

**Artêmio Frasson Junior**

**Proposta de metodologia de dosagem e controle do  
processo produtivo de blocos de concreto para  
alvenaria estrutural**

Dissertação apresentada ao curso  
de Pós Graduação em Engenharia  
Civil da Universidade Federal de  
Santa Catarina como parte dos  
requisitos para a obtenção do título  
de Mestre em Engenharia Civil.

Florianópolis 2000

Artêmio Frasson Junior

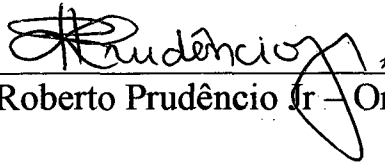
**Proposta de metodologia de dosagem e controle do  
processo produtivo de blocos de concreto para alvenaria  
estrutural**

**Dissertação de Mestrado**

**Florianópolis, Maio de 2000**


## FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 26/05/2000  
pela comissão examinadora



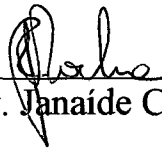
---

Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Jr - Orientador- Moderador



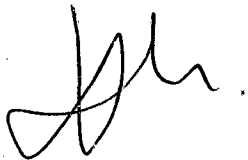
---

Prof. Dr. Ruy Alberto Cremonini



---

Prof.<sup>a</sup> Dr. Janaíde Calvalcante Rocha



---

Prof. Dr. Philippe Jean Paul Gleise



---

Prof. Dr Jucilei Cordini - Coordenador do CPGEC

**A minha família e  
aos meus pais  
Artêmio e Marilene**



## AGRADECIMENTOS

Ao Professor Luiz Roberto Prudêncio Jr., por não ter se limitado em ser apenas orientador e sim um grande amigo, sempre compreensivo e disposto a repassar todos os seus conhecimentos.

A minha família, na figura de minha mãe, Marilene Mortari Frasson e Pai, Artêmio Frasson, que são exemplos de vida, trabalho e carinho. Sem eles tudo seria mais difícil.

À Toniolo Pré-Moldados, na figura dos Engenheiros Carlos Augusto Bedim e Jaderson Luiz Barbieri que proporcionaram grande parte do suporte necessário à pesquisa, fornecendo os materiais e as instalações da fábrica para a realização dos trabalhos. Além disso, sempre tiveram postura crítica e participativa no desenvolvimento e aplicação das soluções apresentadas à empresa pela Universidade. Sabem eles da necessidade das duas instituições em trocar idéias e experiências para que o resultado possa ser compartilhado e revertido em forma de qualidade e produtividade para a empresa e difusão dos conhecimentos no meio estudantil e técnico.

A Saibrita por ter proporcionado mais uma oportunidade para que a Universidade pudesse realizar seus trabalhos de pesquisa e assessoria.

Ao SEBRAE, na figura do Engenheiro Civil Sérgio Henrique Pereira, que acreditou na parceria Universidade-Empresa financiando através dos recursos do PATME trabalhos de pesquisa, proposição de melhoria dos processos produtivos e treinamento de pessoal da fábrica Toniolo Pré-Moldados, que representou o início dos trabalhos que resultam agora na dissertação que aqui está apresentada.

Aos grandes amigos e companheiros de trabalho Alexandre Lima de Oliveira e Rafael de Oliveira Steil, que fazem parte desta dissertação com todas as suas intervenções, questionamentos e ajudas que prestaram.

As amigas Luciana e Juliana, pelo auxílio dado à pesquisa e sempre dispostas a ajudar.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xii
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Aspectos tecnológicos dos concretos utilizados em blocos .....</b>	<b>6</b>
2.1 Considerações iniciais .....	6
2.2 Concretos plásticos.....	8
2.2.1 Características gerais .....	8
2.2.2 Metodologias de dosagens para concretos plásticos.....	9
2.2.2.1 Dosagem não experimental .....	10
2.2.2.2 Dosagem experimental do concreto – método da ABCP/ACI .....	10
2.2.2.3 Dosagem experimental – Método IPT/EPUSP.....	12
2.3 Concretos “secos” .....	14
2.3.1 Características gerais .....	14
2.3.2 Processo produtivo de blocos de concreto.....	15
2.3.3 Metodologias de dosagem para concretos “secos”.....	20
2.3.3.1 Método adotado pela Besser Company.....	20
2.3.3.2 Método ABCP-baseado na maior compacidade da mistura.....	26
2.3.3.3 Método IPT/EPUSP adaptado para os concretos “secos”.....	28
2.3.3.4 Método sugerido pela Columbia.....	32
2.3.4 Comentários Gerais sobre os Métodos .....	38
<b>3. Parâmetros influentes na resistência dos blocos de concreto: Estudo de casos .....</b>	<b>42</b>
3.1 Considerações iniciais .....	42
3.2 Estudo de caso – variação de resistência com a massa nos blocos .....	43

3.3 Estudo de caso – importância da umidade nas resistências .....	47
<b>4. Método proposto .....</b>	<b>57</b>
4.1 Considerações Iniciais .....	57
4.2. Ensaios e equipamentos propostos na metodologia utilizada .....	58
4.2.1 Equipamentos e procedimentos utilizados no ensaio de compressão axial dos blocos.....	58
4.2.2 Equipamentos e procedimentos utilizados para a confecção dos CPs 5x10.....	60
4.2.3 Equipamentos e procedimentos utilizados no ensaio de coesão .....	61
4.2.4 Equipamentos e procedimentos utilizados no ensaio de determinação de volume. 63	
<b>5. Programa experimental .....</b>	<b>64</b>
5.1 Considerações iniciais .....	64
5.2 Comparação das resistências obtidas entre corpos-de-prova moldados em laboratório e blocos de concreto.....	65
5.2.1 Ensaios dos blocos utilizados para estudo de comparação com CPs 5x10.....	68
5.2.2 Ensaios dos CPs utilizados para estudo de comparação com os blocos.....	70
5.3 Estudo da influência de diversos parâmetros na resistência dos concretos “secos” .....	70
5.3.1 Caracterização dos agregados utilizados no estudo de moldagem dos CPs 5x10... 71	
5.3.2 Caracterização do aglomerante utilizado na estudo de moldagem dos CPs 5x10... 74	
5.3.3 Traços utilizados na pesquisa.....	75
5.3.4 Apresentação e discussão das resistências à compressão e valores de coesão. ....	78
5.3.5 Discussão sobre os resultados obtidos na segunda etapa do programa experimental .....	88
5.4 Testes estatísticos .....	92
5.5 Sugestão para dosagem dos concretos “secos” utilizados na fabricação de blocos.....	107
<b>6. Considerações finais e recomendações .....</b>	<b>120</b>
<b>7. Referências bibliográficas .....</b>	<b>143</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: À esquerda a função que descreve a Lei de Abrams e à direita sua representação gráfica.....	8
Figura 2: Diagrama de dosagem do Método IPT/EPUSP.....	13
Figura 3: Diagrama de dosagem do Método IPT/EPUSP.....	15
Figura 4: Fábrica de blocos de concreto. À frente do operador a máquina vibro-prensa e aos fundo os silos de cimento e agregados(balança).....	16
Figura 5: Fábrica de blocos de concreto. Detalhe dos silos de cimento e silo/balança de agregados.....	17
Figura 6: Gráfico das granulometrias da areia, pedrisco e mistura final encontrada.....	23
Figura 7: Porcentagens retidas acumuladas desejáveis, em cada grupo de peneiras, no proporcionamento de blocos de concretos.....	24
Figura 8 : Proporcionamento pedrisco-areia para a obtenção do menor volume de vazios.....	27
Figura 9 : Diagrama de dosagem IPT adaptado para blocos estruturais de concreto.....	32
Figura 10: Relação entre módulo de finura (M.F.) e Resistência á compressão em corpos-de-prova cilíndricos de concreto 7,5x15cm.....	34
Figura 11: Relação entre módulo de finura (M.F.) e resistência à compressão em blocos de concreto 20x20x40cm.....	35
Figura 12: Posição dos blocos na chapa (14x19x39 – L x H x C).....	44
Figura 13 : Representação gráfica da média das massas dos blocos encontradas nas diferentes chapas retiradas de uma grade produzida.....	45
Figura 14 : Representação gráfica da resistência média alcançadas nos lotes produzidos em diferentes idades e posições na chapa.....	46
Figura 15: Variação da resistência à compressão e massa dos blocos estruturais de 14cm de espessura, produzidos pela máquina Montana MBX 975, em função do traço empregado.....	50
Figura 16 : Gráfico da massa média dos blocos dos traços produzidos segundo tempo de vibro-compressão.....	54
Figura 17: Tempos de alimentação/pré-vibração em função dos traços empregados na confecção dos blocos de concreto.....	55
Figura 18: Variação da resistência à compressão e massa seca e úmida dos blocos estruturais de 14x19x39 cm em função do traço empregado.....	56

Figura 19 : Sistema utilizado no ensaio de compressão dos blocos de concreto. Prensa AMSLER (500tf) e pratos da prensa devidamente retificados com 38mm de espessura. ....	59
Figura 20 : Molde tripartido 5x13 utilizado para moldar os corpos-de-prova cilíndricos 5x10.....	60
Figura 21: Detalhe do equipamento utilizado no ensaio para a determinação da coesão das misturas. ....	62
Figura 22 : Caixa metálica utilizada na determinação do volume dos blocos.....	63
Parede.....	68
Figura 23: Gráfico da curva granulométrica dos agregados utilizados na pesquisa.....	73
Figura 24 : Gráfico da curva granulométrica das séries utilizadas na moldagem dos CPs 5x10.....	76
Figura 25 : Organograma da moldagem dos corpo-de-prova.....	78
Figura 26:Hmáx - Dmáx - 1:11.....	81
Figura 27:Hméd - Dmáx - 1:11.....	81
Figura 28:Hmín - Dmáx - 1:11.....	81
Figura 29:Hmáx - Dmáx - 1:9.....	81
Figura 30:Hméd - Dmáx - 1:9.....	81
Figura 31:Hmín - Dmáx - 1:9.....	81
Figura 32:Hmáx - Dmáx - 1:7.....	81
Figura 33:Hméd - Dmáx - 1:7.....	81
Figura 34:Hmín - Dmáx - 1:7.....	81
Figura 35:Hmáx - Dméd - 1:11.....	82
Figura 36:Hméd - Dméd - 1:11.....	82
Figura 37:Hmín - Dméd - 1:11.....	82
Figura 38:Hmáx - Dméd - 1:9.....	82
Figura 39:Hméd - Dméd - 1:9.....	82
Figura 40:Hmín - Dméd - 1:9.....	82
Figura 41:Hmáx - Dméd - 1:7.....	82
Figura 42:Hméd - Dméd - 1:7.....	82
Figura 43:Hmín - Dméd - 1:7.....	83
Figura 44:Hmáx - Dmín - 1:11.....	83
Figura 45:Hméd - Dmín - 1:11.....	83
Figura 46:Hmín - Dmín - 1:11.....	83

Figura 47:Hmáx - Dmín - 1:9.....	83
Figura 49:Hméd - Dmín - 1:9.....	83
Figura 50:Hmín - Dmín - 1:9.....	83
Figura 51:Hmáx - Dmín - 1:7.....	83
Figura 52:Hméd - Dmín - 1:7.....	83
Figura 51:Hmín - Dmín - 1:7.....	83
Figura 53 : Gráfico de resistência à compressão dos CPs para o traço 1:11 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.....	84
Figura 54 : Gráfico de resistência à compressão dos CPs para o traço 1:9 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.....	84
Figura 55 : Gráfico de resistência à compressão dos CPs para o traço 1:7 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.....	85
Figura 56 : Gráfico de coesão dos CPs para o traço 1:11 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.....	85
Figura 57 : Gráfico de coesão dos CPs para o traço 1:9 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.....	86
Figura 58 : Gráfico de coesão dos CPs para o traço 1:7 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.....	86
Figura 59 : Gráfico de massa específica seca dos CPs para o traço 1:11 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.....	87
Figura 60 : Gráfico de massa específica seca dos CPs para o traço 1:9 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.....	87
Figura 61 : Gráfico de massa específica seca dos CPs para o traço 1:7 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.....	88
Figura 62: Plano de moldagem dos CPs 5x10 para um estudo de dosagem de blocos de concreto.....	115
Figura 63: Curva de dosagem para a Série 4 – Traço 1:11.....	116

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Granulometria da areia média e pedrisco utilizado no exemplo.....	22
Tabela 2: Granulometria da mistura final encontrada.....	23
Tabela 3: Relação cimento agregado pilotos sugeridos para a produção de blocos de concreto na máquina MONTANA MBX 975 segundo resistência desejada.....	25
Tabela 4: Valores sugeridos para ( $k_{nt}\cdot s$ ) para a 1ª fase de produção.....	29
Tabela 5: Valores de $K_{nt}$ para emprego da eq. 2.3.3.3-a.....	29
Tabela 6: Sugestão de faixas de teores de agregado/cimento (m) a pesquisar na dosagem experimental.....	30
Tabela 7: Sugestão de composições granulométricas para misturas a serem utilizadas na produção de blocos de concreto (porcentagens retidas acumuladas em volume).....	37
Tabela 8: Pesagem dos blocos em diversas chapas para detecção do problema de variação de massa.....	44
Tabela 9: Traços utilizados na produção de blocos estruturais de 14x19x39.....	48
Tabela 10: Chapas marcadas na produção com os traços utilizados e tempos de vibro-compressão medidos.....	48
Tabela 11: Chapas marcadas na produção com os traços utilizados e tempos de vibro-compressão medidos.....	49
Tabela 12: Traços utilizados na produção de blocos estruturais de 14x19x39.....	52
Tabela 13: Chapas marcadas na produção com os traços utilizados, tempos de vibro-compressão e massa das chapas medidas.....	53
Tabela 14: Traços utilizados, tempos de alimentação e pré-vibração, tempos de vibro-compressão, massas e resistências médias dos blocos.....	55
Tabela 15: Séries de blocos produzidas para comparação entre as resistências dos CPs 5x10 e os blocos.....	66
Tabela 16: massa dos blocos, tempos de produção, volume e massa específica dos blocos de parede fina para estudo de correlação com os CPs 5x10.....	66
Tabela 17: massa dos blocos, tempos de produção, volume e massa específica dos blocos de parede grossa para estudo de correlação com os CPs 5x10.....	67
Tabela 18: Valores de resistência e massa específica encontrada para os CPs 5x10 utilizados no estudo comparativo de resistência.....	68

Tabela 19: Cálculo das áreas líquidas e relação $A_{líquida}/A_{bruta}$ dos blocos de parede fina e grossa.....	68
Tabela 20: Valores de resistência (na área líquida) e massa específica encontrada para os blocos utilizados nos estudos de correlação.....	69
Tabela 21: Valores de resistências e massas específicas encontradas para os blocos utilizados nos estudos comparativos de resistência. ....	70
Tabela 22 : Composição granulométrica da Areia Média 1.....	71
Tabela 23 : Composição granulométrica da Areia Média 2.....	72
Tabela 24: Composição granulométrica da Areia Fina.....	72
Tabela 25: Composição granulométrica do pedrisco.....	73
Tabela 26: Massa específica, material pulverulento e massa unitária compactada dos agregados utilizados na moldagem dos CPs 5x10.....	73
Tabela 27: Características químicas, físicas e mecânicas do cimento utilizado na pesquisa.....	74
Tabela 28: Traços utilizados nas série, percentagens retidas acumuladas em cada caso e módulos de finura respectivos.....	75
Tabela 29: Traços desdobrados para cada série de acordo com cada relação agregado/aglomerante utilizado (em massa).....	76
Tabela 30: Valores de umidade, coesão e resistência à compressão das séries 1e 2.....	79
Tabela 31: Valores de umidade, coesão e resistência à compressão das séries 3 e 4.....	80
Tabela 32: Legenda das tabelas utilizadas nos testes estatísticos.....	93
Tabela 33: Teste ANOVA para valores de resistência - traço 1:11.....	94
Tabela 34: Teste ANOVA para valores de resistência - traço 1:9.....	95
Tabela 35: Teste ANOVA para valores de resistência - traço 1:7.....	96
Tabela 36: Teste ANOVA para valores de resistência - traços 1:11, 1:9 e 1:7(Dméd).....	98
Tabela 37: Teste ANOVA para valores de coesão - traço 1:11.....	99
Tabela 38: Teste ANOVA para valores de coesão - traço 1:9.....	100
Tabela 39: Teste ANOVA para valores de coesão - traço 1:7.....	101
Tabela 40: Teste ANOVA para valores de coesão - traços 1:11, 1:9, 1:7 (Dmáx).....	103
Tabela 41: Teste ANOVA para valores de coesão - traços 1:11, 1:9, 1:7 (Dméd).....	104
Tabela 42: Teste ANOVA para valores de coesão - traços 1:11, 1:9, 1:7 (Dmín).....	105
Tabela 43: Condição e tipo de controle a ser avaliado para encontrar o provável coeficiente de variação de uma fábrica.....	107



Tabela 44: Sugestão para teste de proporção entre fração grossa e fina das misturas.....	112
Tabela 45: Relação cimento:agregado a ser utilizado para o alcance de resistências médias nos blocos produzidos por máquina MONTANA MBX 975.....	115
Tabela 46: Valores de resistência e massa específica referentes ao gráfico da Figura 63 para os traços 1:11, 1:9 e 1:7.....	118
Tabela 47: Valores de massa úmida dos blocos calculadas a partir da massa específica úmida resultante do estudo de dosagem.....	120
Tabela 48: CPs 5x10 moldados com traço 1:11 – série 1.....	124
Tabela 49: CPs 5x10 moldados com traço 1:9 – série 1.....	125
Tabela 50: CPs 5x10 moldados com traço 1:7 – série 1.....	126
Tabela 51: CPs 5x10 moldados com traço 1:11 – série 2.....	127
Tabela 52: CPs 5x10 moldados com traço 1:9 – série 2.....	128
Tabela 53: CPs 5x10 moldados com traço 1:7 – série 2.....	129
Tabela 54: CPs 5x10 moldados com traço 1:11 – série 3.....	130
Tabela 55: CPs 5x10 moldados com traço 1:9 – série 3.....	131
Tabela 56: CPs 5x10 moldados com traço 1:7 – série 3.....	132
Tabela 57: CPs 5x10 moldados com traço 1:11 – série 4.....	133
Tabela 58: CPs 5x10 moldados com traço 1:9 – série 4.....	134
Tabela 59: CPs 5x10 moldados com traço 1:7 – série 4.....	135

## LISTA DE SÍMBOLOS

Fbk = Resistência característica do bloco

Fbm = Resistência média do bloco

CV = Coeficiente de variação

Sd = Desvio Padrão

D = Massa específica

S1/G1 = Série 1 / Granulometria 1

D Max = Massa específica máxima

SQT= Soma dos quadrados total

SQ= Soma dos quadrados

SQR= Soma dos quadrados residual ou dentro dos grupos

GDL= Graus de liberdade

MQ= Médias quadradas

H= Umidade

G= Granulometria

D= Massa específica máxima

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABCP	- Associação Brasileira de Cimento Portland
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
EPUSP	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
ENCOL	- Encol Engenharia Comércio e Indústria S.A.
IPT	- Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LMCC	- Laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina
NBR	- Norma Brasileira
NCMA	- National Masonry Association
PCA	- Portland Cement Association
PATME	- Programa de Apoio Tecnológico a Micro-Empresa
SEBRAE	- Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
UFSC	- Universidade Federal de Santa Catarina

## RESUMO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo bastante antigo. Data das idades mais remotas onde o homem utilizava blocos espessos de pedra para construir sua habitação. Muitas destas obras podem ser vistas ainda hoje e impressionam pela sua grandiosidade e beleza arquitetônica.

Com o advento do concreto armado, as alvenarias estruturais foram relegadas a segundo plano. Somente em meados do século XX, foi retomada devido aos avanços tecnológicos que possibilitaram cálculos racionais e maior resistência e qualidade nas unidades constituintes. Os grandes blocos de rocha utilizados em épocas passadas foram substituídos por blocos modulares, de menor tamanho e massa, com medidas racionalizadas para dar maior produtividade e mais adaptadas ao trabalho humano. Isto fez com que a alvenaria estrutural pudesse novamente competir com os outros sistemas construtivos.

Nas últimas duas décadas, a utilização dos blocos de concreto na construção de alvenarias estruturais tem sido crescente. Projetos cada vez mais altos têm especificado resistências características mais elevadas para as unidades. Aliada à este fator, a busca pelo atendimento das prescrições normativas no que se refere as formas dimensionais, retração e absorção dos blocos, têm levado os fabricantes a melhorar a qualidade de seus produtos. Devido a carência de estudos realizados na área dos concretos “secos”, utilizados na produção dos blocos de concreto, quanto a sua dosagem, e o entendimento das variáveis envolvidas no processo produtivo, foi desenvolvido um programa experimental que testou, em laboratório, uma forma de dosar os concretos “secos” a partir de suas propriedades básicas. Além disso, estão mostrados alguns trabalhos realizados em fábrica que apontam as variáveis envolvidas no processo produtivo dos blocos de concreto e de que forma elas influenciam nas resistências e variabilidades de uma produção. O estudo proporcionou resultados satisfatórios na previsão das resistências mecânicas dos blocos de concreto a partir de estudos laboratoriais em corpos-de-prova cilíndricos 5x10 e também a importância do controle das variáveis em um processo produtivo na resistência das unidades. A metodologia proposta deve agora ser testada em diferentes situações para que possa ser comprovada sua eficiência na previsão das resistências e outras características (textura e coesão) dos blocos produzidos em diferentes fábricas e com diferente agregados.

## ABSTRACT

The structural masonry is a quite old constructive system. It dates to the most remote ages, when man used thick blocks of stone to build his habitation. Many of these works can still be seen today and they impress for their hugeness and architectural beauty.

With the development of the reinforced concrete, the structural masonry was relegated to second plan. Only in the middle of the XXth century, it was retaken due to the technological progresses that facilitated rational structural designs and larger resistance and quality of the constituent units. The great rock blocks used in past times were substituted by modulated blocks, of smaller size and weight, with suitable measures more adapted to human work, providing larger productivity. This allowed the structural masonry to compete again with the other constructive systems.

In the last two decades, there has been an increase in the use of the concrete blocks in the construction of structural masonry. More and more complex projects have specified more elevated resistance for the units. Besides, the search for the attendance of the normative prescriptions related to dimensional forms, shrinkage and absorption of the blocks, led the makers to improve the quality of their products. Due to a lack of studies accomplished in the area of "dry" concretes, used in the production of the concrete blocks, an experimental study was carried out related to both their mix design, and the understanding of the parameters involved in the productive process. This experimental study tested, in laboratory, a way of mix design the "dry" concretes from their basic properties. In addition, some experiments carried out in factory are shown. They indicate parameters involved in the productive process of the concrete blocks and the way that they influence the resistance and variability of a production. The study provided satisfactory results in the forecast of the mechanical resistance of the concrete blocks starting from laboratory studies in cylindrical 5x10 specimens and also showed the importance of the control of several parameters related to the productive process for the resistance of the units. The proposed methodology must now be tested in different situations so that it can be proven to be efficient in the forecast of the resistances and other characteristics (texture and cohesion) of the blocks produced in different factories and with different aggregates.

## 1. INTRODUÇÃO

A alvenaria estrutural é um sistema construtivo bastante antigo. Data das idades mais remotas onde o homem utilizava blocos espessos de pedra para construir sua habitação. A estrutura e a arquitetura destas edificações eram bem características, como por exemplo, as espessuras relativamente grandes das paredes e as formas em arco na tentativa de alcançar maiores vãos. Muitas destas obras podem ser vistas ainda hoje e impressionam pela sua grandiosidade e arquitetura. Foram construídas por motivos religiosos, como exemplo o Vaticano em Roma, ou por motivos de guerra, para proteção de Reis e Rainhas, como os vários castelos medievais da França e Inglaterra. Apesar de terem centenas de anos, continuarão certamente por mais um longo tempo imponentes, demonstrando toda sua beleza e força.

Os últimos dois séculos foram marcados por uma grande evolução da humanidade e alto crescimento populacional. A descoberta de novas tecnologias e materiais, a revolução industrial, entre outros fatores, impuseram a adoção de construções mais baratas a fim de atender a necessidade habitacional e industrial. O advento do concreto armado no início do século XX, trouxe a possibilidade de se fazer estruturas esbeltas com grandes vãos, propriedades que a alvenaria não podia concorrer por suas próprias características. Assim, ela ficou relegada a segundo plano, passando a ser utilizada basicamente como elemento de vedação nas construções, devido a necessidade de empregar paredes exageradamente espessas, principalmente por causa da inexistência de processos racionais de cálculo. Somou-se a este fato a falta de tecnologia capaz de fabricar materiais com resistência mecânica e qualidades suficientes para se fazer alvenarias estruturais com menores espessuras, explicando assim o declínio de utilização deste sistema construtivo. As grandes obras de alvenaria construídas na antiguidade, utilizando muitas vezes trabalho escravo para sua execução, pareciam não ter mais espaço na vida moderna.

