
		$t_{tab}$	2,0	
Resultado		Médias iguais, $t_{tab} > t_{cal}$		

Seguindo os procedimentos propostos pelo ACI 214.4R/2003 através da realização dos testes *F* e *t de Student*, conforme mostra a Tabela 5.15, verificou-se que

a comparação entre os resumos estatísticos obtidos a partir do ensaio das amostras pertencentes aos subgrupos CPPI e CPPII que as resistências médias destes dois conjuntos de dados podem ser ditas estatisticamente iguais para o nível de significância igual a 5%. Ou seja, a diferença entre os volumes das amostras contidas nos conjuntos de dados CPPI (15x30) cm e CPPII (10x20) cm não interferem estatisticamente nos resultados médios das resistências à compressão, desde que sejam utilizadas, no instante dos testes, rótulas apropriadas ao diâmetro das amostras, porém, o investigador deve avaliar a relevância desta diferença de 3% na segurança estrutural.

## 6. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Neste trabalho foram extraídos e ensaiados 180 corpos-de-prova testemunhos com diferentes relações altura diâmetro, 60 corpos-de-prova, tamanho 10x20 cm, usados como referência e 57 corpos-de-prova, tamanho 15x30 cm, usados para definir a resistência do concreto utilizado na moldagem das amostras. A seguir são apresentadas as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

### 6.1 CONCLUSÕES

- Conclusões relativas ao processo de extração:

1) É importante que o operador da extratora seja experiente, pois, devido à vibração do equipamento, as amostras podem ter ondulações ao longo da altura, podem quebrar durante a operação por mau posicionamento do equipamento, bem como obter amostras com seu eixo vertical não perpendicular com a horizontal.

2) As brocas comerciais não têm um padrão com relação ao diâmetro final do corpo-de-prova testemunho.

- Conclusões relativas aos corpos-de-prova de referência com dimensões de 15x30 cm e 10x20 cm:

1) A relação entre as resistências médias dos CP's de referência,  $f_{CPPI}$  (15x30) cm /  $f_{CPPII}$  (10x20) cm, foi de 1.03;

2) Os testes estatísticos realizados, com nível de significância de 5%, conforme recomendação do ACI 214.4R/2003, mostrou que os corpos-de-prova de referência podem fazer parte de uma mesma amostra, pois, a diferença física devido ao volume de concreto entre as amostras não é significativa quando se usa nos ensaios de resistência à compressão rótulas apropriada aos diâmetros das amostras.

- Conclusões relativas aos corpos-de-prova testemunhos, EP's e EN's, em relação aos corpos-de-prova de referência, CPPII (10x20) cm:

1) Todos os subgrupos de testemunhos apresentaram resistências à compressão médias inferiores às dos corpos-de-prova padronizados.

2) A razão entre as resistências à compressão médias do subgrupo de referência, CPPII (10x20) cm, e dos subgrupos de testemunhos EP-20 e EN-20, os quais possuíam relação altura diâmetro igual a 2,0, extraídos paralelamente e normal à direção da concretagem, foram iguais a 1,05.

3) Os testes estatísticos realizados, com nível de significância de 5%, conforme recomendação do ACI 214.4R/2003, mostrou que os subgrupos de testemunhos, EP-20 e EN-20, independentemente do sentido da extração em relação à concretagem, mas, ensaiados à compressão com razão altura diâmetro igual a dois, não são afetados pelas ações de broqueamento e retificação das extremidades.

4) A relação entre o subgrupo de referência CPPII (10x20) cm e os subgrupos de testemunhos EP-15 e EN-15, os quais possuíam a razão altura diâmetro em torno de 1,5, foram iguais a 1,15 e 1,22, respectivamente;

5) Para os subgrupos de testemunhos EP-10 e EN-10, os quais possuíam relação altura diâmetro em torno de 1,0, a relação entre estes subgrupos e os CP's de referência CPPII (10x20) cm, fCPII/fEP-10 e fCPII/fEN-10, foram iguais a 1,18 e 1,25 respectivamente;

6) Os testes estatísticos realizados, com nível de significância de 5%, conforme, recomendação do ACI 214.4R/2003, mostrou que os subgrupos de testemunhos EP-15 e EN-15, EP-10 e EN-10, os quais possuíam relação altura diâmetro inferior a dois, independentemente do sentido da extração em relação à concretagem, são afetados pelas ações de broqueamento e retificação das extremidades.

- Conclusões relativas às comparações entre os corpos-de-prova testemunhos a fim de avaliar a influência do sentido da extração em relação à concretagem:

1) Os subgrupos de testemunhos extraídos paralelamente a concretagem foram comparados aos subgrupos de testemunhos extraídos de forma normal a concretagem da seguinte maneira: EP-20/EN-20, EP-15/EN-15 e EP-10/EN-10, onde as relações entre as resistências à compressão médias destes subgrupos comparadas entre si resultaram, respectivamente, nos seguintes valores: 1,0, 1,05 e 1,06 respectivamente.