Todavia, a evolução dos materiais, dos processos de produção, dos cálculos matemáticos, trariam novamente à tona a alvenaria estrutural.

O atendimento à necessidade de produzir-se peças de alvenaria que suportassem elevadas cargas e que fossem esbeltas o suficiente para evitar o desperdício de materiais e de espaços nas edificações, além da facilidade de aplicação nas obras, tornou-se possível com a utilização

de equipamentos pesados e sofisticados de vibro-compressão e de cimentos cada vez mais resistentes que proporcionaram o ressurgimento da alvenaria estrutural, no caso de peças de concreto. As peças cerâmicas também tiveram grande avanço, com fornos mais modernos e controles de queima do material mais eficientes, viabilizando o uso deste material nas alvenarias estruturais.

A partir dos anos 20 iniciaram-se pesquisas e desenvolvimento na área de materiais e cálculos com utilização de alvenarias com função estrutural. No início do século, os Estados Unidos estabeleceram laboratórios de resistência dos materiais e alguns destes estavam voltados para testes em alvenaria. Segundo PRUDÊNCIO (1986), na Índia, em 1923, testes extensivos sobre a alvenaria foram executados e resultaram numa teoria racional de projeto sendo considerado o verdadeiro início da alvenaria armada. Em 1948, na Inglaterra, foi elaborada a primeira norma consistente para o cálculo da alvenaria de tijolos. SUTHERLAND (1981) apud MEDEIROS (1993) relata que em 1951 um edifício em alvenaria foi calculado racionalmente por HALLER na Suíça e construído em alvenaria não armada, o que representou um marco importante para alvenaria estrutural. Em 1967 surgem nos E.U.A especificações do NCMA (“Specification for the design and the construction of Load-Bearing Concrete Masonry”), resultado de anos de pesquisa na área e foram rapidamente adotadas em todo o território norte-americano e permitiram várias construções em alvenaria estrutural. Desde então, este tipo de construção só tem visto o crescimento de sua utilização com desenvolvimento muito grande na área de materiais, processos construtivos e formas de cálculo que viabilizam construções em alvenaria de forma racional, rápida e segura com muita qualidade. Atualmente, a alvenaria encontra-se difundida em muitos países como Inglaterra, França, Estados Unidos, Canadá e Austrália. Segundo o MANUAL TÉCNICO DE ALVENARIA (1990), no Brasil, a alvenaria estrutural com blocos de concreto iniciou-se em fins dos anos 60 com a montagem de grandes fábricas produtoras de blocos de concreto, como a Reago, em São Paulo, e firmou-se na década de 70 com a construção de grandes conjuntos habitacionais como, por exemplo, a construção do Conjunto Habitacional Central Park da Lapa, com quatro blocos de doze andares, o edifício Muriti, em São José dos Campos, de dezesseis andares, entre outros.

A opção pelo emprego de blocos de concreto, em detrimento dos cerâmicos, para a construção de edificações tem sido crescente no Brasil. Este crescimento está sendo observado, não só para o uso em alvenarias estruturais, mas também para alvenarias de vedação.

Nas alvenarias de vedação, este fato tem se justificado não só pelo esgotamento das jazidas de argila para produção de blocos cerâmicos e aprimoramento das leis ambientais que tem inibido o desmatamento de reservas florestais nativas para produção de lenha, que é o principal combustível da indústria cerâmica mas, principalmente, pelas vantagens técnicas advindas da utilização dos blocos de concreto. Apesar dos preços dos blocos de concreto serem ainda superiores aos dos cerâmicos, o custo final das alvenarias tem tornado a opção pelos primeiros cada vez mais vantajosa. A precisão dimensional quase que absoluta das peças diminui a espessura das camadas de revestimento além de simplificar e tornar mais rápida a sua aplicação reduzindo assim os custos. Além disso, a possibilidade de conceber os projetos com dimensões coordenadas e múltiplas dos blocos e de incorporação das instalações elétricas e, em alguns casos hidráulica, elimina desperdícios com quebras de paredes e retrabalhos.

Mas, sem dúvida alguma, o motivador principal deste aumento de produção tem sido o crescimento do sistema construtivo em alvenaria estrutural de blocos de concreto. Além das vantagens já citadas para os blocos de vedação, este sistema tem reduzido significativamente os custos finais dos edifícios por diminuir o consumo de aço, concreto, formas de madeira e principalmente da mão-de-obra (carpinteiros, armadores e pedreiros). Ademais, a racionalização que impõe o processo à execução da obra evita desperdícios em todas as fases da construção. Comparando-se as vantagens de seu uso em relação aos dos blocos cerâmicos, poderia-se ainda citar:

- Menor massa específica do primeiro, remetendo a cargas menores na edificação;
- Sua precisão dimensional;
- Diversidade de peças que possibilitam uma adequação de passagens de instalações elétricas e hidráulicas na obra;
- Possibilidade de dosagem racional para alcance de resistências especificadas em projeto com grande precisão e baixa variabilidade;



- Compatibilidade bloco-argamassa conduzindo a uma maior eficiência na resistência de paredes em relação às paredes cerâmicas;
- Disponibilidade de matérias-primas em praticamente todos os locais;
- Processos de fabricação eficientes dos blocos, com maquinários capazes de produzir em grande escala materiais de alta qualidade;

É visível o crescimento do consumo de blocos de concreto em todo o Brasil. Na Região Sul, por exemplo, o aumento do número de fabricantes e, recentemente, a criação da associação dos produtores da região – Blocosul, têm ampliado as perspectivas do mercado na área. As fábricas integrantes da associação possuem maquinários de grande porte, máquinas vibroprensas, capazes de fornecer produtos em conformidade com as normas brasileiras vigentes.

A produção de blocos de concreto por máquinas vibroprensas, no Brasil, já não é mais novidade. Existem fábricas que possuem equipamentos de grande porte, muitos deles adquiridos dos melhores fabricantes de maquinários do mundo, com capacidade de produzir peças de qualidade e em grande quantidade. Porém, o que ainda se observa é a falta de um controle sobre o processo produtivo, capaz de conferir segurança, qualidade e economia nos materiais produzidos.

Os insucessos, em certos casos, no alcance de resistências características, cada vez mais elevadas, devido às especificações de projetos de edifícios cada vez mais altos e arrojados, proporciona certa insegurança aos produtores de blocos, projetistas e construtores na hora de utilizar e vender o sistema construtivo da alvenaria estrutural.

A norma brasileira especifica resistências características de até 16MPa em área bruta para blocos normalizados. No entanto, poucas são as fábricas que conseguem garantir o alcance de resistências características de 12MPa nos blocos, resistência esta requerida por projetos de edifícios mais altos recentes na região Sul.

As causas desta dificuldade em atingir resistências maiores está na falta de conhecimento e procedimentos utilizados na produção dos blocos de concreto. A resistência característica das unidades de alvenaria é conseguida mediante o equacionamento de inúmeras variáveis contidas nos processos de produção. No caso dos blocos de concreto, a regulação dos

equipamentos utilizados na compactação dos concretos, a umidade da mistura, a qualidade dos agregados, os traços utilizados, entre outros, interferem diretamente na resistência dos artefatos produzidos. Contudo a grande maioria das fábricas utilizam procedimentos empíricos no processo produtivo e proporcionamento dos artefatos que resultam em desperdício de material e insucessos na tentativa de alcançar resistências almeçadas.

Cada fábrica possui uma particularidade no que diz respeito aos equipamentos utilizados, tais como tipos de dosagem (massa ou volume), de máquinas vibro-prensas capazes de imprimir alta ou baixa força de compactação e produtividade, de sensores controladores de umidade, de processos de cura, entre outras. Cada uma destas particularidades interfere na qualidade do produto final e no proporcionamento das misturas adequadas à produção.

As metodologias de dosagem atualmente existentes são bastante precárias e dependem fundamentalmente de testes em escala de fábrica. O desenvolvimento dos traços é baseado em ajustes da proporção de agregados, de modo a obter uma dada curva granulométrica ou minimizar o teor de vazios, e de uma posterior variação do teor de cimento na mistura. Estas metodologias, entretanto, não conseguem prever a adequação dos traços propostos ao processo produtivo da fábrica e mesmo a textura final dos artefatos produzidos

Desta forma, faz-se necessário o estudo de uma metodologia de dosagem que seja capaz de prever e proporcionar, com mais exatidão, as características finais dos blocos de concreto, resultando em economia e segurança na produção dos mesmos para que atinjam resistências e características particulares desejadas.

Esta dissertação de mestrado tem como objetivo analisar o processo produtivo de fábricas de blocos de concreto, mostrando as variáveis contidas na produção que alteram de forma significativa as propriedades dos produtos e propor um método de dosagem racional de concretos para blocos. Esta metodologia visa padronizar testes laboratoriais com os traços dosados para prever as resistências e características dos produtos finais. A partir de características particulares dos blocos, que lhe conferem resistência e possibilidade de produção em máquinas vibro-prensas, como a compacidade e coesão de suas misturas, buscase desenvolver um procedimento de dosagem baseado na massa específica da misturas, e na coesão dos concretos ditos “secos”, granulometria dos agregado, entre outras propriedades a fim de conferir aos blocos resistência e qualidade.

Para atingir tais objetivos, esta dissertação está dividida nos seguintes capítulos: **CAPÍTULO 1:** Introdução – breve histórico sobre a alvenaria estrutural, atual nível tecnológico de produção dos blocos de concreto e justificativa para a pesquisa desenvolvida; **CAPÍTULO 2:** Aspectos tecnológicos dos concretos utilizados em blocos – discorre-se sobre a tecnologia de produção dos blocos de concreto, variáveis envolvidas no processo, metodologias de dosagem atualmente utilizadas e discussões sobre as mesmas; **CAPÍTULO 3:** Parâmetros influentes na resistência dos blocos de concreto: Estudos de casos – apresenta-se resultados de estudos realizados em fábrica com o objetivo de mostrar como as variáveis envolvidas no processo de produção podem interferir nas características dos blocos de concreto; **CAPÍTULO 4:** Método proposto – descreve-se a metodologia proposta de dosagem para blocos de concreto; **CAPÍTULO 5:** Programa experimental – descreve-se o programa experimental desenvolvido para testar a metodologia de dosagem proposta e apresenta-se os resultados obtidos; **CAPÍTULO 6:** Considerações finais e recomendações – são tecidas algumas considerações e conclusões a partir dos ensaios realizados e resultados obtidos e apresenta-se recomendações para trabalhos futuros.

## **2. ASPECTOS TECNOLÓGICOS DOS CONCRETOS UTILIZADOS EM BLOCOS**

### **2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

Os concretos, que utilizam como aglomerante o cimento Portland, têm inúmeras aplicações e finalidades. Por sua versatilidade e alcance de propriedades normalmente requeridas, tais como resistência mecânica, durabilidade entre outras, são utilizados na construção de pavimentos, pontes, barragens, edificações, peças pré-moldadas, etc.

Cada tipo de concreto possui características bem próprias e diversificadas, mas podem ser classificados dentro de dois grande grupos, de acordo com seu comportamento que permite definir propriedades como resistência á compressão, entre outras: os concretos plásticos e os concretos “secos”.

Dentre os concretos plásticos, pode-se destacar o concreto convencional, utilizado em obras de concreto armado, o concreto fluido, utilizado em peças pré-moldadas que necessitam que a

mistura seja auto-adensável e o concreto graute, utilizado na concretagem dos vazados de blocos em alvenarias estruturais. Dentre os concretos “secos”, encontra-se o concreto projetado, utilizado em contenção de encostas e em túneis, o concreto utilizado na confecção de blocos, tubos, pavimentos e concreto compactado a rolo, utilizado na construção de barragens.

Existem várias diferenças entres estes grupos de concreto. Entre elas, pode-se destacar a forma com que o ar é aprisionado às misturas, a trabalhabilidade e o abatimento, a granulometria final, a relação água/materiais secos, os processo de produção, entre outras. Estas diferenças fazem com que as metodologias de dosagem sejam também distintas, e o que vale para os concretos plásticos nem sempre pode ser utilizado como regra para os concretos “secos”.

Os concretos plásticos, por serem os mais utilizados e pela facilidade de com que podem ser moldados para estudos em laboratório, possuem metodologias de dosagens consolidadas e que proporcionam um dimensionamento da resistência do material com uma boa confiança. O comportamento da micro e da macro estrutura do concreto plástico já foi e é alvo de muitas pesquisas, as quais são responsáveis por todo o conhecimento adquirido deste tipo de concreto.

Para os concretos “secos” empregados na produção de blocos estruturais, também existem metodologias de dosagem propostas para o alcance de resistências características. Muito embora estas metodologias induzam à obtenção de traços teoricamente adequados, elas normalmente possuem algumas imprecisões por não levarem em consideração uma série de fatores intervenientes no processo de produção e conceitos fundamentais sobre os concretos “secos”. Desta forma, normalmente os traços proporcionados não satisfazem as resistências pré-estabelecidas ou características específicas, como a textura, absorção e resistência dos blocos, fazendo com que sejam necessários ajustes grosseiros na fábrica, executados de forma empírica, na base de tentativas para o alcance das mesmas.

Para que se possa compreender as diferenças destes dois grupos de concreto, serão apresentadas nos item 2.2 e 2.3 as características gerais dos concretos plásticos e “secos”, respectivamente, e suas metodologias de dosagens mais utilizadas.

## 2.2 CONCRETOS PLÁSTICOS

### 2.2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

Os concretos plásticos são conhecidos por formarem, após misturados e homogeneizados agregados e aglomerantes, uma massa facilmente adensável. Esta característica permite que estes concretos sejam transportados e lançados até os locais onde serão aplicados. Seu adensamento e retirada de ar aprisionado à mistura, é feito por equipamentos simples, tais como vibradores de imersão.

O excesso de água, necessário para proporcionar a consistência desejada ao concreto, além daquela necessária à hidratação dos cimentos, dá origem a poros que fazem diminuir a resistência dos concretos. Este fato faz com que a resistência do material se relacione diretamente com a relação água/cimento através de uma expressão matemática conhecida como a Lei de Abrams. A Figura 1 mostra a representação gráfica da referida lei.

- Lei de Abrams: “A resistência do concreto é proporcional à relação água/cimento”.

$$f_{cj} = \frac{A}{B^{a/c}}$$

[2.2.1]

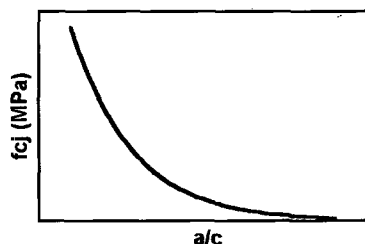


Figura 1: À esquerda a função que descreve a Lei de Abrams e à direita sua representação gráfica.

Para exemplificar a importância desta lei no caso dos concretos plásticos, TARTUCE & GIOVANNETTI(1990) dizem que um traço 1:7 poderá dar a mesma resistência que uma riquíssima dosagem de 1:4, dependendo unicamente dos teores de água/cimento, utilizando-se os mesmos materiais. Entretanto, estes autores ressaltam que não se pode concluir que traços pobres podem substituir, sem limites as dosagens mais ricas. A prática exige que se empregue água suficiente para se obter um concreto *plástico e trabalhável*. Estes mesmos autores citam

uma outra regra, a qual deve ser seguida: “Empregue a menor quantidade de água que lhe possa assegurar um concreto plástico”, ou seja, com a trabalhabilidade desejada.

Os concretos plásticos atendem a uma segunda lei conhecida como “Lei de Lyse”. Esta lei segue a seguinte regra : “A quantidade de água a ser empregada em um concreto com um determinado grupo de materiais (mesmos cimentos, agregado miúdo e gráudo), para obter-se uma dada trabalhabilidade, independe do traço deste concreto”. Na prática, para um dado grupo de materiais, existe uma relação água/materiais secos (H) constante para obter-se uma dada trabalhabilidade.

Esta relação água/materiais secos (H) está relacionada à dimensão máxima característica do agregado gráudo e da forma de adensamento a que o concreto estará sujeito em obra. Normalmente, estes valores variam de 7,5 a 11,5%.

### **2.2.2 METODOLOGIAS DE DOSAGENS PARA CONCRETOS PLÁSTICOS**

#### **Dosagem não experimental do concreto**

Segundo PETRUCCI(1987) “denomina-se dosagem não experimental ao proporcionamento do concreto feito em bases arbitrárias, fixadas quer pela experiência anterior do construtor, que pela tradição.”

Este tipo de dosagem somente deveria ser utilizado em obras de pequeno porte, onde é mais difícil o acesso a estudos mais aprofundados. Este procedimento é rápido e fácil de se executar, porém deve o engenheiro ater-se a regras fundamentais dos concreto a fim de otimizar os traços utilizados.

#### **Dosagem experimental do concreto**

A dosagem experimental do concreto é um processo que leva em consideração as características específicas dos materiais, ensaiados em laboratório, que serão utilizados na obra. Neste tipo de dosagem é fundamental que se utilize duas leis fundamentais do concreto: a Lei de Abrams e a Lei de Lyse.

### **2.2.2.1 DOSAGEM NÃO EXPERIMENTAL**

Segundo PETRUCCI(1987) denomina-se dosagem não experimental do concreto ao proporcionamento do concreto feito em bases arbitrárias, fixadas quer pela experiência anterior do construtor, quer pela tradição.

Por não precisar a resistência característica do material nem possuir parâmetro de durabilidade, a dosagem não experimental deveria ser somente utilizada em obras de pequeno porte, sem exigência de elevadas resistências nem tampouco ser aplicada em ambientes agressivos que necessitam de um controle maior e dimensionamento das características do concreto.

Segundo a NBR 6118 (1978), a dosagem não experimental deve cumprir as seguintes condições:

- a) A quantidade mínima de cimento por m<sup>3</sup> de concreto será 300kg;
- b) A proporção de agregado miúdo no volume total do agregado será fixada de maneira a obter-se um concreto de trabalhabilidade adequada a seu emprego, devendo estar entre 30 e 50%;
- c) A quantidade de água será a mínima compatível com a trabalhabilidade aceitável.

### **2.2.2.2 DOSAGEM EXPERIMENTAL DO CONCRETO – MÉTODO DA ABCP/ACI**

Segundo PRUDÊNCIO(1994), a metodologia baseia-se no fato de que cada tipo de agregado graúdo possui um volume de vazios que será preenchido por argamassa. Deve existir uma quantidade de argamassa adicional que servirá de lubrificante entre os grãos de agregado graúdo para que tenha a trabalhabilidade adequada. Esta argamassa será função da quantidade de vazios e o tipo de areia empregado, já que as areias mais grossas geram argamassas mais ásperas (menos lubrificantes).

Ainda segundo descrito por PRUDÊNCIO (1994), este método prevê os seguintes parâmetros para dosagem:

- a) Tipo, massa específica e nível de resistência aos 28 dias do cimento utilizado;
- b) Análise granulométrica e massa específica dos agregados disponíveis;
- c) Massa unitária compactada do agregado graúdo;
- d) Concreto:
  - dimensão máxima característica do agregado de acordo com a peça e disposição de armaduras na qual será utilizado
  - consistência desejada (slump)
  - condição de exposição ou finalidade da obra
  - resistência de dosagem : função da resistência característica.

A fixação da relação água/cimento está condicionada a parâmetros de durabilidade. Quando não houver restrições quanto a isto, pode-se utilizar tabelas que especificam a resistência do concreto aos 28 dias em função da relação água/cimento, ou utilizar as fórmulas propostas por HELENE(1993), em função do tipo de cimento a ser utilizado.

A obtenção do consumo de água do concreto está ligada à dimensão máxima característica do agregado graúdo e o abatimento (slump) desejado. Uma vez determinados o consumo de água e a relação água/cimento, calcula-se o consumo de cimento. A determinação da quantidade de agregado graúdo é feita em uma tabela específica, utilizando-se como parâmetro de entrada e a dimensão máxima característica do agregado graúdo utilizado.

O método sugere, sempre que possível, usar uma combinação de agregados graúdos de diferentes granulometrias (Ex: britas 1 e 2). Para obter um agregado com menor volume de vazios a ser posteriormente preenchido por argamassa, obtém-se a quantidade através de diferença do volume do concreto e do somatório do volume dos outros materiais já determinados. O traço, denominado piloto, é determinado dividindo-se a massa de cada agregado e a água pelo valor da massa do cimento.

Com este traço deve-se produzir em laboratório uma mistura e, quando necessário, fazer as devidas correções nos teores de argamassa, sempre mantendo a relação água/cimento constante. Com os valores de resistência aos 28 dias é feita uma interpolação dos valores e encontra-se o traço que conduz à resistência especificada.



### 2.2.2.3 DOSAGEM EXPERIMENTAL – MÉTODO IPT/EPUSP

Esta dosagem experimental é conhecida como método dos quatro quadrantes e baseia-se no ajuste de curvas de resistência e trabalhabilidade do concreto em função dos materiais utilizados em obra e sua aplicação em específico.

O método prevê a produção de um traço piloto com  $m=5$  utilizando os materiais que serão usados na obra. O traço piloto é ajustado inicialmente em laboratório até obter-se um teor de argamassa ( $\alpha$ ) ideal que tenha trabalhabilidade desejada. Produzem-se dois novos traços, com o mesmo  $\alpha$ , um mais rico e outro mais pobre com mesmo abatimento, recomendado para a obra. Com estes traços são confeccionados corpos-de-prova a serem ensaiados à compressão nas idades desejadas (normalmente 3, 7 e 28 dias). Com os resultados, serão traçadas as curvas de Abrams e de Lyse e determina-se, por interpolação, o proporcionamento ideal do concreto.

Estas curvas podem ser traçadas com os resultados experimentais utilizando o método dos mínimos quadrados. Utilizando as Lei de Abrams, Lyse e Molinari, com suas fórmulas respectivas, pode-se traçar um gráfico, chamado de diagrama dos quatro quadrantes, que possibilita o ajuste de traços, resistências, abatimento (slump) e relação água/cimento a ser utilizada. A seguir são apresentadas as fórmulas para utilização dos mínimos quadrados e a Figura 2 que mostra a configuração das curvas de dosagem.

- Lei de Abrams:  $f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^c} \frac{a}{c}$  [2.2.2.3-a]

- Lei de Lyse:  $m = k_3 + k_4 \times \frac{a}{c}$  [2.2.2.3-b]

- Lei de Molinari:  $c = \frac{1000}{(k_5 + k_6 \times m)}$  [2.2.2.3-c]

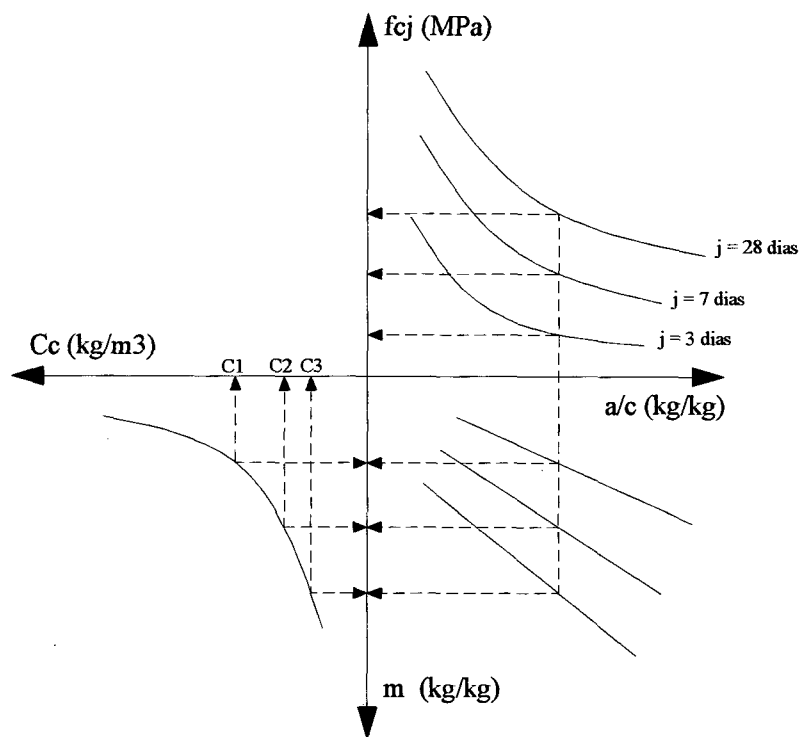


Figura 2: Diagrama de dosagem do Método IPT/EPUSP

## **2.3 CONCRETOS “SECOS”**

### **2.3.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS**

Os concretos “secos” são assim chamados porque sua mistura possui características de concreto levemente umedecido. Isto faz com que estes concretos possuam abatimento zero, e há necessidade de que a retirada de ar aprisionado seja feita por máquinas que conferem compacidade às misturas. A exemplo, tem-se as máquinas de projeção dos concretos projetados via seca, o rolo compactador dos concretos compactados a rolo e as máquinas vibro-prensas para produzir os blocos de concreto. A qualidade dos maquinários e processos, nestes concretos, são fundamentais para o alcance de resistências e qualidades desejadas.

Para os concretos “secos” utilizados na produção de blocos, a umidade alcançada nas misturas é fundamental para que possa ser utilizada para a finalidade requerida. Esta umidade gira em torno de 6 a 8% para que as peças possam ser moldadas sem que haja excesso ou falta de água. Para TANGO(1994), “a quantidade de água de cada mistura deve ser a maior possível, suficiente para que os blocos não se esboroem e não tão grande que faça com que os mesmos tenham dificuldade de desforma por aderência aos moldes, ou perda do formato adequado”.

A produção do bloco de concreto envolve uma tecnologia bastante peculiar. Diferente de um concreto convencional, o concreto para a produção de blocos não segue à risca a “Lei de Abrams”, com a sua conhecida regra da relação água/cimento. Portanto, neste caso, não vale a recomendação de reduzir a quantidade de água na mistura para melhorar a resistência mecânica. Ao contrário, via de regra, quanto mais água se coloca na mistura, maior será a resistência alcançada. Isto ocorre pois a água dosada confere à mistura uma plasticidade que facilita a prensagem do material nas formas da máquina. Existe uma umidade ótima na qual as misturas conseguem obter uma melhor compacidade, bem parecido como o que ocorre na compactação de solos, por exemplo. Evidentemente, existe uma quantidade limite acima da qual as peças não conseguem ser produzidas.

Os traços utilizados em blocos de concreto são, na maioria das vezes, mais pobres que os utilizados em concretos convencionais. Para cobrir a faixa de resistência normalizada para blocos estruturais, de 4,5 a 16MPa, na área bruta do bloco, os traços utilizados giram em torno

de 1:4 a 1:14 (cimento : agregados), enquanto que os traços mais utilizados para os concretos convencionais de menor resistência tem sua relação cimento agregado menor que 1:7.

Com todas as diferenças, relacionadas anteriormente, fica fácil concluir-se que as metodologias de dosagem destes concretos são também distintas. No Item 2.3.3, mostrar-se-á as metodologias utilizadas para dosagens de concretos “secos”, utilizados na fabricação de blocos, abordando características próprias de cada uma.

Para facilitar o entendimento das diferenças entre os concretos citados, é fundamental que se conheça o processo produtivo dos blocos de concreto.

### 2.3.2 PROCESSO PRODUTIVO DE BLOCOS DE CONCRETO

Para um melhor entendimento do processo produtivo de blocos de concreto, está mostrado na figura 3 um layout de uma fábrica de blocos com seus respectivos equipamentos.

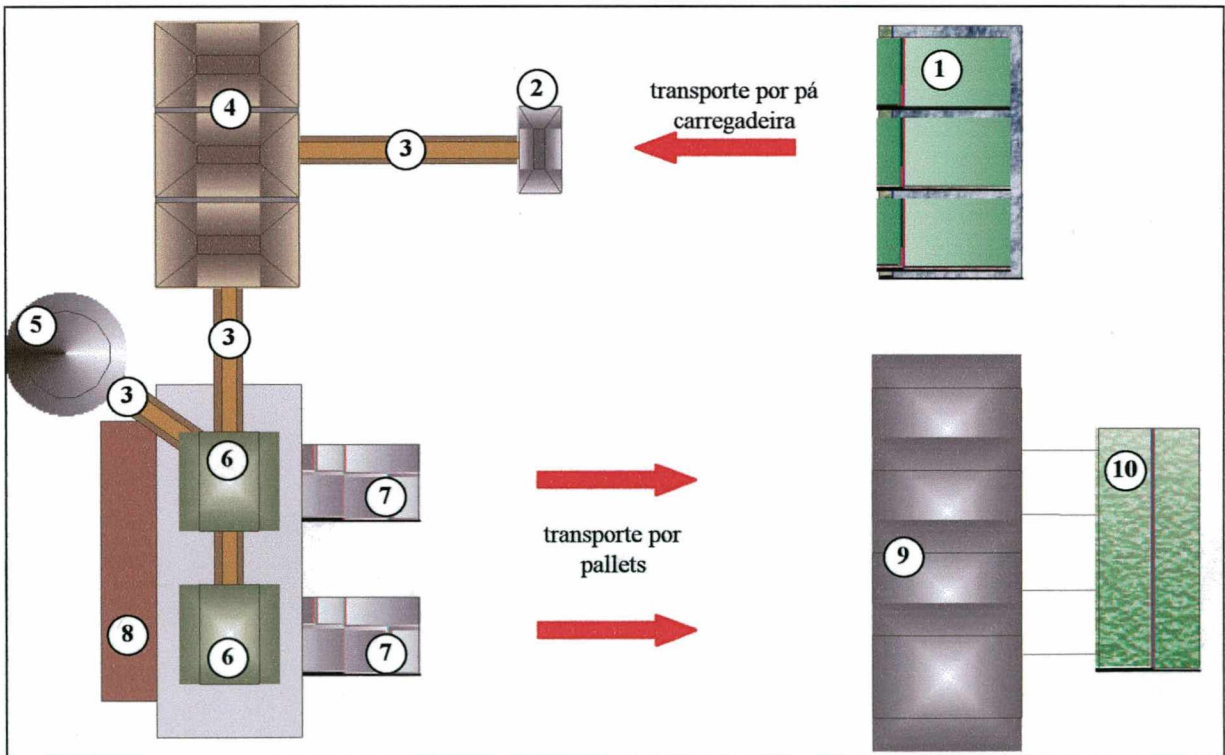


Figura 3: Diagrama de dosagem do Método IPT/EPUSP

- 1- Baias de agregado;
- 2- Cuba para recepção dos agregados das baias;
- 3- Correia transportadora;
- 4- Silo/balança de agregados;
- 5- Silo de cimento;
- 6- Máquinas vibro-prensas;
- 7- Transportador de chapas;
- 8- Misturadores;
- 9- Câmaras de cura;
- 10- Caldeira.

As figuras 4 e 5 ilustram uma fábrica de blocos de concreto.



*Figura 4: Fábrica de blocos de concreto. À frente do operador a máquina vibro-prensa e ao fundo os silos de cimento e agregados(balança)*





*Figura 5: Fábrica de blocos de concreto. Detalhe dos silos de cimento e silo/balança de agregados*

A seguir será feito um comentário sobre as etapas de produção e as recomendações necessária a boa prática de fabricação de blocos de concreto.

### *Agregados e aglomerantes*

Os agregados empregados na produção dos blocos são comuns aos concretos convencionais, diferenciando-se apenas no agregado graúdo que, na maioria dos casos, é dosado com brita 0. O cimento mais utilizado para a produção destes pré-moldados é o ARI (Alta Resistência Inicial), em virtude da elevada resistência inicial que proporciona, acelerando a etapa de desforma e paletização do material. Os agregados miúdos geralmente utilizados são areias médias e grossas especificadas pela NBR7211, de módulo de finura em torno de 3,0. Em certos casos, como na produção de blocos de vedação, onde o consumo de cimento é muito reduzido, é necessário o uso de areias finas para melhorar a coesão da mistura e sua textura superficial.

## *Dosagem e Proporcionamento*

A dosagem de um concreto “seco” geralmente inicia-se pelo estudo da composição ideal entre os agregados. Baseia-se, normalmente, na formulação de uma mistura com um mínimo de vazios possíveis. Isto significa dizer que as dosagens visam alcançar maiores massas unitárias, ou seja, maior massa de material em um mesmo volume diminuindo o volume de vazios. Esta busca por um menor volume de vazios tem por objetivo encontrar um proporcionamento entre agregados que resulte em uma mistura mais compacta por ter relação direta com a resistência à compressão. O alcance destas propriedades vai depender muito do tipo de agregado e suas composições devido às diferentes granulometrias e formas dos agregados que vão compor os traços. A seguir, são confeccionados traços com diferentes teores de cimento de modo a obter-se uma curva de resistências para cobrir a faixa especificada em norma ou de interesse do fabricante.

A quantidade de água deve ser estabelecida experimentalmente na própria fábrica e será função dos materiais utilizados e dos equipamentos disponíveis. Quanto mais água puder ser incorporada à mistura, para cada teor de cimento, maiores serão as resistências e compacidade alcançadas. Entretanto, se esta quantidade for excessiva, ocorrerão problemas de desforma e deformação indesejáveis nas peças durante o transporte para a cura. Por isso, o correto proporcionamento da água também é fundamental no processo. Por este motivo, sensores de umidade devem estar presentes no sistema, sejam eles dentro da cuba do misturador, verificando a umidade do concreto, ou no sistema de abastecimento dos agregados para identificar sua umidade para posterior correção. Quando estão presentes os sensores, eles detectam a umidade contida no material e comandam automaticamente a adição de uma quantidade suplementar de água, caso a mistura não esteja na umidade estipulada. Os sensores são importantes na homogeneidade do material principalmente quanto à sua resistência à compressão. A sua falta pode causar variabilidade na resistência de um mesmo lote produzido, uma vez que a umidade interfere na alimentação das formas da máquina. Esta alimentação, quando é mal feita, pode deixar o material muito poroso com baixa resistência e, no caso contrário, pode ocorrer uma excessiva alimentação impedindo que a máquina possa compactar o material colocado nas formas. O sensor, quando bem ajustado, corrige todas estas deficiências melhorando as qualidades do material produzido.

É também desejável que os agregados e aglomerantes sejam dosados em massa, pela rapidez e precisão deste tipo de operação. Um proporcionamento mau executado por imprecisões dos equipamentos prejudica os traços previamente dosados, podendo resultar numa modificação das características finais dos blocos.

### *Mistura*

Após proporcionada a mistura, esta é levada aos misturadores que podem ser de eixo vertical (misturadores forçados) e horizontal (por gravidade). Um processo ineficiente de mistura pode acarretar em uma má homogeneização do material, provocando heterogeneidade do produto final. Por isso, a escolha do tipo e capacidade do misturador é fundamental. A capacidade deve ser compatível com o ciclo de produção da máquina vibro-prensa. No caso de optar-se pela instalação do sensor de umidade no misturador, deve-se tomar especial atenção no seu posicionamento para evitar heterogeneidades na mistura.

### *Alimentação e Vibro-compressão*

Realizada a mistura, o material é conduzido á cuba de alimentação da vibro-prensa. Esta máquina é de fundamental importância nas características das peças pré-moldadas de concreto pois possui a propriedade de imprimir elevados graus de compactação aos concretos “secos”, interferindo significativamente nas resistências à compressão, absorção e textura do material.

As máquinas vibro-prensas podem ser de funcionamento mecânico ou hidráulico. Elas diferenciam-se pelo grau de compactação que imprimem e sua capacidade de produção, que normalmente é medida por blocos/hora. Máquinas que permitem graus de compactação superiores são potencialmente capazes de produzir blocos de elevadas resistências e que podem mais facilmente atingir os outros requisitos normativos, tais como absorção, textura e retração, pertinentes a estes tipos de peças pré-moldadas.

Nesta fase da produção, são definidos os tempos de alimentação e de pré-vibração da gaveta da máquina. Para saber se o equipamento foi regulado adequadamente, ou seja, se os tempos adotados são suficientes para um bom enchimento das formas, faz-se a medição do tempo em que o contramolde leva para concluir a prensagem do bloco. Este último é chamado de tempo de vibro-compressão e é indicativo de um bom ou mau enchimento da forma. Tempos



insuficientes conduzirão à obtenção de produtos porosos e de baixa resistência enquanto que tempos excessivos aumentarão o tempo de ciclo de produção e o desgaste do equipamento podendo até inviabilizar a produção das peças.

### *Transporte, cura e armazenamento*

Terminada a moldagem das peças, deve-se proceder o transporte para o local da cura. As chapas, onde são moldados os blocos, são posicionadas nas grades que serão conduzidas por empilhadeiras ou sistemas automáticos, dependendo do layout da fábrica, até as câmaras de cura. Normalmente, estas grades são construídas de perfis metálicos e recebem cerca de dez a vinte chapas metálicas. Esta operação deve ser cautelosa para evitar vibrações que possam danificar as peças recém produzidas. A cura, definida como o conjunto de procedimentos necessários à correta hidratação do cimento, deve ser preferencialmente acelerada, feita em câmaras de vapor, a temperaturas de 60 a 70°C, por no mínimo seis horas. Neste caso, deve ser precedida de um período de descanso de duas horas para evitar fissurações nas peças. O processo de cura é o responsável pelo ganho de resistência das peças e a diminuição de sua retração potencial. Se não for feita cura acelerada, as peças devem ser mantidas úmidas por um período de 7 dias para posterior liberação para entrega. Após a cura, as peças devem ser paletizadas e armazenadas de forma a constituírem um layout que facilite sua identificação e carregamento dos caminhões que levarão o produto até as obras. A paletização facilita a operação de transporte e minimiza as quebras do produto, reduzindo os custos de reposição.

## **2.3.3 METODOLOGIAS DE DOSAGEM PARA CONCRETOS “SECOS”**

A seguir, estão apresentadas as metodologias de dosagem mais utilizadas para o proporcionamento de misturas a serem utilizadas na fabricação dos blocos de concreto. Estas são baseadas em volume mínimos de vazios, ajuste de módulo de finura final das misturas e uma adaptação da metodologia de dosagem do IPT/EPUSP para blocos de concreto.

### **2.3.3.1 MÉTODO ADOTADO PELA BESSER COMPANY**

Este método, formulado por Lucas E. Pfeiffenberger e adotado pela fabricante de máquinas vibro-prensas norte americana, Besser Company, é baseado no ajuste de traço pela

granulometria final das misturas, mais propriamente por seu módulo de finura (M.F.). No Brasil, este método foi muito utilizado pela empresa ENCOL, que desenvolveu junto ao EPUSP, um manual sobre o processo produtivo e dosagem de blocos de concreto, intitulado: Manual do Processo Construtivo Poli-Encol: Blocos e Pré-moldados (1991).

O método estipula as características requeridas para os agregados utilizados, areia (média e pedrisco), bem como um proporcionamento inicial pré-estabelecido. Este proporcionamento encontra-se numa faixa de 40% para o pedrisco e 60% para a areia média, em massa, variando estas percentagens de acordo com a análise granulométrica dos mesmos.

Quando ocorre uma deficiência de granulometria (falta de finos, por exemplo), pode-se utilizar um terceiro material, como por exemplo, um areia fina, na tentativa de ajustar o M.F. da mistura, que deve ficar em torno de 3,60 a 3,75. O autor sugere, também, que para este módulo de finura, areias médias com M.F. de 3,00 a 3,50 e pedriscos com M.F. de 5,00 a 5,75 alcançam facilmente o M.F. final da mistura com a proporção em torno de 40/60 (pedrisco/areia). Cálculos para o proporcionamento :

X = porcentagem de agregado fino que se deseja

Y = porcentagem de agregado grosso

A = M.F. do agregado grosso

B = M.F. que se busca do agregado combinado

C = M.F. do agregado fino

Fórmula a utilizar  $X = 100 \times \frac{A - B}{A - C}$  [2.3.3.1-a] e  $Y = 100 - X$  [2.3.3.1-b]

Para verificação do M.F. final da mistura pode-se multiplicar as respectivas porcentagens de agregados por seus módulos de finura ou multiplicar a porcentagem acumulada de cada peneira de cada agregado pela porcentagem utilizada de cada agregado e somar estes valores, calculando-se, posteriormente seu módulo de finura.

- Exemplo de proporcionamento para o referido método – mistura com MF=3,70 (retirado do manual BESSER):

*Tabela 1: Granulometria da areia média e pedrisco utilizado no exemplo.*

**Areia Média**

Peneira (mm)	Porcentagens	
	Retida	Acumulada
9,5	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0
4,8	0,0	0,0
2,4	10,0	10,0
1,2	19,0	29,0
0,6	21,0	50,0
0,3	33,0	83,0
0,15	12,0	95,0
Fundo	5,0	100,0
Total	100,0	-

M.F. = 2,67

**Pedrisco**

Peneira (mm)	Porcentagens	
	Retida	Acumulada
9,5	0,0	0,0
6,3	0,0	0,0
4,8	63,0	63,0
2,4	30,0	93,0
1,2	2,0	95,0
0,6	1,0	96,0
0,3	1,0	97,0
0,15	1,0	98,0
Fundo	2,0	100,0
Total	100,0	-

M.F. = 5,42

$$X = 100 \times \frac{(5,42 - 3,70)}{(5,42 - 2,67)} \quad X = 62,5\%$$

$$Y = 100 - 62,5 \quad Y = 37,5\%$$

$$M.F.(mistura) = 62,5 \times 2,67 + 37,5 \times 5,42 = 3,70$$

Tabela 2: Granulometria da mistura final encontrada.

Peneira (mm)	Porcentagens		
	Retida	Retida	Acumulada
9,5	$0,625 \times 0 + 0,375 \times 0$	0,0	0,0
6,3	$0,625 \times 0 + 0,375 \times 0$	0,0	0,0
4,8	$0,625 \times 0 + 0,375 \times 63$	23,6	23,6
2,4	$0,625 \times 10 + 0,375 \times 30$	17,5	41,1
1,2	$0,625 \times 19 + 0,375 \times 2$	12,6	53,8
0,6	$0,625 \times 21 + 0,375 \times 1$	13,5	67,3
0,3	$0,625 \times 33 + 0,375 \times 1$	21,0	88,3
0,15	$0,625 \times 12 + 0,375 \times 1$	7,9	96,1
Fundo	$0,625 \times 5 + 0,375 \times 2$	3,9	100,0
Total	100,0	-	-

M.F. = 3,70

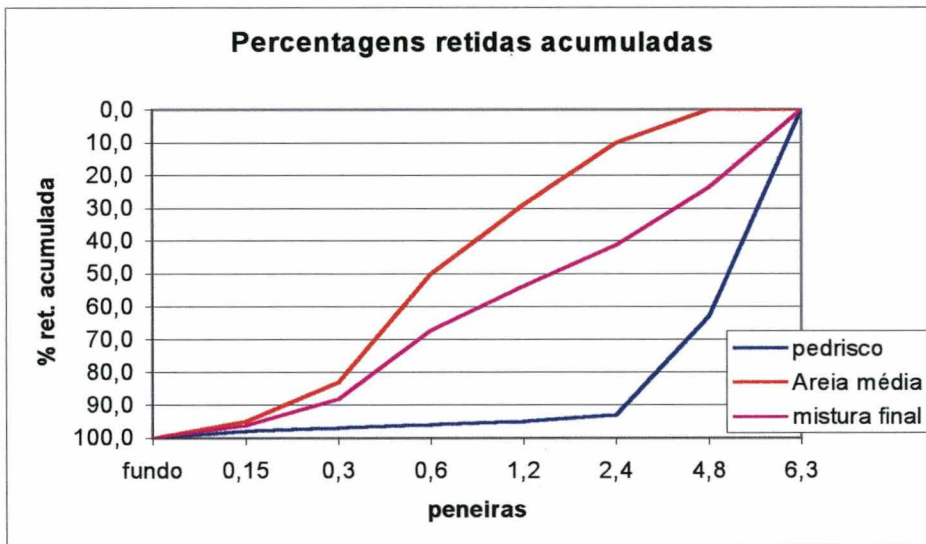


Figura 6: Gráfico das granulometrias da areia, pedrisco e mistura final encontrada.

O autor sugere que para se alcançar uma granulometria adequada para os blocos de concreto, seria desejável que a mistura possuísse uma graduação como os da Figura 7.

*retido nas peneiras :*  
4,8 }  
2,4 } *Grupo 1 → grosso : 40% do material*

*retido nas peneiras :*  
1,2 }  
0,6 } *Grupo 2 → médio : 45% do material*  
0,3 }

*retido nas peneiras :*  
0,15 }  
*fundo* } *Grupo 3 → fino : 15% do material*

*Figura 7: Porcentagens retidas acumuladas desejáveis, em cada grupo de peneiras, no proporcionamento de blocos de concretos*

A partir dos agregados disponíveis e estudadas e escolhidas as proporções mais adequadas entre os mesmos, deve-se executar a produção de traços-piloto a fim de testar a resistência do blocos, que será medida apenas com testes em escala real de produção. O manual POLI-ENCOL (1991) apresenta traços e ajustes que devem ser dados ao processo produtivo a fim de obter êxito nas resistências a ser atingidas nos testes. No estudo que gerou este manual de procedimentos, utilizou-se a máquina MONTANA MBX 975 para a produção dos blocos de concreto em fábrica situada na cidade de Goiânia, estado de Goiás. Segundo este manual, os cuidados devidos na produção e os traços a serem testados são os seguintes:

a) Ajustes no equipamento / tempos de produção adotados na vibro-prensa

- tempo de alimentação : 4s;
- tempo de pré-vibração : 5s;
- tempo de desforma: 4s;
- tempo de ciclo : 22 a 24s;
- tempo de vibro-compressão: 1,5 a 2,5s.

## b) Umidade

A mistura deve possuir cerca de 6% a 7,5% de umidade. Esta depende das características do material e do uso ou não de aditivos. Com estes teores de umidade, o manual indica a utilização de aditivos, que no caso da fábrica é um sabão industrial (Supersol da Gessy Lever). O consumo deste aditivo é dependente da granulometria da mistura e da eficiência do sistema de vibração. Nesta fábrica, em específico, utiliza-se 50ml por saco de cimento.

As experiências na fábrica demonstraram que os valores de umidade utilizados para encontrar o  $H_{ótimo}$  estão em torno de 7,0% de umidade para misturas sem aditivo e 6,0% para misturas que utilizam aditivo. Estes valores podem oscilar conforme a natureza, granulometria e quantidade dos materiais empregados, porém a prática tem demonstrado que eles não são superiores a 0,5%.

## c) Relação cimento : agregado

A relação cimento/agregado a ser utilizada depende da resistência à compressão desejada para os blocos. O manual recomenda, para este maquinário, a utilização das seguintes relações cimento/agregado considerando um coeficiente de variação na produção da ordem de 15%. Os valores sugeridos encontram-se na Tabela 3.

*Tabela 3: Relação cimento agregado pilotos sugeridos para a produção de blocos de concreto na máquina MONTANA MBX 975 segundo resistência desejada.*

	Resistência à compressão (MPa)			
	4,5	6,0	8,0	9,0
Relação	1:9	1:8	1:7	1:6
Cimento: agregado	a	a	a	a
(em massa)	1:12	1:10	1:9	1:8

Após moldados, os blocos devem ser avaliados quanto à sua textura. Os tempos de ciclo devem ser controlados para evitar maiores variações nas resistências dos blocos.

### **2.3.3.2 MÉTODO ABCP-BASEADO NA MAIOR COMPACIDADE DA MISTURA**

Este método está descrito em uma publicação da ABCP Associação Brasileira de Cimento Portland) em forma de boletim técnico e foi desenvolvido por FERREIRA(1990), intitulado: Produção de Blocos de concreto para Alvenaria – Prática Recomendada. Seu enfoque é dado para o alcance de proporcionamentos entre areia e pedrisco que resultem na máxima compacidade possível da mistura. Segundo a metodologia, esta trará a maior resistência nos blocos de concreto.

O método consiste na comparação de massas que cabem em um recipiente padronizado e de volume conhecido.

Procedimento de dosagem – encontro da mistura com maior massa

- a) secar os agregados utilizados – areia e pedrisco;
- b) a proporção de cada um dos agregados deverá ser tal que produza um agregado total com a máxima compacidade possível;
- c) o procedimento consiste em colocar os agregados previamente misturados no recipiente com quadro(colarinho) metálico já adaptado (40x40 cm de boca) e de volume conhecido, adensar, retirar o quadro, rasar e pesar. A composição que apresentar maior massa será a ideal;
- d) se possuir mais de dois agregados, determina-se a composição com os dois mais grossos e depois a dessa composição com o mais fino.