2) Os testes estatísticos realizados, com nível de significância de 5%, conforme recomendação do ACI 214.4R/2003, mostrou que as comparações apresentadas no item 1) deste tópico, referentes à análise da influência do sentido da extração em relação a concretagem, que não há diferenças entre as amostras comparadas.

## 6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Diante da constatação de que o ensaio de extração de testemunhos é amplamente utilizado na avaliação de estruturas de concreto e de que há poucas pesquisas que analisam os efeitos desta extração na determinação da resistência à compressão do concreto, desta maneira, sugerimos que sejam realizados trabalhos que:

- Avaliem a interferência na resistência à compressão do concreto quando esta propriedade for determinada utilizando-se amostras extraídas com brocas de diâmetros inferiores a 10 cm;
- Verifiquem a influência do processo de extração em estruturas de concretos de elevada resistência à compressão;
- Avaliem a influência no processo de extração e na determinação da resistência à compressão do concreto em amostras de testemunhos retiradas com uma ou mais barras de aço em seu interior;
- Avaliem a influência no processo de extração e na determinação da resistência à compressão do concreto em amostras de testemunhos retiradas com uma ou mais barras de aço em seu interior considerando o posicionamento destas barras nas amostras;
- Verifiquem os efeitos do broqueamento na resistência a compressão obtida com testemunhos de pequenas dimensões, por exemplo, 10x15 cm e/ou 5x10 cm, a partir da comparação direta com a resistência à compressão obtida com corpos-de-prova de referência também de pequenas dimensões.



## **7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ACI 214.4R-2003 - **Guia For Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Result.**

ACI 214R-2002 – **Evaluation of Strength Test Results of Concret.**

ACI 437R-1991 – **Strength evaluation of existing concrete building.**

AİTCIN, P. C. **High-Performance concrete.** Londres: E&FN Spon, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Cálculo estrutural** - NBR 6118/2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos** - NBR 5739/1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Extração, Preparo, ensaio e análise de testemunhos de estruturas de concreto** – NBR 7680/1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto – Moldagem e cura de corpos-de-prova de concreto cilíndricos ou prismáticos** - NBR 5738/1984.

ASTM C 42/C 42M-2003 – **Guide For Obtaining Cores And Interpreting Compressive Strength Results.**

ASTM E 122-2000 – **Standard Practice for calculating sample size to estimate, with a specified torelable error, the average for a characteristic of a lot or process.**

ASTM E 178-2002 - **Standard Practice For Dealing With Outlying Observations.**

BARTLETT, F. M., and MACGREGOR, J. G.. **Cores from high performance concrete beams**, ACI Materials journal, V.91, N°6, Nov.-Dec., pp. 567-576, 1994a.

BARTLETT, F. M., and MACGREGOR, J. G.. **Effect Moisture condition on concrete core strength**, ACI Materials journal, V.91, N°3, Maio – Jun., pp. 227-236, 1994c.

BARTLETT, F. M., and MACGREGOR, J. G.. **Effect of core length-to-diameter ratio on concrete core strength**, ACI Materials journal, V.91, N°4, Jul.-Agos., pp. 339-348, 1994b.

BARTLETT, F. M., and MACGREGOR, J. G.. **Equivalent specified concrete strength from core test data**, ACI Materials journal, V.17, N°3, Mar., pp. 52-58, 1995.

BARTLETT, F. M.. **Precision of in-place concrete strengths predicted using core strength correction factors obtained by weighted regression analysis**, Structural Safety, V. 19, N°4, pp. 397-410, 1997.

BUSSAB, W. O. e MORETTIN, P. A.. **Métodos quantitativos - Estatística básica**, 4ª edição, ed. Atual, 1987.

CÁNOVAS, F. M. **Patologia e terapia do concreto**, 1ª edição, ed. Pini, págs. 522, 1988.

CASTRO, P. F.. **Ensaio não destrutivo, ensaios em testemunhos e correlações**, 29º Congresso Brasileiro do Concreto-IBRACON, São Paulo, 1987.

CREMONINI, R. A.. **Análise de estruturas acabadas: contribuição para a determinação da relação entre as resistências potencial e efetiva do concreto**, Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1994.

EUROPEAN STANDARD- prEN 12504-1-1999 – English version- **Testing concrete in structure – Part 1: Cored specimens – Taking, examining and testing in compression**.

EVANGELISTA, A. C. J. **Avaliação da Resistência do Concreto Usando Diferentes Ensaio não Destrutivos**. Tese de Doutorado, COPPE/UFRJ, 2002.

GONÇALVES, A. F. Tese para a obtenção do grau de especialista e para acesso à categoria de investigador auxiliar do laboratório nacional de Engenharia Civil, **Resistência do betão nas estruturas**, Laboratório nacional de engenharia civil – Lisboa, 1994.