RODRIGUES (1995) em outra publicação de Boletim Técnico da ABCP mostra como fazer a dosagem de peças de pavimentação utilizando máquinas vibro-prensas. O princípio de dosagem é bem semelhante a proposta de FERRERA (1990) e ele sugere, para o proporcionamento das misturas, que se utilizem para isto proporções de agregados em quantidades variáveis (20%, 40%, 60% e 80% da areia em massa). Desta proposição surge o gráfico da Figura 8, que calcula o volume de vazios das misturas e não mais a massa das misturas compactadas.

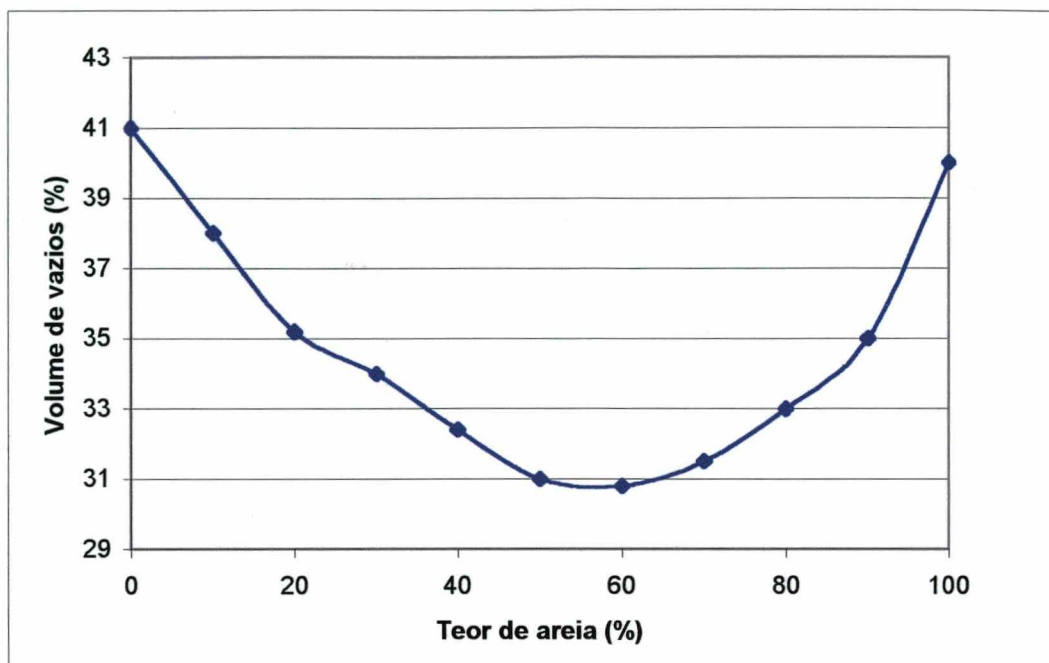


Figura 8 : Proporcionamento pedrisco-areia para a obtenção do menor volume de vazios

Após encontrar o menor volume de vazios (Figura 8), o proporcionamento entre os agregados está concluído. Para RODRIGUES (1995), o traço  $m$  deve ser testado nos maquinários existentes na produção. Desta forma, explica o autor, se a fábrica possuir máquinas com elevado grau de compactação, como resultado, ter-se-á consumos baixos de cimento e, do contrário, consumos mais elevados. Ele sugere que o valor de  $m$  deva estar em torno de 3 a 9, com consumos de cimento entre 436 a 210  $\text{kg/m}^3$  para que as peças se enquadrem nas resistências exigidas pelo mercado (no caso dos pavimentos uma faixa de 25 a 35 MPa).

Para FERREIRA (1990), no caso da produção de blocos, a relação cimento:agregados a ser utilizada encontra-se na faixa de 1:6 para os traços mais ricos a 1:10 – 1:15 para os traços mais pobres. A quantidade de água a ser adotada é a máxima quantidade admitida até aquela onde os blocos começam a perder coesão e aderir nas paredes das formas. Para a regulação dos tempos de produção, o autor sugere ainda que o tempo ótimo de vibração será o mínimo necessário para proporcionar aos blocos a máxima compactação.

FERREIRA (1990) orienta também, neste manual, procedimentos de mistura e cura dos blocos bem como recomendações para a escolha dos agregados a serem utilizados na produção dos mesmos.



### 2.3.3.3 MÉTODO IPT/EPUSP ADAPTADO PARA OS CONCRETOS “SECOS”

Este método é proposto por Carlos E. de S. TANGO(1994) e é baseado no método IPT/EPUSP e adaptado para a produção de concretos “secos”.

As principais diferenças entre o método original e o adaptado são:

#### **Definição da dimensão máxima dos agregados**

A dimensão máxima dos agregados deve ser inferior à metade da menor espessura de parede dos blocos. Na prática, o pedrisco passa a ser o agregado graúdo que pode ser utilizado para a produção dos blocos de concreto.

#### **Resistência característica de dosagem**

Para a resistência característica de dosagem, o autor utiliza a fórmula mostrada na expressão 2.3.3.3-a:

$$f_{bd} = f_{bk} + k_{nt} \times s \quad [2.3.3.3-a]$$

De acordo com a Tabela 4, sugerida pelo autor, obtém-se o conceito de controle rigoroso ou razoável da produção e estes serão capazes de fornecer o valor de  $k_{nt} \times s$  para encontrar o valor das resistências médias que devem ser alcançadas, quando não se tem o valor de  $s$ .

Tabela 4: Valores sugeridos para ( $k_{nt}.s$ ) para a 1ª fase de produção

Medida dos materiais no traço	Umidade dos agregados	Controle de massa dos blocos	Controle dos tempos na betoneira	Conceito do controle		
Todos medidos em massa.	Umidade dos agregados** considerada nas medidas de agregados e água.	Sim.	Sim.	Riguroso		
Cimento em massa ou n. inteiro de sacos pesados na fábrica, demais materiais em volume.	Curva de inchamento* e umidade dos agregados** considerados nas medidas de agregados e água.	Sim.	Sim.	Razoável		
Conceito do controle	$(k_{nt}.s)(MPa)$ , para $f_{bk}$ :					
	$\geq 10MPa$	9MPa	8MPa	7MPa	6MPa	4,5MPa
Riguroso	3,5	3,2	2,8	2,4	2,1	1,6
Razoável	4,5	4,2	3,8	3,4	3,1	2,6

Obs.: ao iniciar a fabricação dos blocos, avaliar o valor de  $s$  assim que possível e passar a usar a Tabela 5, recalculando o traço com auxílio do diagrama de dosagem.

\*determinada para amostra representativa de fornecimento de agregado em questão.

\*\*medida pelo menos 1 vez por período de até 4 horas de trabalho ininterrupto.

Tabela 5: Valores de  $K_{nt}$  para emprego da eq. 2.3.3.3-a

N	< 20	20	25	30	50	>200
$K_{nt}$	*	2,23	2,15	2,06	1,98	1,82

\* adotar ( $k_{nt}.s$ ) conforme Tabela 4 durante a 1ª fase de produção.

### Estimativa dos teores de agregado/cimento (m) a experimentar

Nesta etapa, o autor sugere a confecção de três ou mais traços (três valores de  $m$ ) de forma que a resistência média visada, na idade de interesse, esteja dentro do campo de variação das resistências que forem obtidas com tais traços. Desta forma, proporciona-se um traço médio, um pobre e um rico que fique na faixa de abrangência das resistências esperadas.

Quando já se conhecem resultados anteriores obtidos com os mesmos equipamentos e procedimentos de operação, esta escolha é mais fácil, diz o autor. Mas quando não se

conhecem estes valores, é recomendável que utilizem-se uma quantidade maior de traços (m). Na tabela 6 o autor sugere a utilização de teores de agregado/cimento para o alcance de resistências médias esperadas nos blocos.

*Tabela 6: Sugestão de faixas de teores de agregado/cimento (m) a pesquisar na dosagem experimental.*

$F_{bd,28}$ (MPa)	$M_{b15}$ (kg)	$m_{rico}$ (kg/kg)	$m_{médio}$ (kg/kg)	$M_{pobre}$ (kg/kg)	Relação $A_{liq}/A_{brut}$ mínima
5,0	12,6	6,6	8,6	10,6	0,5
7,0	13,4	5,6	7,6	9,6	0,5
9,0	14,0	4,6	6,6	8,6	0,5
11,0	14,5	4,1	6,1	8,1	0,5
13,0	15,1	3,5	5,5	7,5	0,5
15,0	15,6	3,0	5,0	7,0	0,5
17,0*	16,2*	3,0*	5,0*	7,0*	0,56
19,0*	16,8*	3,0*	5,0*	7,0*	0,63
21,0*	17,4*	3,0*	5,0*	7,0*	0,70

$F_{bd,28}$  = resistência de dosagem (ou resistência média visada);

$M_{b15}$  = massa média esperada para cada bloco M15;

m = teor de agregado/cimento

$A_{liq}$  = Área líquida da seção de trabalho do bloco (sem contar os vazios);

$A_{brut}$  = Área bruta da seção de trabalho do bloco (incluindo os vazios);

\*Indica necessidade provável de aumento na relação  $A_{liq}/A_{brut}$  (diminuição da área vazada da seção de trabalho) ou uso de equipamento de elevada capacidade de compactação.

### **Determinação da proporção de argamassa e da umidade ótima**

O teor de argamassa deve ser encontrado utilizando-se o traço médio e variando-se a proporção argamassa seca/concreto seco (ALFA) optando-se por aquela que no estado fresco apresente:

- bom aspecto superficial dos blocos;
- massa unitária mais elevada;
- trabalhabilidade

O autor sugere que se encontre a umidade ótima de cada mistura e ela deve ser suficiente para que os blocos tenham coesão e não seja colocada em excesso, de forma que os mesmos possam ter dificuldade de desforma por aderência da mistura aos moldes.

De acordo com o autor, uma verificação empírica de que a umidade é adequada para a produção pode ser feita moldando-se uma pelota de concreto nas palmas das mãos, sem que esta se esboree (falta de água) ou suje as mãos (excesso de água). Desta forma, chama-se determinação de Hót de determinação do “ponto de pelota”.

### **Determinação da curva resistência à compressão versus massa de 6 blocos frescos**

Uma das modificações mais significativas do método é quando o autor adiciona ao diagrama IPT/EPUSP (quatro quadrantes) a relação resistência à compressão versus massa dos blocos. Na prática, ela quer dizer que quanto maior a massa do bloco, utilizando-se o mesmo traço e Hót, maior será a resistência alcançada.

O diagrama final encontrado (Figura 9), após o estudo de dosagem, possui quatro quadrantes, cada um deles com uma relação própria que interliga-se com os quadrantes adjacentes.

Fórmulas utilizadas empregando o método dos mínimos quadrados:

$$f_{cb} = \frac{k1}{k2^x} \quad [2.3.3.3-b]$$

$$m = k3 + k4 * x \quad [2.3.3.3-c]$$

$$c_c = (k5 + k6 * m)^{-1} \quad [2.3.3.3-d]$$

$$c_c = (k7 + k8 * \log f_{cb})^{-1} \quad [2.3.3.3-e]$$

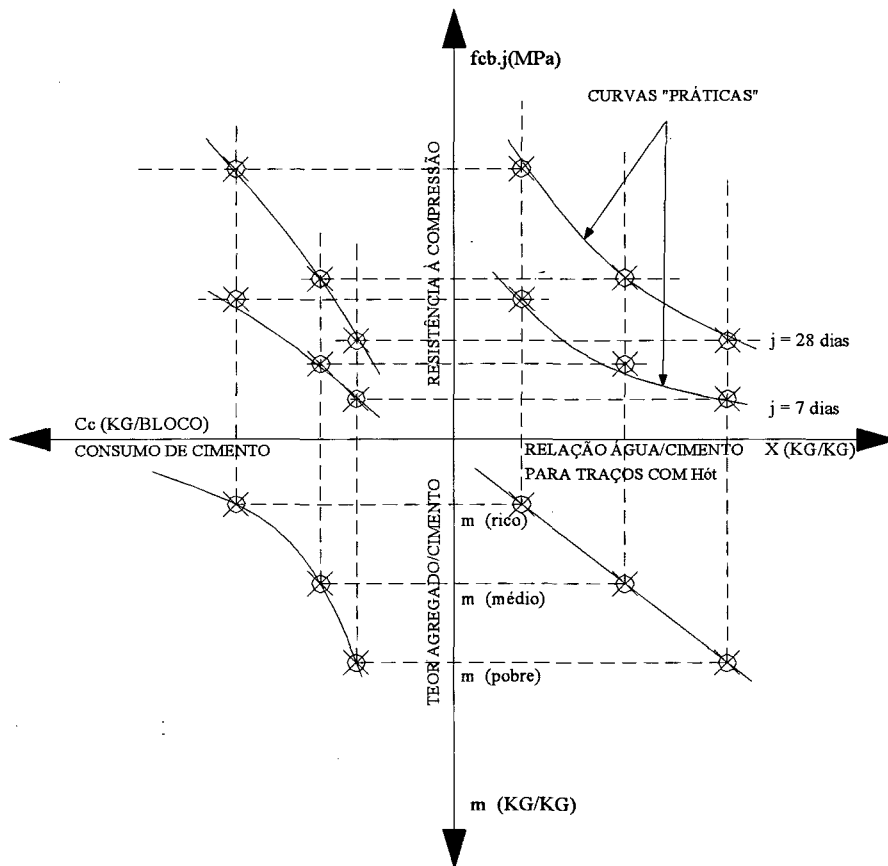


Figura 9 : Diagrama de dosagem IPT adaptado para blocos estruturais de concreto (TANGO (1994)).

#### 2.3.3.4 MÉTODO SUGERIDO PELA COLUMBIA

Este método, sugerido pelo fabricante de máquinas vibro-prensas Columbia, é baseado em estudos realizados por WILK(1948) e MENZEL(1934) apud COLUMBIA.

Diferente das metodologias propostas anteriormente, o método utilizado pela Columbia, preocupa-se muito com as características dos agregados e de que forma estes influenciam na produção e nas características dos blocos e suas misturas, tais como: resistência à compressão, textura, porosidade, trabalhabilidade e disponibilidade de agregados.

A seguir será apresentada uma breve descrição dos fatores que influenciam na escolha dos agregados e suas proporções na produção dos blocos de concreto segundo a metodologia Columbia:

*Resistência à compressão* – a granulometria dos agregados influirá de forma decisiva no consumo de cimento aplicado às misturas para uma mesma resistência esperada. Como o cimento é a parte mais cara da mistura, deve-se cuidar da seleção e proporção dos agregados pois este torna-se um aspecto econômico no processo;

*Textura* – dependerá, em grande parte, da granulometria dos agregados. Agregados mais grosseiros tenderão a proporcionar blocos de textura mais grossa e agregados finos texturas mais lisas. Como esta propriedade está ligada a sua aparência, quem pode ditar se o bloco deve possuir textura mais lisa ou grosseira é o comprador final do produto, mas a homogeneidade de suas características de textura devem ser mantidas;

*Porosidade* – igualmente depende da granulometria dos agregados. Esta característica está ligada a resistência à compressão e propriedades como isolamento térmico e acústico e, por isto, deve ser dada atenção especial a ela.

*Trabalhabilidade* – a trabalhabilidade das misturas é influenciada pela granulometria dos agregados, características de superfície e forma dos mesmos. A trabalhabilidade afeta na estabilidade dos blocos recém-produzidos (blocos “verdes” ou “frescos”), podendo produzir quebras na produção; altera a velocidade na qual o bloco pode ser moldado, interferindo nos custos de produção.

*Disponibilidade* – a disponibilidade de agregados miúdos e graúdos e a capacidade da planta da fábrica em estocar e proporcionar estes a fim de manter homogênea as misturas ao longo do tempo é fundamental para o controle dos processo de produção e qualidade final dos artefatos.

#### *Granulometria do agregado e resistência do bloco*

De acordo com a metodologia, quase todos os fabricantes utilizam agregado graúdo menor que  $\frac{1}{2}$ " (12,7mm). O agregado não pode ser maior que a espessura da parede dos blocos (fator limitante deste tamanho), que na maioria dos casos gira em torno de 1,5 a 3 cm. Uma das recomendações propostas pela metodologia é que a combinação de agregados graúdos e

miúdos gere uma mistura que tenha 100% passante na peneira 9,5mm e 20 a 30% retido na 4,8mm.

Estudos realizados por WILK(1947) apud COLUMBIA, publicados na ROCK PRODUCTS (1947), introduziram o conceito de módulo de finura ótimo para cada tipo mistura a ser utilizada na produção de blocos de concreto. O trabalho realizado por ele consistiu na moldagem de CPs cilíndricos 7,5x15cm com concretos “secos”. Estes CPs foram curados 21 dias em água e testados secos ao ar à compressão. Cada ponto encontrado é uma média de três CPs. Os agregados utilizados foram pedrisco (passante na peneira #9,5 e retido na #2,4), areia grossa , (passante na peneira #2,4) e areia fina (passante na peneira #0,6). A proporção entre pedrisco e areia grossa foi mantida constante enquanto que a quantidade de areia fina foi variada para compor misturas de módulos de finura de 3,02 a 4,30. Os resultados dos ensaios de compressão com relação aos módulos de finura das misturas utilizadas encontram-se na Figura 10.

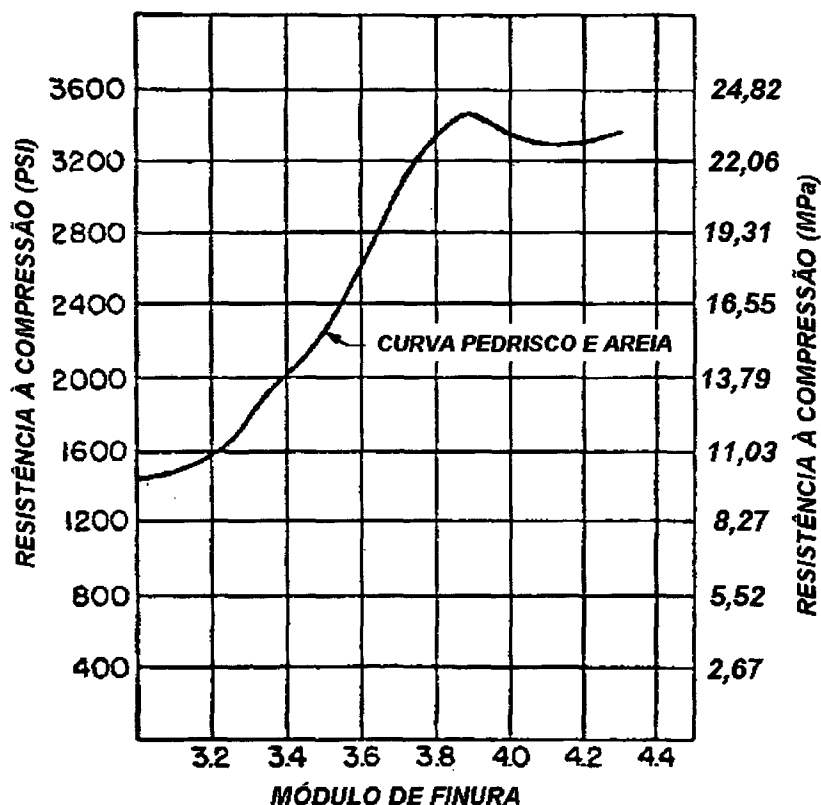


Figura 10: Relação entre módulo de finura (M.F.) e Resistência à compressão em corpos-de-prova cilíndricos de concreto 7,5x15cm.

Observa-se na Figura 10 que houve um ganho de resistência considerável com o aumento do M.F. das misturas. Para um M.F. de 3,02 a resistência alcançada foi de 1.462 Psi (10,08 MPa), enquanto que para M.F. de 3,88 a resistência foi de 3.462 Psi (23,87 MPa), um ganho de aproximadamente 137% na resistência somente com a alteração desta propriedade. Para valores acima de M.F. 3,88, ocorre um decréscimo na resistência. Este gráfico mostra claramente que existe para cada mistura, um M.F. ótimo que deve ser adequado em cada caso. Neste, por exemplo, a sugestão foi utilizar um M.F. de 3,70 por causa da necessidade de ter um bloco de textura mais fechada, mesmo que para isto tenha-se perdido um pouco de resistência mecânica.

MENZEL(1934) apud COLUMBIA fez um estudo, publicado em um artigo do PCA(1934), utilizando diferentes agregados para compor misturas de diferentes M.F. Os corpos-de-prova utilizados para o estudo foram blocos de concreto 20x20x40cm com relação  $A_{líquida}/A_{bruta}=62,5\%$ . Foram utilizados agregados finos (passantes na peneira #4,8) e agregados graúdos (passante na peneira #9,5) para compor módulos de finura desejados. Na Figura 11 estão apresentadas as curvas referentes a relação entre M.F. e resistência à compressão em área bruta e massa atingida pelos blocos nas diferentes misturas.

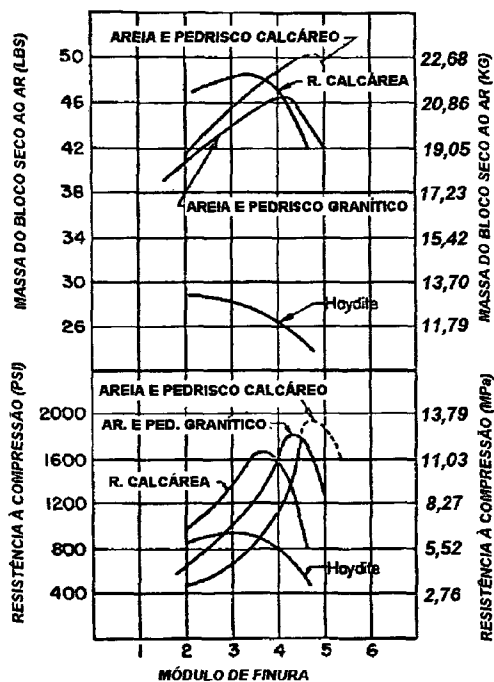


Figura 11: Relação entre módulo de finura (M.F.) e resistência à compressão em blocos de concreto 20x20x40cm.



A Figura 11 mostra que para cada tipo de agregado, mostrado nas quatro curvas, existe um módulo de finura ótimo para o alcance da máxima resistência. As massas secas dos blocos e ensaiados à compressão acompanham esta tendência no comportamento do M.F. pois quando há um aumento nos valores deste último ocorre o mesmo no primeiro, mostrando uma correlação importante entre os eles. MENZEL (1947) apud COLUMBIA atribui a diferença entre as curvas em virtude da variação nos vazios dos agregados, dado pela forma e características de superfície destes, particularmente a angulosidade e aspereza de suas partículas.

Neste caso a teoria do menor volume de vazios explica o comportamento das resistências mecânicas observadas. MENZEL(1947) apud COLUMBIA explica que na estrutura interna de um pedaço de concreto observam-se partículas de agregados unidas por pasta de cimento e nos espaços vazios as partículas menores que vão dar a trabalhabilidade destes concretos. A resistência destes é dada pela resistência do agregado e pela qualidade da ligação da pasta de cimento que os envolveu, sendo que os vazios em nada contribuem para as resistências mecânicas, fato este mostrado na Figura 11.

Ainda segundo MENZEL(1947) apud COLUMBIA, os vazios ainda estarão presentes no concreto, mesmo utilizando misturas de adequada granulometria. Somente o fato destas misturas apresentarem-se muito secas na hora da produção estas serão mais difíceis de compactar e resultarão em mais porosidade. Portanto, existe uma quantidade de água ótima para conseguir o melhor desempenho, como já visto e explicado anteriormente.

Outra recomendação é que para que as misturas possuam boa trabalhabilidade, facilidade de compactação e produção (tenham coesão). Para isto elas devem possuir uma quantidade mínima de finos. Quantidades em torno de 12 – 15 % de finos, em volume, passantes na peneira 0,3mm, com relação a mistura total (incluindo o cimento), geralmente dão resultados satisfatórios. Em alguns casos, dependendo do tipo de areia utilizada e forma do agregado graúdo, pode ser feita uma correção e estes teores podem variar até 18 e 20%. Porcentagens menores aumentam a porosidade, absorção e permeabilidade e diminuem a estabilidade do bloco verde. Porcentagens maiores podem afetar a resistência mecânica dos blocos, o que não é nada interessante.

A metodologia prevê limites recomendados em volume porque, através da massa, agregados de pequena massa específica têm finos com tamanhos maiores que os agregados de mais alta massa específica (agregados graúdos) e isto poderia alterar as características finais das misturas. Quando utilizam-se agregados de massa específica equivalente, as percentagens retidas acumuladas nas peneiras podem ser lidas como massa ou volume, sem alterar o resultado. Caso contrário, deve-se fazer uma correção.

Na tabela 7 estão apresentadas percentagens retidas acumuladas de misturas que apresentam diferentes módulos de finura e características de textura recomendadas, a partir dos estudos de MENZEL (1947,1948) & WILK(1934) apud COLUMBIA para a produção de blocos de concreto.

*Tabela 7: Sugestão de composições granulométricas para misturas a serem utilizadas na produção de blocos de concreto (percentagens retidas acumuladas em volume).*

PENEIRA (mm – pol)	PORCENTAGEM RETIDA ACUMULADA POR VOLUME PARA VÁRIAS TEXTURAS DE BLOCOS		
	FINA	MÉDIA	GROSSA
9,5 – 3/8	0	0	0
4,8 – 4	21	25	30
2,4 – 8	36	40	50
1,2 – 16	51	55	67
0,6 – 30	66	70	81
0,3 – 50	82	85	91
0,15 – 100	94	95	98
M.F.	3,50	3,70	4,17

Depois da recomendação de boas graduações, tipos de agregados, suas composições a serem utilizadas nos concretos “secos”, a metodologia Columbia para dosagem de blocos diz que o único modo de testar realmente a mistura adequada é produzindo concretos que variam o agregado graúdo (passante na peneira #9,5mm e retido na #4,8mm) de 25% a 55%, misturando-o com agregado fino e diferentes proporções de cimento (1:6; 1:7; 1:8; 1:9; 1:10; 1:11). Geralmente, segundo a metodologia, não mais que 40% de agregado graúdo na mistura é necessário para o alcançar a máxima resistência mecânica das peças produzidas com uma certa quantidade de cimento, mas em alguns casos isto pode ser conseguido com apenas 25%.

Misturas com excesso de finos demandarão mais pasta de cimento porque possuem maior superfície específica, então misturas que tem maior quantidade de agregados graúdos tendem a ter mais resistência mecânica.

A primeira indicação se a mistura é ou não adequada é se as superfícies dos blocos não apresentam falhas e se no transporte o material não se quebra facilmente. Isto acontece normalmente quando há uma deficiência de finos, que pode estar sendo gerada por agregado miúdo lavado (com exemplo as areias de rio retiradas por dragas). Este problema pode ser corrigido de várias formas, entre elas: o aumento das proporções de agregado miúdo; utilização de materiais que contém bastante finos como o pó-de-pedra; incorporadores de ar; entre outros. Esta quantidade de finos deve ser bem controlada para não aumentar muito a demanda de cimento.

Dos lotes produzidos, deve-se descartar os duas primeiras e duas últimas misturas e retiradas três amostras de cada série para serem ensaiadas aos 28 dias em laboratórios. Após estes resultados, o fabricante pode afirmar dentro de uma margem relativamente boa quais os traços a serem utilizados para que estes atendam exigências de norma (resistência, textura, absorção, etc.)

### **2.3.4 COMENTÁRIOS GERAIS SOBRE OS MÉTODOS**

*Comentários sobre o método Besser:*

O método proposto apresenta-se de forma bastante simples e fácil de ser testado. A intenção do autor de enquadrar a mistura final em grupos de peneiras que devem possuir uma certa porcentagem retida, tem como objetivo proporcionar misturas mais compactas que deixem a textura dos blocos mais fechada.

Este método, porém, exige que se disponha de agregados com as granulometrias desejadas. No caso de não se ter disponibilidade destes agregados, é necessário que se faça uma adequação com um terceiro tipo de material para que este, juntamente aos outros, se enquadre nas faixas granulométricas dos grupos de peneiras propostos.

O método não leva em consideração a contribuição do cimento como material fino, principalmente nos traços mais ricos para melhoria da compacidade da mistura nem os coeficientes de forma do pedrisco. Sabe-se que estes dois fatores influirão na forma com que a mistura vai ser trabalhável e, até mesmo, de que forma ela alcançará sua maior compacidade.

#### *Comentários sobre o método ABCP:*

O método é relativamente fácil e prático de ser aplicado. Nos estudos com composição de agregados já executados, utilizando-se esta metodologia, encontraram-se composições que possuíam compacidade máxima e que resultaram em traços bem proporcionados.

Em alguns casos, porém, atinge-se a máxima compacidade sem a devida coesão que deve apresentar a mistura na produção dos artefatos. O método não leva em consideração a granulometria nem as características particulares dos agregados, muito menos indica valores de referência para a adoção dos mesmos, o que resulta, muitas vezes, no alcance de misturas compactas mas pouco coesivas. Outra deficiência verificada no método é que o cimento adicionado às misturas não é utilizado nos estudos de composição, pois esta última é feita somente com os agregados e não aglomerantes. Se o cimento é um fino importante na diminuição dos volumes de vazios e principalmente na coesão das misturas, nota-se aí uma grave falha do método.

A metodologia é falha também quando é necessário utilizar um terceiro agregado para suprir a necessidade de finos da mistura. Em traços já dosados utilizando esta metodologia, quando precisou-se utilizar areia fina nas misturas, chegou-se a resultados que conduziam a um consumo excessivo deste agregado para o menor volume de vazios. Como a areia fina tende a diminuir a resistência dos concretos, pois contribui muito pouco com a resistência mecânica devido a sua alta superfície específica (demanda quantidades altas de água e pasta de cimento para envolvê-la), teve-se que diminuir sua quantidade mesmo a composição apresentando menores volumes de vazios com sua utilização.

### *Comentários sobre o método IPT/EPUSP:*

O método adaptado IPT/EPUSP apresenta uma forma bastante criteriosa na dosagem de blocos de concreto. Uma das particularidades deste método é a fixação de um Hót para as misturas e controle de massa dos blocos.

Analisando valores experimentais, correlacionando suas massas e resistências, sabe-se que um incremento de massa na ordem de 10% em um bloco pode resultar em aumento na sua resistência por volta de 20 a 60%. Daí vê-se a importância de analisar e estudar a fundo este dado que depende não só das qualidades dos agregados e seus proporcionamentos, mas também da capacidade que tem o maquinário de imprimir compacidade às peças produzidas.

O método IPT/EPUSP dá um passo grande para este enfoque, sem, no entanto, discriminar de que forma os fatores de produção e maquinários interferem no alcance das resistências. Esta é uma das deficiências encontradas no método, uma vez que as variáveis responsáveis pelo incremento de compacidade dos blocos não fazem parte da metodologia de dosagem. Uma avaliação mais precisa de como o maquinário é capaz de confeccionar produtos de alta compacidade, relacionando massas específicas e resistências se faz necessário para que o método possa, de forma mais completa, representar uma dosagem que se ajuste melhor ao comportamento dos concretos “secos”. Além disso, o método depende totalmente do uso do equipamento da fábrica o que o torna oneroso e trabalhoso.

### *Comentários sobre o método Columbia:*

O método Columbia mostra-se bastante interessante quando prescreve de que forma as misturas devem ser proporcionadas para adequar-se perfeitamente a uma produção de blocos de concreto. Todas as metodologias anteriores não se preocuparam tão a fundo com propriedades tão importantes como a coesão (exemplo: a fixação de quantidades mínimas de finos a serem utilizadas para aumentar a coesão das misturas evitando quebras nos blocos frescos). A proposta apresentada pela Columbia é baseada em estudos de CPs moldados em laboratório (WILK (1934)), e revela resultados muito interessantes, introduzindo conceitos novos como, por exemplo, o módulo de finura ótimo das misturas.

Porém, o método não permite uma previsão com antecedência das características de resistência, coesão e textura, sem que sejam produzidos traços e estes sejam moldados na máquina para a verificação destas propriedades. O procedimento previsto no método, além de demandar tempo de utilização do maquinário e consumos elevados de materiais, é um tanto empírico, porque ajusta os traços na base de tentativas. Se, por exemplo, esta metodologia fosse adotada e existissem inúmeros agregados a serem testados, haveria uma enorme quantidade de traços para produzir e uma quantidade elevadíssima de blocos para ensaios de compressão. Este tipo de metodologia, baseado no estudo de traços na máquina para estudo das propriedades vistas anteriormente, normalmente não conduzem a bons resultados exatamente porque o trabalho necessário para encontrar um traço ideal que cumpra com todas as características desejadas torna-se realmente difícil e demorado.

#### *Comentários gerais:*

Todos os métodos aqui mostrados ou por autores ou aqueles adotados por fabricantes de máquinas vibro-prensas, são válidos. Cada um deles possui alguma característica ou introduz conceitos importantes na fabricação dos blocos de concreto. Contudo, o processo produtivo de blocos de concreto tem em seu funcionamento uma gama muito grande de variáveis e detalhes aparentemente pequenos que alteram de forma significativa os artefatos, sejam elas características de resistência, textura, coesão, massa específica, etc.. Muito embora as metodologias aqui apresentadas tenham seus méritos, elas não conseguem abranger toda a sistemática da produção dos blocos ou não conseguem fazer, de forma simples, um estudo capaz de encontrar traços que sejam os mais adequados à produção.

Fixar tipos exatos de agregados e enquadrar em curvas granulométricas pode ser um tanto complicado devido a diversidade de tipos de materiais. Cada região possui uma característica de suas matérias primas, que podem variar na forma, superfície dos grãos, graduação, homogeneidade nas suas características ao longo do tempo, disponibilidade dos agregados, etc. Como visto, não é somente o alcance de uma mistura com menor número de vazios que fará dela uma mistura boa para a produção dos blocos. A forma com que esta mistura interage com o equipamento, a umidade nela colocada, a coesão necessária para que ela continue firme no transporte logo após a desmoldagem (coesão suficiente para tal) é que vão fazer dela uma mistura adequada ou não, econômica ou não. No outro caso, tem-se uma metodologia

sofisticada que adequa curvas a um processo que depende de outros fatores que não são fixados ou não estão bem detalhados na própria metodologia que seriam tão importantes e que podem alterar completamente o resultado proposto. E, finalmente, não se pode esperar que um estudo de dosagem se faça sem conhecer a fundo o que o equipamento e todo o processo podem proporcionar aos artefatos moldados. Fixar parâmetros para escolha dos agregados e receitar recomendações é de fundamental importância na produção de blocos de concreto, mas saber o que estes materiais podem resultar em termos de resistência, porosidade, textura, dado o maquinário disponível, é também necessário. De fato, a avaliação isolada dos fatores não poderá dar de maneira muito próxima, um perfil consistente para a utilização de traços e procedimentos a serem adotados para que se consiga produzir o que foi especificado em um estudo de dosagem de concretos “secos”.

Por todos estes motivos é que neste trabalho, que já vem sendo desenvolvido há algum tempo e que hoje culmina em uma proposta de metodologia de dosagem, começou-se avaliando as interferências que o processo produtivo gera nas resistências e características finais dos blocos de concreto. A seguir mostrar-se-ão alguns resultados de trabalhos feitos em fábrica que direcionaram a metodologia a ser proposta em termos de testes e controles a serem executados com o objetivo de detectar as características dos concretos “secos” para a previsão de suas resistências nos blocos de concreto.

### **3. PARÂMETROS INFLUENTES NA RESISTÊNCIA DOS BLOCOS DE CONCRETO: ESTUDO DE CASOS**

#### **3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

O Núcleo de Pesquisa em Construção Civil da UFSC, na figura do professor Luiz R. Prudêncio Jr., vem prestando assessoria a algumas fábricas produtoras de blocos de concreto da Região Sul do Brasil. Neste convênio, a universidade monitora constantemente a qualidade dos produtos produzidos e ensaia os blocos no Laboratório de Materiais de Construção Civil, além de todo um trabalho de acompanhamento em fábrica dos processos e ajustes de traços e regulagens dadas aos maquinários na produção dos blocos de concreto.

Devido a grande falta de bibliografia nesta área que abrange as características e comportamentos dos concretos “secos”, muitas vezes a experiência e os trabalhos individuais executados dentro das fábricas contam muito na adequação e proporcionamento de misturas a serem utilizadas na produção dos blocos de concreto. Uma das explicações plausíveis para a pouca bibliografia pertinente ao assunto pode ser exatamente a não divulgação dos trabalhos isolados feitos em fábrica por técnicos, engenheiros e consultores sob alegação de segredo industrial. Outro motivo da escassez de trabalhos na área é realmente a pouca quantidade de testes executados em fábrica. Isto tem fundamento quando se sabe o quão trabalhoso é intervir em um processo de fabricação o qual está se estudando sem provocar algum transtorno à produção. Além de necessitar de uma equipe bem treinada e conhecedora do processo, necessariamente as paradas na produção para a moldagem dos blocos a serem estudados são inevitáveis e isto resulta em um encarecimento de todo o estudo de dosagem.

Com todas estas dificuldades relatadas, os trabalhos desenvolvidos por Prudêncio e sua equipe nas fábricas de blocos de concreto têm encontrado e esclarecido algumas variáveis contidas no processo de produção que são parâmetros influentes nas características dos blocos de concreto. Estes trabalhos estão detalhados em estudos específicos realizados dentro de fábricas de blocos de concreto e os resultados encontram-se sob forma de relatórios direcionados a estas empresas. Neste capítulo serão apenas mostrados alguns estudos de caso, referentes a estes trabalhos desenvolvidos, sem citações de qual relatório estão contidos, porque eles são de propriedade das empresas. Estes trabalhos mostram, de forma bem detalhada, problemas relacionados ao processo produtivo que influem de maneira significativa nas resistências e características dos blocos, estudos de dosagens para os artefatos produzidos e fixação de parâmetros para controle de procedimentos na produção.

A seguir, em forma de estudo de caso, serão apresentados pontos importantes que serviram de base para a proposição da metodologia de dosagem que será apresentada neste trabalho.

### **3.2 ESTUDO DE CASO – VARIACÃO DE RESISTÊNCIA COM A MASSA NOS BLOCOS**

Em estudos realizados em uma determinada fábrica, notou-se que a variação de resistência dos lotes ensaiados era muito elevada. Dos lotes testados, chegou-se a resultados em que os



coeficientes de variação observados foram de 15 a 30%, valores estes que resultavam em dispersões muito grandes nas resistências. O equipamento utilizado neste estudo foi a máquina vibro-prensa Montana MBX 975. Numa avaliação mais apurada da produção, verificou-se que, em uma mesma chapa produzida (ver tabela 8), os blocos possuíam diferenças de massas em torno de 800 gramas, em virtude de um abastecimento heterogêneo da forma, causado por um coxim defeituoso (o coxim serve de amortecedor para a mesa vibratória e está posicionado abaixo desta última). A Figura 12 mostra a posição dos blocos em uma chapa (blocos 14x19x39). A numeração é feita da esquerda para a direita na saída da chapa da produção (vista frontal da máquina)

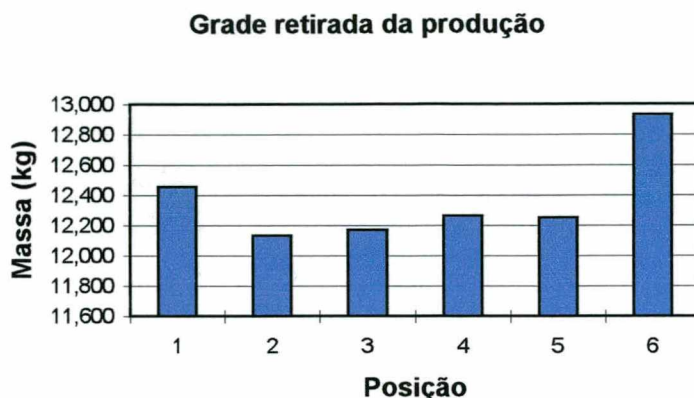
Posição	Posição	Posição	Posição	Posição	Posição
1	2	3	4	5	6

*Figura 12: Posição dos blocos na chapa (14x19x39 – L x H x C)*

Para confirmar o problema, foi retirada da produção uma grade inteira e pesadas as diferentes chapas nela contida. Na tabela 8 estão apresentados os valores de massa dos blocos nas chapas pesadas.

*Tabela 8: Pesagem dos blocos em diversas chapas para detecção do problema de variação de massa.*

Chapa	1	2	3	4	5	6	Média	Sd
1	12,650	12,300	12,250	12,320	12,280	12,950	12,458	0,282
2	12,400	12,050	12,150	12,180	12,230	12,980	12,332	0,338
3	12,400	12,150	12,250	12,350	12,320	12,950	12,403	0,282
4	12,400	12,200	12,250	12,360	12,220	12,920	12,392	0,271
5	12,550	12,100	12,150	12,240	12,270	13,000	12,385	0,339
6	12,250	11,950	12,050	12,220	12,240	12,920	12,272	0,340
7	12,400	12,050	12,050	12,160	12,200	12,800	12,277	0,287
8	12,350	12,100	12,100	12,200	12,270	13,020	12,340	0,347
9	12,700	12,150	12,200	12,260	12,260	12,930	12,417	0,320
10	12,450	12,250	12,250	12,360	12,240	12,830	12,397	0,228
Média	12,455	12,130	12,170	12,265	12,253	12,930	12,367	0,298
Sd	0,138	0,103	0,082	0,077	0,034	0,069	0,080	0,035



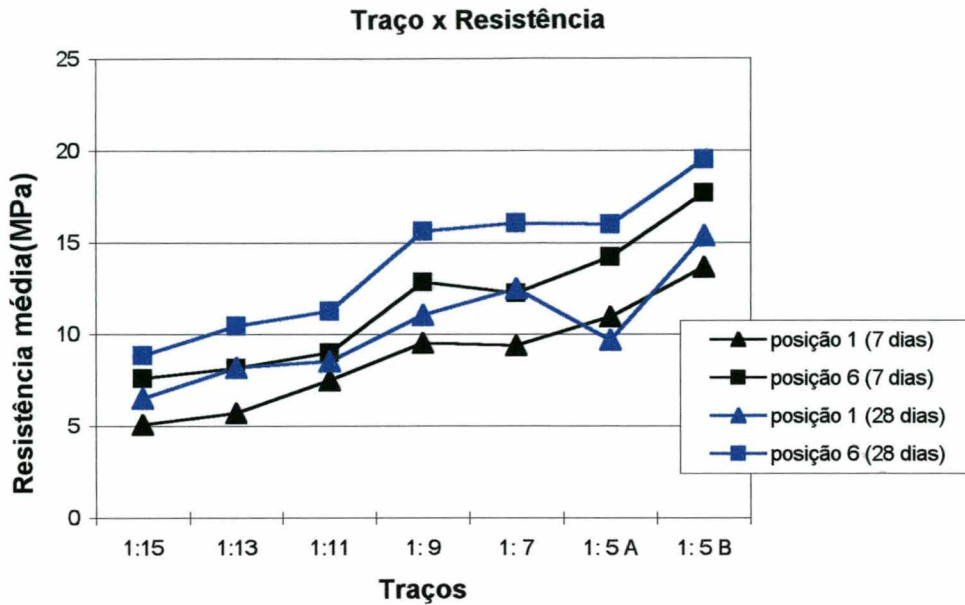
*Figura 13 : Representação gráfica da média das massas dos blocos encontradas nas diferentes chapas retiradas de uma grade produzida*

Observando mais detalhadamente os valores encontrados da pesagem dos blocos na grade, verifica-se que a grande variabilidade encontra-se nas diferentes posições de uma mesma chapa, chegando a um máximo de aproximadamente 800 gramas de diferença de massa, o que é muito significativo para este bloco.

Em um estudo utilizado para padronizar traços para diferentes resistências de blocos estruturais, verificou-se também a influência da diferença de massa de bloco para bloco, numa mesma chapa produzida, na resistência final do produto. Foram produzidas 6 séries utilizando o mesmo proporcionamento de agregados e alterando-se apenas o consumo de cimento (traços - 1: 15, 1:13 , 1:11, 1:9, 1: 5A\* e 1:5B\*\*). Os blocos ensaiados à compressão foram retirados da posição 1 e 6 e ensaiados à compressão aos 7 e 28 dias de idade. Os valores encontrados mostraram que a diferença de resistência dos blocos de mesmo traço e diferentes posições (1 e 6) foi muito significativa, evidenciando a íntima relação entre massa e resistência dos blocos.

\*traço 1:5A – utilizando menor tempo de alimentação e vibração

\*\*traço 1:5B – utilizando maior tempo de alimentação e vibração



*Figura 14 : Representação gráfica da resistência média alcançadas nos lotes produzidos em diferentes idades e posições na chapa.*

A Figura 14 mostra que para as diferentes posições e idades (para um mesmo traço) ocorre um ganho de resistência significativo que chega a ser de até 60%, em alguns casos. Isto demonstra que blocos de mesma geometria e utilizando a mesma mistura podem ter resistências muito diferentes se a massa incorporada nos moldes for maior ou menor. Como visto, este problema estava relacionado a um defeito de maquinário, mas ele pode ocorrer por inúmeras variáveis inerentes a uma produção de blocos de concreto.

A variação de massa nos blocos produzidos em uma mesma série (dia de produção) pode ocorrer por vários motivos. Defeitos no equipamento (como o já mencionado), heterogeneidade da mistura por causa má homogeneização da massa no misturador, má regulagem dos tempos de produção (tempos de alimentação e pré-vibração da máquina), podem resultar em variabilidades nas massas e consequentemente na compacidade e resistência dos blocos ao longo da produção de uma mesma série.

Uma das causas mais freqüentes de variabilidade na compacidade dos blocos é a umidade. A variação de umidade entre massadas muda as características reológicas da mistura, a forma com que a máquina alimenta a forma e sua eficiência de compactação. Misturas mais úmidas tendem a produzir blocos de maior compacidade porque os concretos são mais fáceis de

adensar e compactar nos maquinários. Exatamente por este motivo, é importante que se alcance uma umidade máxima na produção sem que ela prejudique a mesma, uma vez que umidades excessivas dificultam a desforma e provocam muitas fissuras no material ao ser transportado para sua cura ou estocagem. Existe, portanto, uma umidade ótima em que se deve trabalhar as misturas e a constância desta umidade diminuirá significativamente a variabilidade na produção.

### **3.3 ESTUDO DE CASO – IMPORTÂNCIA DA UMIDADE NAS RESISTÊNCIAS**

Para avaliar o efeito da umidade nas resistências à compressão, mostrar-se-á um estudo de dosagem feito em fábrica para o bloco estrutural de 14x19x39 utilizando máquina vibroprensa Montana MBX975.

Neste estudo de caso, o trabalho foi desenvolvido em duas etapas. Na primeira, um estudo de dosagem para blocos estruturais foi executado sem a correção de umidade das misturas. Na segunda a correção de umidade foi feita empiricamente pela experiência do operador responsável pelo abastecimento do misturador.

#### *1ª etapa do estudo de caso (sem correção de umidade)*

Para este estudo de dosagem foram variados os traços e tempos de vibro-compressão e foram confeccionados 10 lotes para correlação entre estes tempos, traços, massa e resistência atingida nos blocos produzidos. Os consumos de cimento utilizados foram: 1:13, 1:11, 1:9 e 1:7, de modo a obter os valores necessários para a confecção de uma curva de dosagem. No traço mais rico (1:7), fez-se uma experiência de se aumentar a quantidade de areia na mistura (traço 1:7 modificado) visando verificar o impacto desta modificação na resistência e coesão dos blocos. Os valores referentes aos proporcionamentos empregados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Traços utilizados na produção de blocos estruturais de 14x19x39.

Traço	Proporcionamento dos materiais em massa							
	Unitário				Total			
	Cimento	Areia	Pó-de-pedra	Pedrisco	Cimento	Areia	Pó-de-pedra	Pedrisco
1:13,1	1	2,98	6,82	3,32	50	148,8	341	166,1
1:10,9	1	2,48	5,74	2,72	50	124	286,8	135,9
1:8,9	1	1,98	4,65	2,27	50	99,2	232,5	113,3
1:7,0	1	1,49	3,72	1,81	50	74,4	186	90,6
1:7,1mod	1	2,98	2,32	1,81	50	148,8	116	90,6

Obs: O cimento utilizado nos testes foi o CP V – ARI - CIMBAGE.

Para cada traço, foram confeccionadas duas séries de corpos-de-prova onde variou-se o tempo de alimentação e pré-vibração e, conseqüentemente, os tempos de vibro-compressão. Os valores destes tempos estão apresentados nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10: Chapas marcadas na produção com os traços utilizados e tempos de vibro-compressão medidos.