GUTSCHOW, C. A., MOLIN, D. C. C. D., **Avaliação da resistência do concreto através de corpos-de-prova moldados e testemunhos extraídos: um estudo experimental**, UFRGS, págs. 635-648, 2001;

MOREIRA, B. P.; GUIMARÃES, A. T. C. e RECENA, F. A. P.. **Metodologia da extração de testemunhos de concreto armado para avaliação da resistência à compressão simples em estruturas existentes** - 44<sup>o</sup> Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON, São Paulo, 2003.

NEVILLE, A. M.. **Core test: easy to perform, not easy to interpret**, Concrete International, V. 23, N°11, Nov., pp. 59-68, 2001.

SPIEGEL, MURRAY RALPH. **Probabilidade e estatística**, McGraw – Hill do Brasil Ltda, 518 págs., 1978.

TAY, D. C. K. and TAM, C. T.. **In situ investigation of the strength of deteriorated concrete**, Construction and Building Materials, V.10, N°1, pp. 17-26, 1996



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL  
Telefone: (81) 2126-8977 Fax: (81) 2126-8222 www.poscivil.ufpe.br  
Rua Acadêmico Hélio Ramos, s/n – Cidade Universitária – Recife – PE – CEP 50740-530

## ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE HANNAH LERISSA HYDARADAYA MOURA SANTOS DE FARIAS

Aos 29 (vinte e nove) dias do mês de dezembro do ano de 2006, às 09:00 (nove) horas, no Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, reuniu-se a Banca Examinadora para a defesa de Dissertação de Mestrado da Engenheira Civil **HANNAH LERISSA HYDARADAYA MOURA SANTOS DE FARIAS**, aluna do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Modalidade Mestrado, Área de Concentração Estruturas, composta pelos Professores Doutores **PAULO DE ARAÚJO RÉGIS**, D. Sc., Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Pernambuco, Orientador e Presidente da Banca Examinadora; **ARNALDO CARDIM DE CARVALHO FILHO**, D. Sc., Departamento de Engenharia Civil – Universidade de Pernambuco, Examinador Externo; **HUMBERTO CORREIA LIMA JÚNIOR**, D.Sc, Núcleo de Tecnologia - Universidade Federal de Pernambuco / Centro Acadêmico do Agreste, Examinador Interno; **ROMILDE ALMEIDA DE OLIVEIRA**, D. Sc., Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco, Examinador Interno; **BERNARD BULHÕES PEDREIRA GENEVOIS**, D. Sc., Departamento de Engenharia Civil - Universidade Federal de Pernambuco, Examinador Interno e Co-Orientador. Como suplentes foram indicados os Professores Doutores **ÉZIO DA ROCHA ARAÚJO**, D.Sc, Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Pernambuco, Suplente Interno e **NORMANDO PERAZZO BARBOSA**, Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal da Paraíba, Suplente Externo. Título da Dissertação de Mestrado: **ESTUDO LABORATORIAL SOBRE OS DANOS CAUSADOS PELO BROQUEAMENTO E RETIFICAÇÃO EM CORPOS DE PROVA TESTEMUNHOS**. Iniciando a sessão o Professor **PAULO RÉGIS**, Orientador, apresentou a Banca Examinadora e, em seguida, concedeu à Mestranda **HANNAH DE FARIAS**, 45 (quarenta e cinco) minutos para a sua defesa. Em tempo hábil, a Mestranda **HANNAH DE FARIAS** deu a sua defesa por encerrada e o Professor **PAULO RÉGIS** passou a palavra ao Professor **ARNALDO CARDIM FILHO**, Examinador Externo, que argüiu a candidata que se defendeu usando a palavra. Prosseguindo, o Professor **PAULO RÉGIS** passou a palavra ao Professor **HUMBERTO LIMA JÚNIOR**, Examinador Interno, que argüiu a candidata que se defendeu usando a palavra. Em seguida, o Professor **PAULO RÉGIS** passou a palavra ao Professor **ROMILDE DE OLIVEIRA**, Examinador Interno, que argüiu a candidata, que se defendeu fazendo uso da palavra. Depois, o Professor **PAULO RÉGIS** passou a palavra ao Professor **BERNARD GENEVOIS**, Examinador Interno e Co-Orientador, que argüiu a candidata e comentou a dissertação. Encerrando a sessão, o Professor **PAULO RÉGIS** fez comentários gerais sobre a dissertação e finalizou a defesa solicitando aos presentes que se retirassem do recinto para que a Banca Examinadora se reunisse. Após 5 (cinco) minutos foi reaberta a sessão e tornado público a menção **APROVADA**, que foi dada por unanimidade pela Banca Examinadora. Eu, **ANDRÉA NEGROMONTE VIEIRA MATOSO**, SECRETÁRIA, lavrei a presente **ATA**, que dato e assino com quem de direito. Recife, 29 de dezembro de 2006.

PAULO DE ARAÚJO RÉGIS

ARNALDO CARDIM DE CARVALHO FILHO

HUMBERTO CORREIA LIMA JÚNIOR

ROMILDE ALMEIDA DE OLIVEIRA

BERNARD BULHÕES PEDREIRA GENEVOIS

HANNAH LERISSA HYDARADAYA MOURA SANTOS DE FARIAS

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)