Nº da chapa	Tempo de alim. E pré.vibração	Tempo de vibro-compressão (seg)		Traço
1	4,12	7,46	Média= 5,70 D.Padrão=1,25 C.V=22,0%	1 : 13,1
3		4,53		
4		5,61		
5		5,21		
6	3,62	3,90	Média= 3,59 D.Padrão=0,42 C.V=11,7%	1 : 13,1
7		3,94		
8		3,84		
9		3,25		
10		3,03		
11	3,91	3,12	Média= 4,21 D.Padrão=0,87 C.V=20,7%	1 : 10,9
12		5,25		
13		4,16		
15		4,31		
16	4,30	6,22	Média= 5,39 D.Padrão=0,65 C.V=12,0%	1 : 10,9
18		4,66		
19		5,47		
20		5,22		

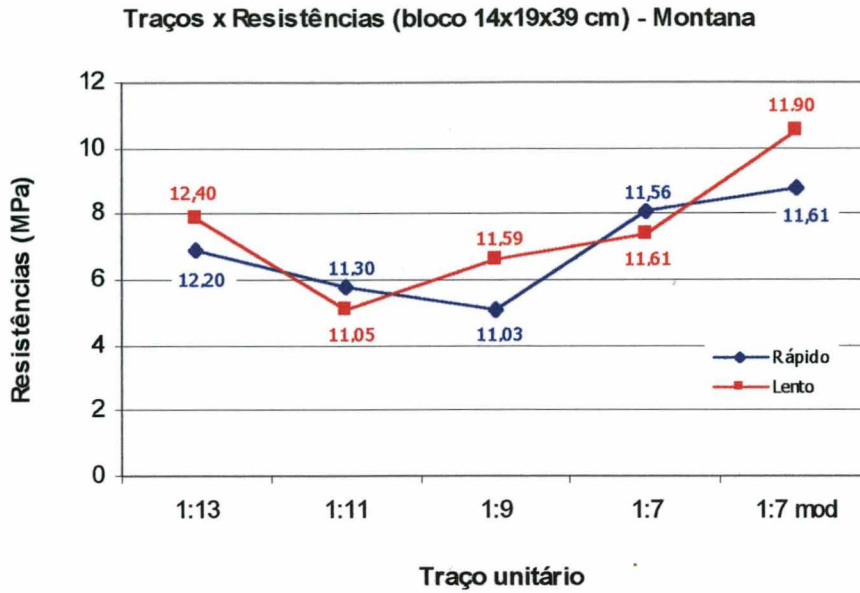
*Tabela 11: Chapas marcadas na produção com os traços utilizados e tempos de vibro-compressão medidos.*

Nº da chapa	Tempo de alim. e pré-vibração	Tempo de vibro-compressão (seg)		Traço
22	3,70	2,88	Média= 2,78 D.Padrão=0,21 C.V=7,7%	1 : 8,9
23		2,75		
24		2,50		
25		3,00		
27	4,62	4,00	Média= 4,42 D. padrão=0,59 C.V=13,4%	1 : 8,9
28		5,31		
29		3,78		
30		4,56		
31		4,44		
32	4,62	2,72	Média= 2,91 D.Padrão=0,40 C.V=13,9%	1 : 7,0
33		3,50		
34		2,59		
36		2,84		
37	5,95	4,78	Média= 5,33 D.Padrão=0,85 C.V=15,9%	1 : 7,0
38		5,34		
40		6,53		
41		4,68		
42	5,95	5,66	Média= 5,34 D. padrão=0,99 C.V=18,6%	1 : 7,1mod
43		4,65		
44		4,44		
46		6,59		
47	4,37	3,78	Média= 3,70 D.Padrão=0,37 C.V=9,9%	1 : 7,1mod
48		3,44		
49		4,12		
50		3,94		
51		3,22		

Este material foi levado a laboratório para ensaio de caracterização e resistência à compressão. Os resultados constam no Certificado de Realização de Ensaios LMCC 167/99 (Laboratório de Materiais de Construção Civil da UFSC).

Agrupando os resultados de resistência à compressão e massa dos blocos referentes aos traços testados, traçou-se o gráfico da Figura 15.





*Figura 15: Variação da resistência à compressão e massa (valores anotados junto aos pontos do gráfico) dos blocos estruturais de 14cm de espessura, produzidos pela máquina Montana MBX 975, em função do traço empregado.*

#### - Análise dos Resultados Obtidos

Analisando as curvas da Figura 15, constata-se ter havido algum problema durante os testes realizados. Nota-se que apenas o traço 1:13 comportou-se da maneira esperada, proporcionando resistências compatíveis com as obtidas em outros ensaios utilizando mesmo traço e condições de produção (tempos de alimentação e pré-vibração). Os valores em vermelho e azul no gráfico representam a massa média encontrada nos blocos ensaiados.

Uma das suspeitas da verificação de resultados fora do esperado foi que a umidade não havia sido controlada no dia da moldagem dos blocos e isto poderia ter sido a causa provável da obtenção de tais valores. Então, o mesmo trabalho foi repetido, agora corrigindo-se a umidade empiricamente pelo masseiro.

Outro resultado interessante observado, apesar da discrepância dos valores encontrados, foi o que com o aumento do teor de areia na mistura, em substituição parcial ao pó-de-pedra, melhorou-se consideravelmente a resistência mecânica dos blocos, sem prejuízos a produção por perda de coesão da mistura. Isto deve-se ao fato que a quantidade de finos do cimento

presentes no traço 1:7 é grande e, por isto houve coesão suficiente na mistura mesmo diminuindo a quantidade de finos. Para traços de menor consumo de cimento, 1:13, por exemplo, esta substituição de agregados compondo misturas com menor quantidade de finos deve ser melhor estudada.

- *2ª etapa do estudo de caso (com correção de umidade)*

De acordo com a suspeita que a falta de controle de umidade pudesse ter causado todo o problema nas resistências dos blocos, repetiu-se a moldagem dos mesmos para verificação da influência desta propriedade. Foram fixadas condições semelhantes de produção (máquina e regulagem dos equipamentos) para que o resultado pudesse ser comparado com o primeiro estudo.

Sabe-se que a umidade das misturas é fator importante na forma com que as formas são abastecidas com os concretos e como a máquina prensa o material. Uma variação de umidade pode interferir de forma significativa nas massas dos blocos, e, conseqüentemente na sua resistência. Isto explica o fato de traços mais ricos terem dado resistências menores (na 1ª etapa/estudo), pois estes blocos tinham massas inferiores aos blocos de traços mais pobres. Acredita-se que possa ter ocorrido uma diferença de umidade entre os traços, apresentando maior umidade os traços mais pobres, conduzindo assim, à massas maiores observadas nos blocos. Ressalta-se, com isto, a importância de se manter um controle efetivo da umidade, para o alcance de resistência desejadas e diminuição das variabilidades na produção.

Na segunda etapa do trabalhos, o estudo para o referido bloco, produziram-se 8 lotes para estabelecer a curva de dosagem para o artefato. Para comparar o efeito da umidade nas massas incorporadas nos blocos fabricou-se 1 lote a mais de blocos e o traço utilizado foi o 1:11 (+seco) com menos umidade. Os valores referentes aos proporcionamentos empregados estão apresentados na Tabela 12.



Tabela 12: Traços utilizados na produção de blocos estruturais de 14x19x39.

Traço	Proporcionamento dos materiais em massa							
	Unitário				Total			
	Cimento	Areia	Pó-de-pedra	Pedrisco	Cimento	Areia	Pó-de-pedra	Pedrisco
1:13	1	2,93	6,83	3,25	50	146,3	341,3	162,5
1:11	1	2,48	5,78	2,75	50	123,8	288,8	137,5
1:9	1	2,03	4,73	2,25	50	101,3	236,3	112,5
1:7	1	1,58	3,68	1,75	50	78,8	183,8	87,5

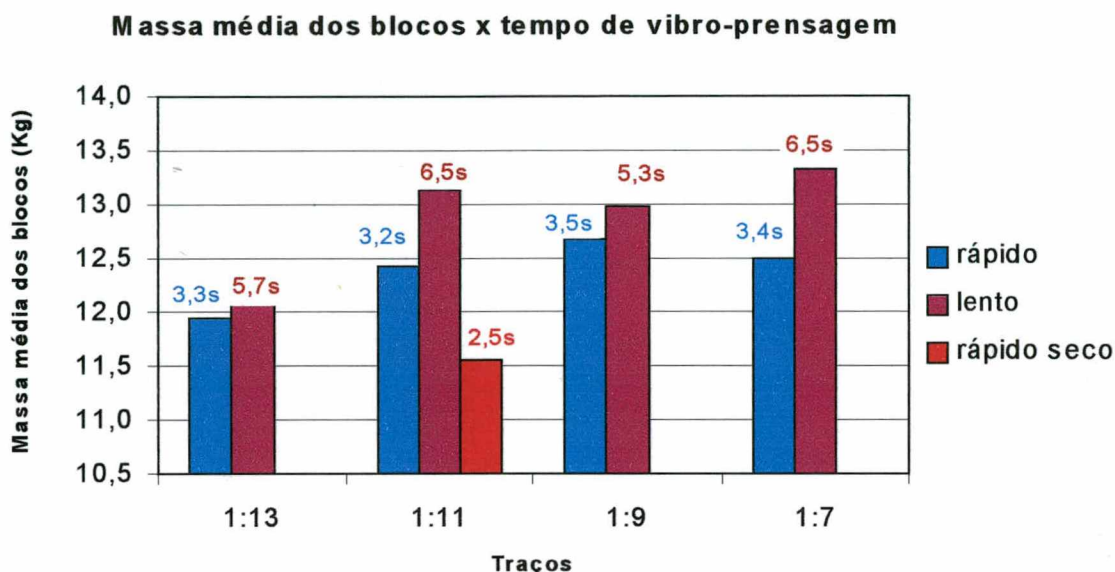
Obs.: O cimento utilizado nos testes foi o CP V – ARI - CIMBAGÉ.

Com cada traço, foram confeccionadas duas séries de corpos-de-prova, contendo quatro chapas cada, onde variou-se o tempo de alimentação e pré-vibração e, conseqüentemente, os tempos de vibro-compressão. Os valores destes tempos e das massas das chapas estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Chapas marcadas na produção com os traços utilizados, tempos de vibro-compressão e massa das chapas medidas.

Nº da chapa	Tempo de alim. e pré-vibração	Tempo de vibro-compressão (seg)		Massa das chapas	Massa média dos blocos	Traço
40	3,85	4,28	Média= 3,31 D. Padrão=0,73 C.V=22,11%	72,2	12,03	1 : 13
39		2,84		71,6	11,93	
38		3,47		71,8	11,97	
37		2,66		71,2	11,87	
36	5,02	7,22	Média= 5,79 D. Padrão=0,97 C.V=16,79%	72,5	12,08	1 : 13
35		5,25		72,6	12,10	
34		5,57		72,3	12,05	
33		5,10		73,0	12,17	
32	3,38	2,41	Média= 2,52 D. Padrão=0,28 C.V=11,01%	69,3	11,55	1 : 11 + seco
31		2,28		69,4	11,57	
30		2,92		69,5	11,58	
29		2,48		69,0	11,50	
12	4,06	3,23	Média= 3,23 D. Padrão=0,22 C.V=6,72%	73,7	12,28	1 : 11
11		3,41		73,9	12,32	
10		2,93		75,4	12,57	
9		3,37		75,3	12,55	
8	5,39	5,97	Média= 6,54 D. Padrão=0,52 C.V=7,99%	78,8	13,13	1:11
7		6,86		78,8	13,13	
6		7,09		78,9	13,15	
5		6,24		78,8	13,13	
28	5,06	3,61	Média= 3,54 D. Padrão=0,39 C.V=10,98%	76,2	12,70	1:9
27		3,84		76,0	12,67	
26		2,97		75,9	12,65	
25		3,72		76,2	12,70	
24	5,80	6,97	Média= 5,30 D. Padrão=1,33 C.V=25,19%	78,7	13,12	1:9
23		5,41		77,9	12,98	
22		5,09		77,5	12,92	
21		3,72		77,5	12,92	
20	5,07	3,84	Média= 3,41 D. Padrão=0,42 C.V=12,26%	74,6	12,43	1:7
19		3,53		75,0	12,50	
18		2,84		74,6	12,43	
17		3,43		75,7	12,62	
16	8,01	7,43	Média= 7,91 D. Padrão=2,79 C.V=35,32%	80,5	13,42	1:7
15		6,30		79,5	13,25	
14		5,91		79,8	13,30	
13		11,98		82,2	13,70	

A Figura 16 mostra em forma de gráfico os dados da Tabela 13.



*Figura 16 : Gráfico da massa média dos blocos dos traços produzidos segundo tempo de vibro-compressão*

Analisando os dados da tabela 13 e Figura 16, observa-se que para tempos de alimentação e pré-vibração maiores, a massa dos blocos na chapa tem um aumento significativo de massa, como era o esperado. No caso do traço 1:11, o lote produzido com menos umidade teve diminuída a massa medida nas chapas, o que mostra a importância do controle de umidade na produção de blocos de concreto. Isto explica o fato de que o estudo anterior realizado com os mesmos blocos e traços não obteve o êxito desejado em virtude da falta de controle da umidade na hora da produção, que induziu a massas menores nos traços mais ricos e, conseqüentemente, resistências inferiores com maior consumo de cimento, inviabilizando a montagem de uma curva de dosagem adequada. Outra constatação do estudo foi o aumento do tempo de alimentação e pré-vibração para as misturas mais ricas em cimento (Figura 17). Este fato demonstra que, durante a produção dos blocos de mais alta resistência, necessita-se de um tempo maior de ciclo pois misturas ricas em finos e com grande umidade possuem grande dificuldade de alimentar as formas.

### Massa média dos blocos x tempo de alimentação

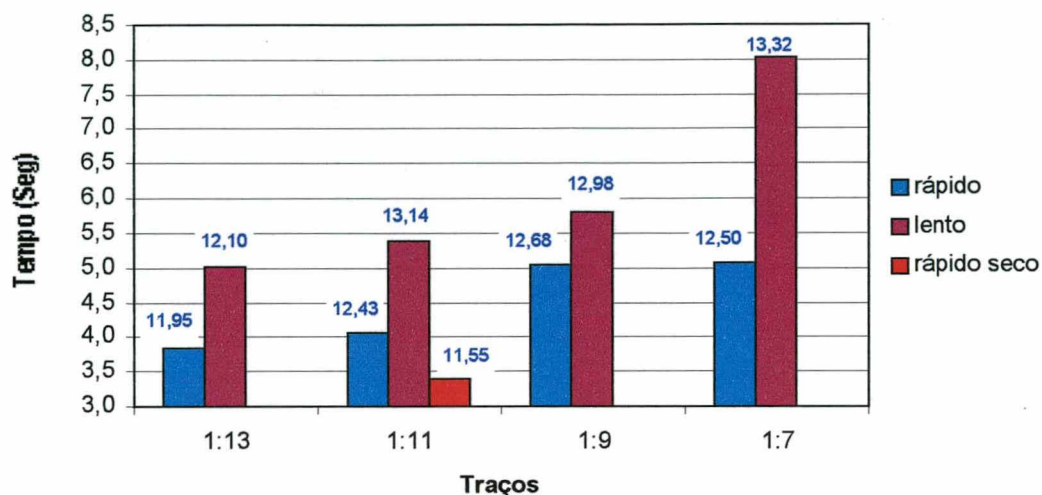


Figura 17: Tempos de alimentação/pré-vibração em função dos traços empregados na confecção dos blocos de concreto.

Este material foi levado ao laboratório para ensaio de caracterização e resistência à compressão e os resultados constam no Certificado de Realização de Ensaio LMCC 195/99. Na tabela 14 é mostrado um resumo dos resultados de tempos e massas úmidas medidos durante a produção e as resistências e respectivas massas secas quando da data do ensaio.

Tabela 14: Traços utilizados, tempos de alimentação e pré-vibração, tempos de vibro-compressão, massas e resistências médias dos blocos.

Traço	Tempo de alim. e pré-vibração (seg)	Tempo de vibro-compressão (seg)	Massa seca média dos blocos (kg)	Massa úmida média dos blocos (kg)	Resistência média dos blocos (MPa)
1 : 13	3,85	3,31	11,49	11,95	4,41
1 : 13	5,02	5,79	11,60	12,10	5,06
1 : 11 + seco	3,38	2,52	11,20	11,55	4,53
1 : 11	4,06	3,23	11,88	12,43	6,66
1 : 11	5,39	6,54	12,37	13,14	8,97
1 : 9	5,06	3,54	12,34	12,68	9,56
1 : 9	5,80	5,30	12,51	12,99	9,85
1 : 7	5,07	3,41	12,15	12,50	9,71
1 : 7	8,01	7,91	12,91	13,42	15,44

Agrupando-se os resultados de resistência à compressão e respectivas massas secas e úmidas dos blocos para cada traço traços, tem-se (Figura 18):

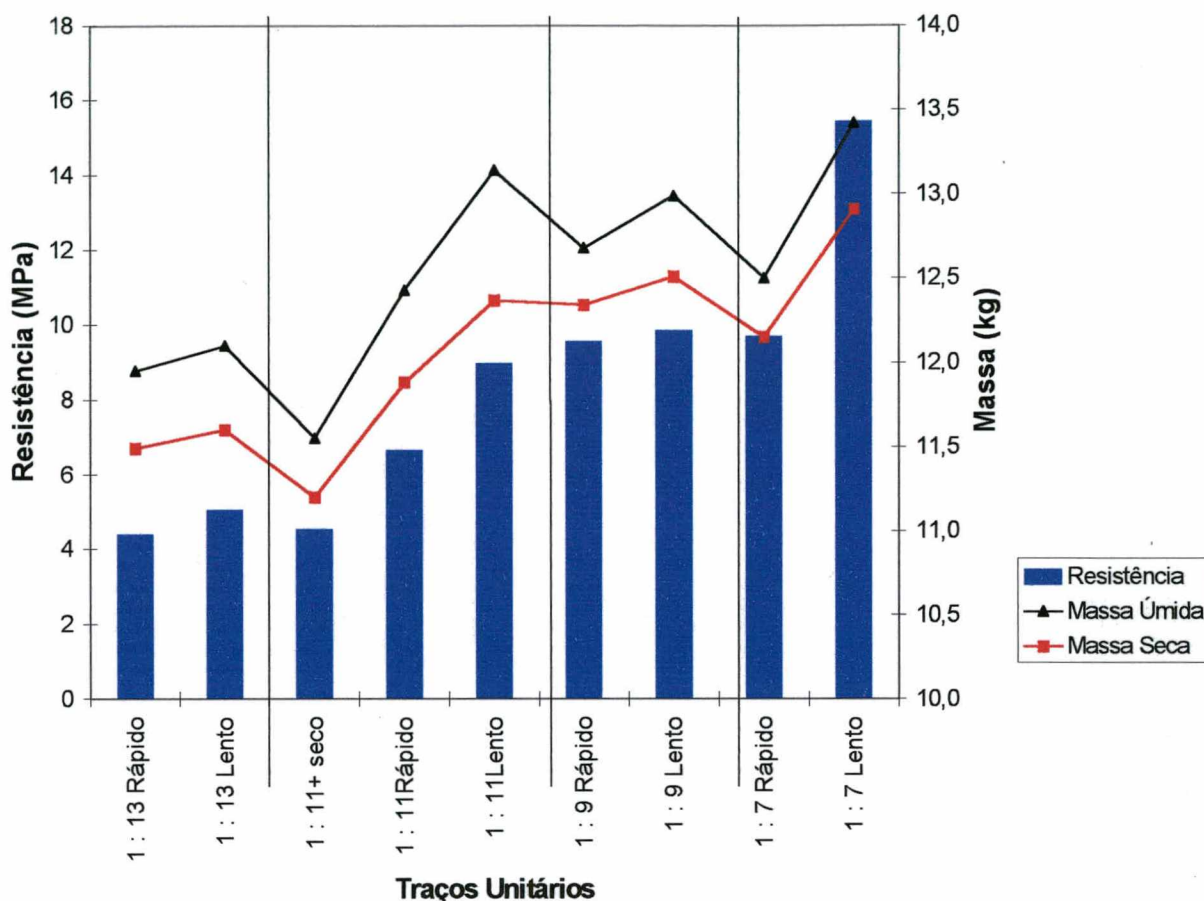


Figura 18: Variação da resistência à compressão e massa seca e úmida dos blocos estruturais de 14x19x39 cm em função do traço empregado.

Com o controle de umidade observa-se um comportamento normal das massas e resistências dos blocos de acordo com seus consumos de cimento. Cabe ressaltar que mesmo a umidade sendo controlada por um operador experiente, pelo ponto de pelota, sem a ajuda de sensores automáticos que façam este serviço, consegue-se excelentes resultados e um bom controle da produção e resistência dos artefatos. Quando são comparadas as Figuras 15 e 18 vê-se claramente que este ajuste da umidade é fundamental numa produção de blocos de concreto.

## **4. MÉTODO PROPOSTO**

### **4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

A partir dos estudos de caso feitos em fábrica, conceitos e dosagens apresentadas nas metodologias anteriores, apresentar-se-á, neste capítulo, a filosofia do método proposto para a dosagem dos blocos de concreto e que fatores foram estudados neste trabalho para a proposta de metodologia de dosagem.

Como visto, a produção de blocos de concreto depende de inúmeras variáveis que devem ser avaliadas de forma conjunta para que o estudo de dosagem apresente resultados confiáveis.

A filosofia do método consiste em varrer uma gama de variáveis que, considera-se aqui, ser de fundamental importância para o alcance de resistências e características especificadas para os blocos. Dentre estas características estão a avaliação da resistência à compressão, coesão e textura das misturas. Estas propriedades são influenciadas por parâmetros como a granulometria e proporcionamento dos agregados, tipo e teor de aglomerante, capacidade de compactação dos equipamentos, massas específicas dos concretos e umidade das misturas.

Como já mencionado, a dificuldade de se fazer um estudo estritamente utilizando a fábrica e moldando blocos de concreto para ensaios de compressão encarece e dificulta todo o estudo de dosagem. Por isto, a necessidade de se propor uma forma simples e eficaz de se prever resistências e características dos blocos de concreto é altamente necessária

Para que se pudesse estudar a influência dos parâmetros antes citados, buscou-se utilizar o laboratório como o meio de estudar as misturas e proporções mais adequadas a uma produção de blocos de concreto. Para isto, estudos foram realizados para que fosse possível utilizar corpos-de-prova em tamanho reduzido para diminuir ao máximo o esforço atualmente realizado em uma dosagem de blocos de concreto. Padronizou-se, então, a moldagem de misturas de concreto “secos” em corpos-de-prova cilíndricos 5x10cm. A escolha deste tipo de corpo-de-prova deve-se ao fato que ele é fácil de manusear e com pequenos consumos de material é possível produzir uma quantidade grande de CPs. Com a moldagem e testes destes CPs foi possível obter valores de resistência e coesão, além da avaliação visual de sua textura.



O método propõe, através destes testes, a quantificação de valores que são atualmente avaliados, na maioria das vezes, qualitativamente. A partir do estudo em corpos-de-prova cilíndricos, moldados com os concretos “secos”, tentou-se buscar uma correlação e uma forma de prever as resistências e características que devem possuir dos blocos de uma maneira racional e econômica para a dosagens das misturas a serem utilizadas numa produção.

## **4.2. ENSAIOS E EQUIPAMENTOS PROPOSTOS NA METODOLOGIA UTILIZADA**

### **4.2.1 EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NO ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL DOS BLOCOS.**

Os procedimentos para o ensaio de compressão dos blocos seguiram a norma NBR 7184(ABNT,1991).

Para o ensaio de compressão tomou-se cuidado com a questão da planicidade dos pratos da prensa, capeamento e umidade dos blocos para evitar que estes fatores viessem a alterar os resultados de resistência.

RENDER (1986) apud MEDEIROS (1993) explica que as placas utilizadas na ruptura dos blocos devem possuir no mínimo 75mm de espessura para evitar possíveis deformações que dissipariam parte do carregamento.

Segundo a NBR 7184, item 4.b., as superfícies planas e rígidas dos pratos e placas de apoio não devem apresentar desníveis superiores a  $(8 \times 10^{-2})$ mm para cada  $(4 \times 10^2)$ mm. Sobre a espessura dos pratos o mesmo item desta norma diz que a espessura mínima deve ser um terço da distância entre a borda do prato de apoio e canto mais afastado do corpo-de-prova, desde que atendam ao mínimo de 25mm.

De acordo com as recomendações vistas anteriormente, foram confeccionados pratos com 38mm de espessura, devidamente aplainados (desnível  $< 0,08$ mm para cada 400mm), após a verificação da existência de empenamento dos pratos antigos que possuíam 25mm de

espessura. Estes últimos provocavam concentrações de tensão na ruptura dos corpos-de-prova resultando na diminuição das resistências potenciais dos mesmos. Na Figura 19 estão apresentados a prensa e as chapas confeccionadas especialmente para o ensaio dos blocos de concreto.



*Figura 19 : Sistema utilizado no ensaio de compressão dos blocos de concreto. Prensa AMSLER (500tf) e pratos da prensa devidamente retificados com 38mm de espessura.*

Sobre a questão do capeamento, HOLM (1976) apud MEDEIROS (1993), verificou uma redução de 15% na resistência à compressão de blocos do mesmo lote utilizando duas situações de precisão de espessura de capeamento. MEDEIROS (1993) verificou que blocos de concreto capeados com pasta de enxofre e pozolana (relação 1:10 em massa) comparados aos blocos do mesmo lote ensaiados com apenas uma placa de madeira colocada em ambas as faces do bloco, possuem uma resistência média superior a 20%.

Para os blocos da pesquisa utilizou-se nata de cimento e vidro blindex como base para o capeamento. Isto foi necessário, uma vez que detectou-se que o granito, antes utilizado como base para o capeamento, não possuía planicidade (desnível  $< 0,08\text{mm}$  para cada 400mm) suficiente para atender as prescrições da NBR 7184.

Outro cuidado foi a questão da umidade dos blocos, pois este fator pode vir a alterar o resultado dos ensaios. O NCMA(1983) apud MEDEIROS (1993) explica que “carregamentos axiais provocam o surgimento de pressões hidrostáticas de origem secundária devido à



existência de umidade em excesso no interior do bloco, resultando em forças de tração lateral que tendem a reduzir os valores das resistências”. Para que a umidade não viesse a alterar os resultados dos ensaios, os blocos foram cuidadosamente estocados em local seco com uma semana de antecedência até o seu capeamento. Após capeados, aguardavam no mínimo 48 horas para o ensaio de ruptura pois a nata de cimento provoca um umedecimento que pode, também, resultar em diminuição de sua resistência potencial.

#### 4.2.2 EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA A CONFECCÃO DOS CPS 5X10

O equipamento utilizado na confecção dos CPs 5x10 foi um molde tripartido 50x130mm (Figura 20). Como os concretos “secos” possuem a propriedade de desforma logo após sua moldagem, devido a seu abatimento ser zero, o molde tripartido facilita esta operação. A altura do molde possui 130mm para poder comportar o concreto seco, que no estado solto possui um volume bem maior do que a altura final do CP (100mm), facilitando a colocação de material para sua posterior compactação.



*Figura 20 : Molde tripartido 5x13 utilizado para moldar os corpos-de-prova cilíndricos 5x10.*

O procedimento de moldagem dos corpos-de-prova foi semelhante ao utilizado na moldagem de CPs de argamassa. Depois de proporcionadas as misturas, estas eram homogêneas em um misturador mecânico com as mesmas características exigidas pela norma NBR 7215.

Logo após eram pesadas em duas partes para que cada parcela fosse subdividida em outras duas, compondo quatro camadas equivalentes no CP. O valor da massa dos corpo-de-prova, segundo o método proposto, é definido anteriormente para que, após a compactação, se consiga um concreto com uma dada massa específica. Para cada camada colocada dentro do molde, foram aplicados vinte golpes utilizando-se o mesmo soquete de CPs de argamassa. A força aplicada nos golpes foi distribuída igualmente em cada camada de maneira tal para que o CP possuísse, ao final da compactação, uma altura em torno de 103mm. Isto porque o acabamento e compactação final, que deixam o CP com 100mm de altura, são dados por um tarugo de nylon comprimido por golpes de um martelo de borracha. Após a finalização da moldagem, desaparafusa-se o anel que envolve o módulo tripartido e desforma-se o CP.

#### **4.2.3 EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NO ENSAIO DE COESÃO**

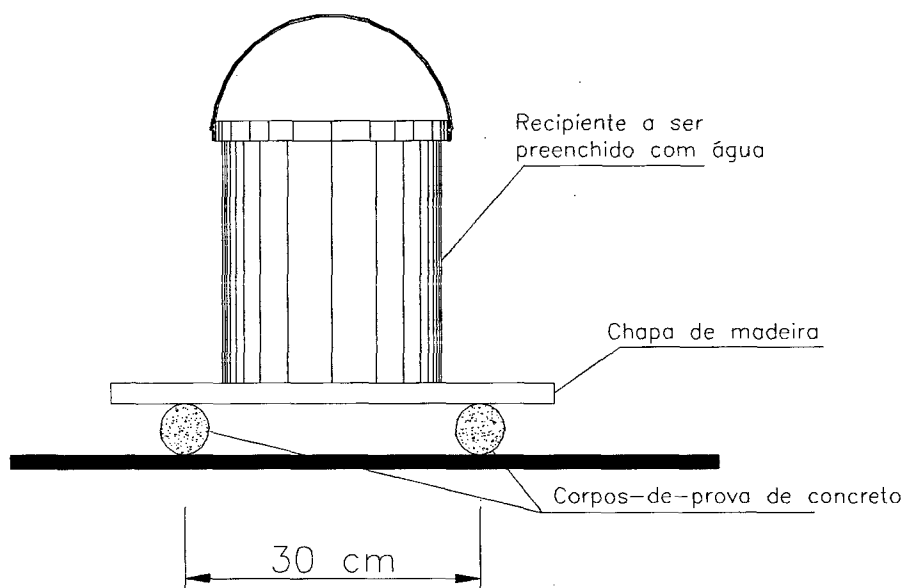
O ensaio de coesão utilizado para medir a resistência à desagregação das misturas frescas não é normalizado pela ABNT. Foi desenvolvido com a finalidade de expressar um valor quantitativo desta característica reológica tão importante para os concretos “secos”.

Esta metodologia propõe um ensaio de coesão baseado na compressão diametral de CPs cilíndricos recém moldados.

O ensaio consiste em moldar dois CPs 5x10, da mesma forma que são moldados os corpos-de-prova destinados ao ensaio de compressão. Estes CPs são, a seguir, dispostos sobre uma superfície horizontal, paralelamente segundo seu eixo longitudinal, distanciados em 30cm (eixo a eixo). Sobre esses CPs é posicionada uma chapa plana com dimensões de 50x20cm e espessura mínima de 1,5cm, cujo objetivo é servir de elemento de transferência de uma carga centrada superior para os CPs que servem de apoio. Sobre a chapa é posicionado um recipiente a ser preenchido com água para geração de um carregamento uniforme (1N/s). No ensaio é medida a carga necessária para o esmagamento dos apoios.

Os primeiros testes realizados com misturas empregadas em blocos estruturais de resistência especificada para 6MPa, com massa específica de 2,25kg/dm<sup>3</sup>, obteve-se um carregamento de 129,0N. Para verificar a sensibilidade do teste, produziu-se uma mistura de mesmo traço, com

substituição total do pó-de-pedra, utilizado na primeira mistura, por areia, de modo a obter-se uma mistura de baixa coesão. Para este novo traço, com massa específica de  $2,15\text{kg/dm}^3$ , obteve-se um carregamento médio de  $73,5\text{N}$ . Deve-se salientar que estes resultados são valores médios de dois ensaios, sendo que os mesmos apresentaram baixíssima dispersão (menores que 2% em relação à média). A Figura 21 mostra o detalhe do ensaio executado.

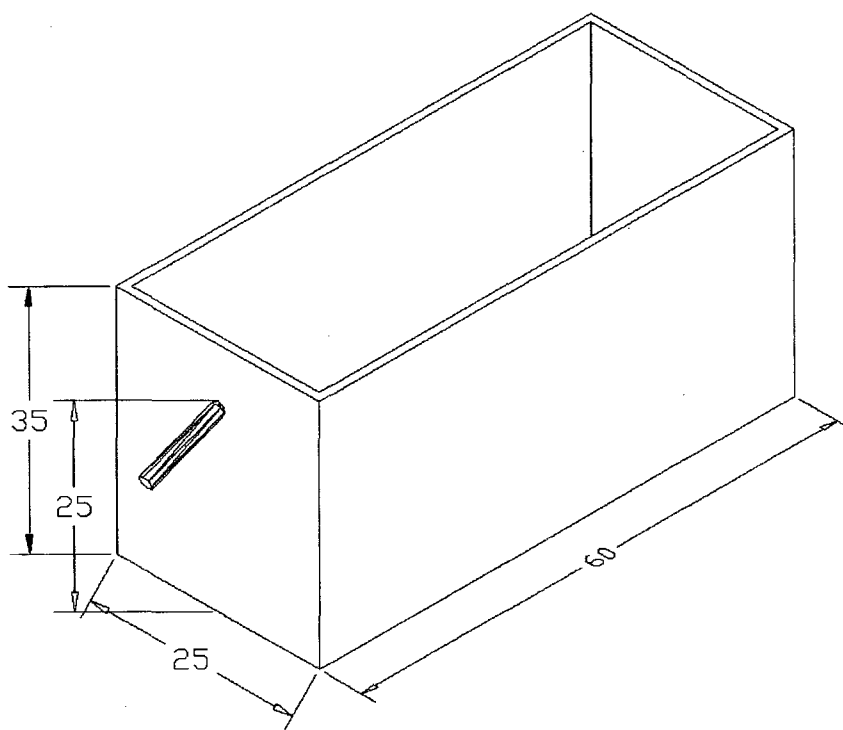


*Figura 21: Detalhe do equipamento utilizado no ensaio para a determinação da coesão das misturas.*

A importância do desenvolvimento deste ensaio reside no fato de tornar possível a modificação do proporcionamento das misturas de modo adequar a coesão das misturas à produção dos blocos de concreto. Se baixas coesões nas misturas podem inviabilizar a produção induzindo a quebras nos blocos recém produzidos, coesões excessivas podem levar a altos tempos de alimentação e pré-vibração, reduzindo a produtividade e aumentando o desgaste do equipamento. Daí a importância de se controlar esta propriedade das misturas na produção.

#### 4.2.4 EQUIPAMENTOS E PROCEDIMENTOS UTILIZADOS NO ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE VOLUME

O ensaio para obtenção de volume consiste em manter os artefatos submersos em água por 24 horas antes de imergi-los em uma caixa (neste caso metálica) que está preenchida com água com um volume perfeitamente definido pela existência de um orifício lateral que serve como extravasor. Isto evita a perda de água da caixa para os poros do bloco e dá com maior precisão o volume real do artefato testado (volume de forma). A submersão do bloco na caixa provoca a saída de água pelo orifício. O líquido que vaza da caixa é despejado em um recipiente e, depois que todo ele tiver vazado, este pode pesado para obtenção de seu volume. Desta forma simples, pôde-se obter o volume dos blocos estudados. Na Figura 22 está apresentado o desenho da caixa metálica utilizada para a determinação do volume dos blocos.



*Figura 22 : Caixa metálica utilizada na determinação do volume dos blocos.*

## **5.PROGRAMA EXPERIMENTAL**

### **5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS**

O objetivo da primeira etapa do programa experimental desta dissertação foi estudar uma maneira de comparar a resistência de CPs moldados em laboratório com o blocos produzidos em fábrica, para verificar se o estudo em CPs com dimensões reduzidas proporcionava uma avaliação precisa do comportamento dos concretos com relação as propriedades de resistência, textura e coesão. Desta forma, nesta etapa do trabalho, procurou-se comparar as resistências entre CPs e blocos moldados a partir de uma produção, em fábrica, para encontrar uma relação confiável entre eles. Encontrada esta relação, a segunda etapa foi estudar, nos CPs moldados em laboratório, os efeitos que diferentes misturas de agregados, com diferentes umidades e massas específicas, provocam nas propriedades antes citadas. Com o resultado desta fase experimental, procurou-se propor uma metodologia de dosagem para os blocos de concreto baseada no estudo empregando os CPs 5x10.

Na primeira etapa da pesquisa, realizada em fábrica, à medida em que iam sendo produzidas na vibro-prensa as séries de blocos desejadas, retirava-se uma amostra do concreto utilizado na fabricação dos artefatos e moldavam-se os CPs 5x10, que posteriormente eram colocados na cura, juntamente com os blocos de sua série. A cura aplicada, neste caso, foi cura térmica à vapor. Desta forma ficou garantida a semelhança de traços, umidades e cura das séries de CPs e blocos produzidos.

Na segunda etapa, com o objetivo de avaliar o comportamento de traços, granulometrias, umidades e agregados distintos, os CPs foram moldados em laboratório. A cura destes últimos foi dentro de caixa térmica e permaneceram por um dia em repouso para evitar a perda excessiva de água. No dia seguinte, quando já apresentavam resistência mecânica razoável, eram numerados e aguardavam a data do rompimento em caixa de papelão (ao ar livre). Todos os CPs destinados a resistência à compressão foram ensaiados com idade de 28 dias.

## **5.2 COMPARAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS OBTIDAS ENTRE CORPOS-DE-PROVA MOLDADOS EM LABORATÓRIO E BLOCOS DE CONCRETO**

Como já dito, os blocos e CPs utilizados no estudo para comparação entre suas resistências eram da mesma mistura. Com isto ficaram garantidas as mesmas características de traços, consumos de cimento e umidades das séries de CPs moldados para cada série de blocos fabricados. Para que também ficasse garantido que os CPs tivessem a mesma massa específica dos blocos, única variável a ser controlada para semelhança completa entre eles, fez-se um estudo de pesagem dos blocos recém moldados (“verdes”) de cada série para que estes valores pudessem servir para o cálculo de massa específica dos CPs. Com as massas específicas alcançadas nas séries de blocos, moldaram-se os CPs utilizados no estudo comparativo.

O primeiro passo do estudo realizado foi encontrar o volume médio dos blocos. Na pesquisa foram estudados dois blocos com mesmo tamanho (14x19x39 - L x H x C) mas de geometrias distintas que aqui serão denominados PF (parede fina) e PG (parede grossa - parede do bloco mais grossa que o primeiro) com o objetivo de avaliar o efeito da geometria na relação de resistência entre CP e bloco. Os volumes dos blocos foram obtidos utilizando-se o procedimento descrito no item 4.2.4.

O segundo passo foi detectar qual a massa úmida contida nos blocos no seu estado fresco. Para isto, foram tiradas da produção, logo após a etapa de moldagem dos artefatos, chapas contendo os blocos. Descontadas a devida massa das chapas, e fazendo-se a média da massa dos blocos nela contidos (6 blocos por chapa), obteve-se o valor médio da massa dos blocos produzidos. A regulagem do maquinário (alimentação e pré-vibração) foi ajustada para que o tempo de prensagem tivesse constância a fim de que não ocorressem dispersões de massa nos blocos produzidos de ciclo para ciclo. Em seguida, com os valores de volume e massa, calculou-se a massa específica dos blocos no estado fresco. Com a mesma massa e massa específica, foram produzidos CPs 5x10 que tiveram o mesmo tratamento de cura dada aos blocos (cura térmica a vapor).

Foram moldadas 3 séries de blocos para cada tipo de geometria (PF e PG), variando-se o consumo de cimento, com a intenção de produzir lotes com resistência esperada de 6, 9 e

12MPa. Na Tabela 15 estão apresentadas as séries de blocos moldadas e seus respectivos traços. A máquina utilizada foi do tipo Montana MBX975.

*Tabela 15: Séries de blocos produzidas para comparação entre as resistências dos CPs 5x10 e os blocos.*

resistência esperada	Blocos de parede fina			Blocos de parede grossa		
	6 MPa	9 MPa	12 MPa	6 MPa	9 MPa	12 MPa
traço	1 : 11	1 : 9	1 : 7	1 : 11	1 : 9	1 : 7
cimento	95	115	146	95	115	146
pedrisco	640	640	640	640	640	640
areia grossa	330	330	330	380	380	380
areia fina	50	50	50	0	0	0
Total agregados	1020	1020	1020	1020	1020	1020

Nas tabelas 16 e 17 estão apresentados os tempos de produção do maquinário, as massas medidas nas chapas para os blocos de parede grossa e fina, volume e umidade das misturas utilizadas. Com os valores de volume e massa dos blocos no estado fresco foi possível moldar CPs com massas específicas equivalentes para o estudo comparativo entre resistência dos blocos e CPs.

*Tabela 16: massa dos blocos, tempos de produção, volume e massa específica dos blocos de parede fina para estudo de correlação com os CPs 5x10*

Blocos 14x19x39 cm de Parede fina							
6MPa- H mistura = 6,16%							
chapa	massa chapa (g)	tempo médio prensagem (s)	massa chapa + blocos (g)	massa blocos (g)	massa média (g)	Volume (litros)	d úmida kg/dm3
1	28.300	4,65	104.000	75.700	12.646	6.010	2,10
2	31.300	5,35	108.000	76.700			
3	30.800	4,94	106.300	75.500			
4	31.700	4,97	107.300	75.600			
9MPa - H mistura = 5,49%							
chapa	massa chapa (g)	tempo médio prensagem (s)	massa chapa + blocos (g)	massa blocos (g)	massa média (g)	Volume (litros)	d úmida kg/dm3
1	31.800	5,99	108.300	76.500	12.742	6.010	2,12
2	29.400	5,36	105.800	76.400			
3	32.400	5,90	108.900	76.500			
4	32.100	6,02	108.500	76.400			
12MPa - H mistura = 5,26%							
chapa	massa chapa (g)	tempo médio prensagem (s)	massa chapa + blocos (g)	massa blocos (g)	massa média (g)	Volume (litros)	d úmida kg/dm3
1	32.300	4,52	109.300	77.000	12.933	6.010	2,15
2	31.600	5,17	109.000	77.400			
3	29.200	5,39	106.600	77.400			
4	28.200	7,70	106.800	78.600			

*Tabela 17: massa dos blocos, tempos de produção, volume e massa específica dos blocos de parede grossa para estudo de correlação com os CPs 5x10*

<b>Blocos 14x19x39 cm de Parede grossa</b>							
<b>6MPa - H mistura = 7,53%</b>							
chapa	massa chapa (g)	tempo médio prensagem (s)	massa chapa + blocos (g)	massa blocos (g)	massa média (g)	Volume (litros)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>
1	32.100	6,40	122.600	90.500	15.142	6.930	2,18
2	32.300	9,42	124.000	91.700			
3	32.100	7,15	122.600	90.500			
4	32.100	7,31	122.800	90.700			
<b>9MPa - H mistura = 6,38%</b>							
chapa	massa chapa (g)	tempo médio prensagem (s)	massa chapa + blocos (g)	massa blocos (g)	massa média (g)	Volume (litros)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>
1	32.800	6,69	122.500	89.700	14.996	6.930	2,16
2	32.500	6,54	122.500	90.000			
3	32.400	7,23	122.200	89.800			
4	31.300	7,60	121.700	90.400			
<b>12MPa - H mistura = 7,07%</b>							
chapa	massa chapa (g)	tempo médio prensagem (s)	massa chapa + blocos (g)	massa blocos (g)	massa média (g)	Volume (litros)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>
1	31.100	5,28	123.300	92.200	15.403	6.930	2,22
2	29.900	5,50	122.600	92.700			
3	32.200	6,07	124.500	92.300			
4	32.700	4,94	124.800	92.100			
5	31.300	5,54	124.100	92.800			

Para cada série de blocos, produziu-se uma amostra de 4 CPs 5x10 (4 por série) com massa específica equivalente. Na Tabela 18 estão apresentados os valores de resistência mecânica e massas específicas das séries de CPs 5x10 utilizados no estudo comparativo de resistência entre blocos e CPs 5x10. A massa dos CPs 5x10 apresentada é a massa seca ao ar. Cabe lembrar que o CP cilíndrico possuía diâmetro de 51mm e não 50mm. Assim, o cálculo das resistências atingidas utilizaram área igual a 20,43cm<sup>2</sup>.



Tabela 18: Valores de resistência e massa específica encontrada para os CPs 5x10 utilizados no estudo comparativo de resistência

cp 50x100 mm								
Parede	MPa	massa (g)	carga (KN)	d (kg/dm <sup>3</sup> )	resist. (MPa)	Sd	CV (%)	média (MPa)
Grossa	6	430,80	27,500	2,11	13,46	1,24	9,59	12,98
		430,00	23,300	2,10	11,41			
		430,30	29,300	2,11	14,34			
		431,30	25,950	2,11	12,70			
	9	431,50	36,050	2,11	17,65	0,27	1,53	17,35
		433,00	35,700	2,12	17,48			
		430,30	35,250	2,11	17,26			
		430,20	34,800	2,11	17,04			
	12	445,60	50,700	2,18	24,82	0,86	3,40	25,34
		444,10	52,200	2,17	25,55			
		445,10	54,050	2,18	26,46			
		444,70	50,100	2,18	24,52			
Fina	6	424,40	27,550	2,08	13,49	1,07	7,38	14,51
		423,80	28,000	2,07	13,71			
		422,10	31,200	2,07	15,27			
		423,90	31,850	2,08	15,59			
	9	429,00	46,050	2,10	22,54	1,28	6,13	20,94
		429,80	43,650	2,10	21,37			
		428,30	41,200	2,10	20,17			
		430,90	40,200	2,11	19,68			
	12	440,20	49,500	2,15	24,23	3,13	12,07	25,94
		438,90	57,050	2,15	27,93			
		441,20	45,850	2,16	22,44			
		445,10	59,550	2,18	29,15			

Para o cálculo de correlação utilizou-se a resistência dos blocos em área líquida. A área líquida dos blocos e sua relação  $A_{liq}/A_{bruta}$  está apresentada na Tabela 19.

Tabela 19: Cálculo das áreas líquidas e relação  $A_{liquida}/A_{bruta}$  dos blocos de parede fina e grossa

Parede	Volume (litros)	Cálculo $A_{liq}(cm^2)$	Relação $A_{liq}/A_{bruta}$ (%)
Fina	6.010	$\frac{V_{total}}{Altura} = \frac{6.010}{19} = 316,31cm^2$	$\frac{A_{liquida}}{A_{bruta}} = \frac{316,31}{546} = 57,9$
Grossa	6.930	$\frac{V_{total}}{Altura} = \frac{6.930}{19} = 364,74cm^2$	$\frac{A_{liquida}}{A_{bruta}} = \frac{364,74}{546} = 66,8$

### 5.2.1 ENSAIOS DOS BLOCOS UTILIZADOS PARA ESTUDO DE COMPARAÇÃO COM CPS 5X10

Na Tabela 20 estão apresentados os valores de resistência mecânica e massas específicas das séries de blocos utilizados no estudo comparativo de resistência. A massa dos blocos

apresentada é a massa seca ao ar e a resistência em área líquida. Os valores detalhados do ensaio de ruptura, com dimensões e massa dos blocos medidas encontram-se no Anexo 2.

*Tabela 20: Valores de resistência (na área líquida) e massa específica encontrada para os blocos utilizados nos estudos de correlação.*

Bloco 14x19x39 cm - 6MPa							
Parede	massa (g)	carga (KN)	d (kg/dm <sup>3</sup> )	resist. (MPa)	Sd	CV (%)	média (MPa)
Grossa	14700	620	2,12	17,00	0,41	2,48	16,41
	14700	590	2,12	16,18			
	14680	605	2,12	16,59			
	14610	585	2,11	15,95			
	14670	602	2,12	16,51			
	14710	610	2,12	16,81			
	14660	605	2,12	16,41			
Fina	12340	620	2,05	19,60	2,10	11,38	18,49
	12480	645	2,08	20,18			
	12550	685	2,09	21,54			
	12440	595	2,07	18,81			
	12110	500	2,01	15,72			
	12130	570	2,02	17,93			
	12410	595	2,06	18,71			
12180	490	2,03	15,41				
Bloco 14x19x39 cm - 9MPa							
Parede	massa (g)	carga (KN)	d (kg/dm <sup>3</sup> )	resist. (MPa)	Sd	CV (%)	média (MPa)
Grossa	14620	835	2,11	22,65	1,03	4,81	21,43
	14520	775	2,10	21,25			
	14620	785	2,11	21,41			
	14540	720	2,10	19,74			
	14560	812	2,10	22,03			
	14540	755	2,10	20,70			
	14580	765	2,10	20,86			
Fina	12550	815	2,09	25,77	2,63	9,72	27,03
	12390	765	2,06	24,31			
	12640	920	2,10	29,08			
	12360	745	2,06	23,55			
	12640	940	2,10	29,56			
	12400	925	2,06	29,09			
	12370	790	2,06	24,98			
12620	950	2,10	29,88				
Bloco 14x19x39 cm - 12MPa							
Parede	massa (g)	carga (KN)	d (kg/dm <sup>3</sup> )	resist. (MPa)	Sd	CV (%)	média (MPa)
Grossa	15010	1180	2,17	32,01	2,02	6,17	32,78
	15150	1105	2,19	30,14			
	15100	1220	2,18	32,92			
	15030	1175	2,17	31,88			
	15140	1220	2,18	33,27			
	15090	1135	2,18	30,95			
	15100	1335	2,18	36,41			
Fina	15120	1277	2,18	34,64	2,27	7,01	32,42
	12840	1090	2,14	34,28			
	12650	1040	2,10	33,05			
	12760	1045	2,12	33,21			
	12760	1060	2,12	33,69			
	12630	930	2,10	29,40			
	12830	1065	2,13	33,31			
12840	1075	2,14	34,16				
12720	890	2,12	28,28				

## 5.2.2 ENSAIOS DOS CPS UTILIZADOS PARA ESTUDO DE COMPARAÇÃO COM OS BLOCOS

A Tabela 21 apresenta um resumo dos valores das massas específicas e resistências médias resultantes dos ensaios realizados nos blocos e CPs. Na última coluna encontra-se o cálculo da relação entre a resistência dos CPs e blocos em função das resistências em área líquida.

*Tabela 21: Valores de resistências e massas específicas encontradas para os blocos utilizados nos estudos comparativos de resistência.*

lotes	blocos	res. média	Massa específica	CP5x10	res. média	Massa específica	proporção
		(MPa)	(kg/dm <sup>3</sup> )		(MPa)	(kg/dm <sup>3</sup> )	CP/Bloco(%)
6MPa	PG	16,41	2,12	PG	12,98	2,11	79,10
	PF	18,49	2,05	PF	14,51	2,07	78,51
9MPa	PG	21,43	2,10	PG	17,35	2,11	80,98
	PF	27,03	2,08	PF	20,94	2,10	77,48
12MPa	PG	32,78	2,10	PG	25,34	2,18	77,30
	PF	32,42	2,08	PF	25,94	2,16	80,00

Observa-se na Tabela 21 que a proporção entre as resistências dos CPs 5x10 e blocos, para todos os traços e geometrias distintas testados, giraram em torno de 80%. Isto quer dizer que ao ensaiar um CP cilíndrico 5x10 está se atingindo por volta de 80% da resistência que o mesmo traço e de mesma massa específica num bloco, na área líquida, poderia atingir. Como este resultado mostrou-se praticamente constante para todas as séries e para blocos de diferentes geometrias, concluiu-se que a relação entre a resistência de blocos e CPs 5x10 é válida.

## 5.3 ESTUDO DA INFLUÊNCIA DE DIVERSOS PARÂMETROS NA RESISTÊNCIA DOS CONCRETOS “SECOS”

Para a segunda etapa do trabalho foram selecionados agregados distintos da mesma fábrica onde executou-se a primeira fase do trabalho. O aglomerante utilizado foi o cimento CP – VARI – Votoran. Para esta fase foram proporcionadas várias misturas com diferentes teores de cimento e agregado, variando propriedades como massa específica, umidade e granulometria para avaliação do comportamento dos concretos quanto à resistência mecânica, coesão e textura.

### 5.3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS UTILIZADOS NO ESTUDO DE MOLDAGEM DOS CPS 5X10

Para o estudo do comportamento mecânico e das propriedades dos concretos “secos” foram utilizados duas areias médias, com diferentes módulos de finura, um pedrisco (brita 0) e uma areia fina. A caracterização granulométrica, massas específicas, material pulverulento e massa unitária compactada apresentam-se nas Tabelas 22, 23, 24, 25 e 26 .

*Tabela 22 : Composição granulométrica da Areia Média 1.*

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Porcentagens	
		Retida	Acumulada
9,5	0,00	0,0	0,0
6,3	0,00	0,0	0,0
4,8	2,57	0,2	0,2
2,4	81,67	5,4	5,6
1,2	428,10	28,3	33,8
0,6	398,70	26,3	60,2
0,3	412,65	27,3	87,4
0,15	148,43	9,8	97,2
fundo	41,71	2,8	100,0
total	1513,83	100,0	-

Dimensão máxima característica : 4,8mm

Dimensão mínima característica : 0,15

Módulo de finura : 2,84

Classificação NBR 7211 : Zona 3 (areia média)

*Tabela 23 : Composição granulométrica da Areia Média 2.*

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Porcentagens	
		Retida	Acumulada
9,5	1,80	0,1	0,1
6,3	13,20	0,9	1,0
4,8	44,00	3,0	4,0
2,4	227,80	15,3	19,2
1,2	420,00	28,2	47,4
0,6	237,20	15,9	63,3
0,3	250,90	16,8	80,2
0,15	208,00	14,0	94,1
fundo	87,90	5,9	100,0
total	1490,80	100,0	-

Dimensão máxima característica : 4,8mm

Dimensão mínima característica : <0,15mm

Módulo de finura : 3,08

Classificação NBR 7211 : Zona 3 (areia média)

*Tabela 24: Composição granulométrica da Areia Fina.*

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Porcentagens	
		Retida	Acumulada
9,5	0,00	0,0	0,0
6,3	0,00	0,0	0,0
4,8	0,00	0,0	0,0
2,4	0,79	0,1	0,1
1,2	3,04	0,3	0,3
0,6	6,96	0,6	0,9
0,3	51,63	4,3	5,2
0,15	1001,90	82,9	88,0
fundo	144,96	12,0	100,0
total	1209,28	100,0	-

Dimensão máxima característica : 0,6mm

Dimensão mínima característica : <0,15

Módulo de finura : 0,94

Classificação NBR 7211 : Não se enquadra

Tabela 25: Composição granulométrica do pedrisco.

Peneira (mm)	Massa Retida (g)	Porcentagens	
		Retida	Acumulada
9,5	13,50	1,4	1,4
6,3	284,20	28,4	29,8
4,8	415,70	41,6	71,4
2,4	267,50	26,8	98,2
1,2	8,00	0,8	99,0
0,6	0,50	0,1	99,0
0,3	0,60	0,1	99,1
0,15	1,20	0,1	99,2
fundo	8,00	0,8	100,0
total	999,20	100,0	-

Dimensão máxima característica :9,5mm  
 Dimensão mínima característica : 2,4mm  
 Módulo de finura : 5,67  
 Classificação NBR 7211 : Não se enquadra

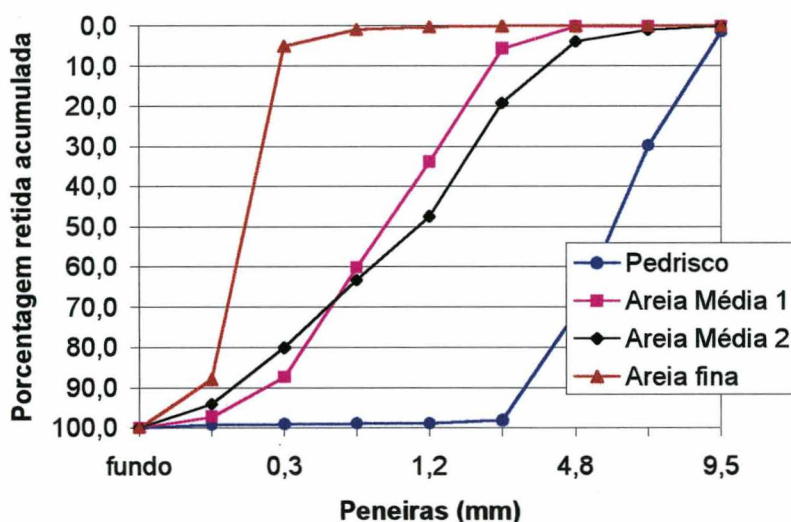


Figura 23: Gráfico da curva granulométrica dos agregados utilizados na pesquisa

Tabela 26: Massa específica, material pulverulento e massa unitária compactada dos agregados utilizados na moldagem dos CPs 5x10.

	Massa Específica	Material	Massa Unitária
	Kg/dm <sup>3</sup>	Pulverulento (%)	Kg/dm <sup>3</sup>
Areia média 1	2,60	0,95	1,61
Areia média 2	2,60	1,20	1,61
Areia Fina	2,64	1,63	1,57
Pedrisco	2,63	1,03	1,46

### 5.3.2 CARACTERIZAÇÃO DO AGLOMERANTE UTILIZADO NA ESTUDO DE MOLDAGEM DOS CPS 5X10

A caracterização do cimento empregado nesta etapa da pesquisa (CP V – ARI), foi fornecida pelo fabricante do produto e está apresentada na Tabela 27.

Tabela 27: Características químicas, físicas e mecânicas do cimento utilizado na pesquisa.

MÊS: Setembro/99

		MÉDIA	DESVIO	MÍNIMO	MÁXIMO
<b>ENSAIOS FÍSICOS</b>					
	UNID.				
PENEIRA 200	%	0,08	0,07	0,05	0,25
PENEIRA 325	%	0,63	0,28	0,30	1,10
BLAINE	M2/kg	482,61	8,01	470,00	494,00
AGUA CONSIST.	%	31,12	0,48	30,50	31,95
INICIO DE PEGA	Hs/min	3:08	0:19	2:47	3:45
FIM DE PEGA	Hs/min	4:12	0:22	3:50	4:52
EXPANSÃO A QUENTE	mm	0,34	0,31	0,00	0,75
RESIS. 1 DIA	MPa	24,47	1,09	22,80	25,70
RESIS. 3 DIAS	MPa	33,81	1,15	32,20	35,10
RESIS. 7 DIAS	MPa	38,31	1,66	35,80	40,15
RESIS. 28 DIAS (Mês anterior)	MPa	46,66	1,33	44,70	49,50
<b>ENSAIOS QUÍMICOS</b>					
PERDA AO FOGO	%	3,14	0,33	2,61	3,60
SiO <sub>2</sub>	%	18,08	0,27	17,76	18,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	4,46	0,15	4,30	4,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2,77	0,04	2,71	2,84
CaO	%	60,40	0,39	59,63	60,86
MgO	%	6,07	0,09	5,93	6,20
K <sub>2</sub> O	%	1,40	0,06	1,33	1,50
Na <sub>2</sub> O	%	0,03	0,04	0,00	0,13
SO <sub>3</sub>	%	3,16	0,12	2,97	3,32
RESID. INSOL.	%	0,85	0,27	0,56	1,42

\* Massa Específica deste cimento: 3,14 g/cm<sup>3</sup>



### 5.3.3 TRAÇOS UTILIZADOS NA PESQUISA

Para a moldagem dos CPs, utilizaram-se 4 proporções de agregados, com o objetivo de avaliar a influência da granulometria. Assim, foram proporcionadas 4 diferentes misturas com relação aos teores de areia média e fina, fixando a quantidade de pedrisco para todos os traços. A quantidade de pedrisco adotada foi aquela utilizada em estudos anteriores de dosagem para a mesma fábrica onde foi desenvolvida a pesquisa. Esta proporção de agregado graúdo foi encontrada utilizando a metodologia do menor volume de vazios. A Tabela 28 apresenta a percentagem de agregado utilizado em cada série e seus respectivos módulos de finura.

*Tabela 28: Traços utilizados nas série, percentagens retidas acumuladas em cada caso e módulos de finura respectivos*

Peneiras	<b>Percentagem retida acumulada para cada agregado</b>			
	Areia Média 1	Areia Média 2	Areia Fina	Pedrisco
9,5	0,00	0,12	0,00	1,35
6,3	0,00	1,01	0,00	29,79
4,8	0,17	3,96	0,00	71,40
2,4	5,56	19,24	0,07	98,17
1,2	33,84	47,41	0,32	98,97
0,6	60,18	63,32	0,89	99,02
0,3	87,44	80,15	5,16	99,08
0,15	97,24	94,10	88,01	99,20
Fundo	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>M.F.</b>	<b>2,84</b>	<b>3,08</b>	<b>0,94</b>	<b>5,67</b>
	<b>Percentagem de material utilizado em cada série (%)</b>			
Série 1	0	67,63	0	32,37
Série 2	67,63	0	0	32,37
Série 3	57,09	0	10,54	32,37
Série 4	46,36	0	21,27	32,37
	<b>Percentagem retida acumulada final para cada traço</b>			
Peneiras	Série 1	Série 2	Série 3	Série 4
9,5	0,52	0,44	0,44	0,44
6,3	10,32	9,64	9,64	9,64
4,8	25,79	23,23	23,21	23,19
2,4	44,79	35,54	34,96	34,37
1,2	64,10	54,92	51,39	47,79
0,6	74,88	72,75	66,50	60,14
0,3	86,28	91,21	82,54	73,71
0,15	95,75	97,88	96,90	95,91
Fundo	100,00	100,00	100,00	100,00
<b>M.F.</b>	<b>3,92</b>	<b>3,76</b>	<b>3,56</b>	<b>3,36</b>



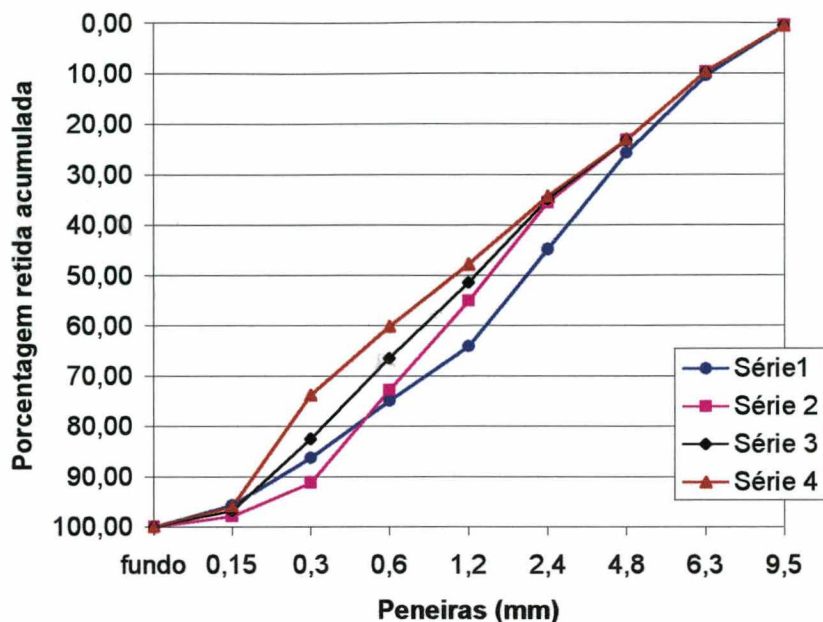


Figura 24 : Gráfico da curva granulométrica das séries utilizadas na moldagem dos CPs 5x10

Para cada série moldada, variou-se o consumo de cimento. Os traços desdobrados segundo o consumo de cimento e a proporção de agregados estão apresentados na Tabela 29.

Tabela 29: Traços desdobrados para cada série de acordo com cada relação agregado/aglomerante utilizado (em massa).

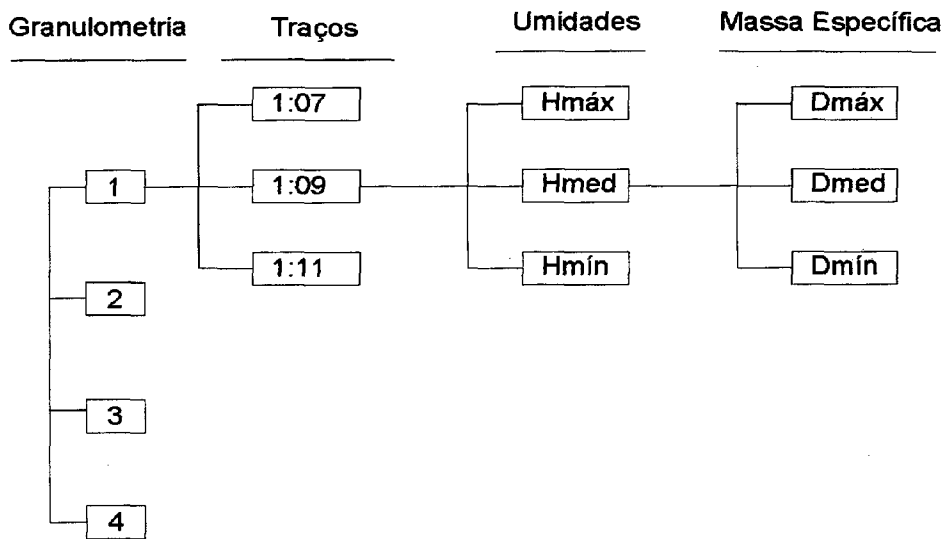
Séries	1	2	3	4
Agregado/ Aglomerante	C:AM2:P	C:AM1:P	C:AM1:AF:P	C:AM1:AF:P
1:11	1:7,44:3,56	1:7,44:3,56	1:6,28:1,16:3,56	1:5,10:2,34:3,56
1:09	1:6,09:2,91	1:6,09:2,91	1:5,14:0,95:2,91	1:4,18:1,91:2,91
1:07	1:4,73:2,27	1:4,73:2,27	1:4,0:0,74:2,26	1:3,25:1,49:2,26

C: cimento / AM1 : areia média 1 / AM2 : areia média 2 / AF: areia fina / P: pedrisco

Para cada traço e consumo de cimento, foram moldadas três misturas com umidades distintas: a primeira utilizando o máximo de água; a segunda, uma mistura com umidade mínima e a terceira uma média aritmética da umidade entre as duas primeiras. Estas umidades (máximas e mínimas) foram estimadas pela experiência adquirida em fábrica, analisando o “ponto de pelota” e utilizando valores de H em torno de 5,5 a 8,0%.

Para cada umidade foram moldados CPs com três massas específicas diferentes. As massas específicas foram fixadas da seguinte forma: para cada mistura e umidade, moldava-se um primeiro corpo-de-prova que viria a ser o de máxima massa específica. Esta massa específica máxima era aquela onde se alcançava uma compactação final (com o tarugo de nylon) em torno de 10 a 15 golpes fortes com o martelo de borracha. Se a quantidade pesada para moldar o CP era excessiva, a compactação final ficava impossibilitada, ou seja, não conseguia-se obter a altura desejada para o CP (10cm). Portanto, a quantidade de material a ser adotada para o CP mais denso era diminuída. Se ocorria o inverso, ou seja, uma facilidade excessiva para a compactação final, aumentava-se o valor de massa a ser colocada no CP. No caso da pesquisa, de acordo com o material utilizado, estas pequenas correções giravam em torno de 5 a 10 gramas de material a mais ou a menos. Fixada a massa de concreto a ser colocada na série de CPs mais densos, para as outras duas massas específicas restantes, diminuía-se de 15 gramas consecutivamente a massa pesada até o CP de menor massa específica.

Desta forma pôde-se variar a umidade e as massas específicas dos CPs e verificar, na ruptura do material, se realmente estes parâmetros, juntamente com a variação granulométrica dos diferentes traços influencia nas resistências mecânicas. Para cada situação (umidade, massa específica, granulometria e consumo de cimento) foram moldados 8 CPs, perfazendo um total de 864 CPs moldados. Metade deles foram ensaiados à compressão e a outra metade utilizados no ensaio de coesão. A Figura 25 apresenta esquematicamente o plano de moldagem dos corpos-de-prova segundo o descrito acima.



*Figura 25 : Organograma da moldagem dos corpo-de-prova.*

### **5.3.4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO E VALORES DE COESÃO.**

Os ensaios com os corpos-de-prova 5x10 tiveram como objetivo avaliar a resistência à compressão, a sua coesão e qualitativamente sua textura. Nas Tabelas 30 e 31 estão apresentados, de forma concentrada, os valores de resistência e coesão dos CPs ensaiados. Os mesmos dados constam também no anexo 1 que apresenta todos os valores encontrados na ruptura dos CPs.

Tabela 30: Valores de umidade, coesão e resistência à compressão das séries 1e 2.

Série 1 (MF = 3,92)					Série 2 (MF = 3,76)				
Traço 1:11					Traço 1:11				
Massa úmida (gramas)	Coesão média (Kg)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Massa úmida (gramas)	Coesão média (Kg)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
H1 = 7,00%					H1 = 7,86%				
450	4,64	17,04	0,72	4,22	450	7,02	18,81	0,94	5,02
435	3,65	13,80	0,70	5,05	435	4,02	15,35	0,40	2,59
420	2,23	11,52	0,71	6,12	420	2,35	12,94	0,57	4,37
H2 = 5,83%					H2 = 6,81%				
445	13,58	15,75	0,80	5,06	450	7,59	18,11	1,21	6,67
435	6,59	16,66	0,35	2,09	435	4,76	14,65	0,48	3,29
420	3,86	11,63	0,56	4,77	420	2,48	12,07	0,67	5,59
H1 = 4,65%					H1 = 5,76%				
435	13,17	16,02	0,69	4,33	445	10,15	20,20	0,82	4,04
420	5,79	11,03	0,91	8,26	430	5,83	16,41	0,34	2,05
405	2,98	9,01	1,16	12,83	415	2,81	12,28	0,41	3,33
Traço 1:9					Traço 1:9				
Massa úmida (gramas)	Coesão média (KG)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Massa úmida (gramas)	Coesão média (Kg)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
H1 = 7,34%					H1 = 8,00%				
460	9,49	23,30	0,26	1,09	460	9,09	22,02	0,48	2,19
445	5,17	19,90	0,63	3,18	445	4,76	18,61	0,35	1,89
430	2,28	14,36	1,31	9,11	430	2,96	14,72	0,27	1,85
H2 = 6,67%					H2 = 7,00%				
450	6,65	23,83	0,59	2,48	450	7,84	19,88	0,91	4,58
435	4,15	17,84	1,26	7,04	435	3,56	16,64	0,69	4,12
420	2,72	14,94	0,70	4,67	420	2,79	13,05	0,63	4,86
H3 = 6,00%					H3 = 6,00%				
445	12,59	21,12	1,20	5,67	445	10,75	20,40	0,87	4,29
435	5,82	17,98	0,41	2,31	430	5,41	16,39	0,48	2,95
420	3,54	12,89	2,87	22,29	415	2,98	12,07	1,11	9,17
Traço 1:7					Traço 1:7				
Massa úmida (gramas)	Coesão média (KG)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Massa úmida (gramas)	Coesão média (Kg)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
H1 = 7,50%					H1 = 8,10%				
460	7,31	26,26	1,06	4,04	465	8,56	30,13	0,53	1,75
445	5,74	22,30	1,50	6,75	450	4,74	23,61	1,73	7,31
430	2,68	19,13	0,14	0,76	435	2,98	19,79	0,37	1,86
H2 = 7,00%					H2 = 7,22%				
450	7,85	23,08	0,84	3,64	455	9,46	26,23	2,64	10,08
435	5,44	19,40	1,17	6,05	440	5,41	18,85	2,13	11,30
420	2,5	15,53	0,84	5,38	425	2,74	16,16	1,52	9,38
H3 = 6,00%					H3 = 6,34%				
450	13,8	24,52	0,52	2,13	450	13,52	25,43	1,81	7,12
435	7,17	20,55	0,98	4,78	435	8,00	18,78	0,18	0,97
420	2,98	17,56	0,34	1,94	420	3,89	13,30	1,48	11,13

Tabela 31: Valores de umidade, coesão e resistência à compressão das séries 3 e 4.

Série 3 (MF = 3,56)					Série 4 (MF = 3,36)				
Traço 1:11					Traço 1:11				
Massa úmida (gramas)	Coesão média (Kg)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Massa úmida (gramas)	Coesão média (Kg)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
H1 = 7,46%					H1 = 7,40%				
460	10,13	20,70	0,79	3,81	465	12,38	16,11	0,36	2,26
445	5,31	15,67	0,51	3,23	450	5,77	15,05	1,23	8,18
430	3,07	12,40	1,57	12,66	435	3,58	11,79	1,45	12,29
H2 = 6,98%					H2 = 6,86%				
460	8,74	22,60	1,51	6,70	460	9,18	19,31	1,74	9,00
445	4,84	17,99	1,05	5,83	445	5,58	15,25	1,73	11,32
430	3,02	14,16	1,35	9,50	430	3,66	11,90	1,94	16,34
H1 = 6,50%					H1 = 6,31%				
450	7,08	16,77	0,65	3,90	455	8,60	16,13	2,46	15,26
435	3,94	13,54	0,58	4,30	440	5,89	13,13	3,30	25,11
420	2,40	13,62	1,56	11,47	425	3,80	12,40	0,80	6,49
Traço 1:9					Traço 1:9				
Massa úmida (gramas)	Coesão média (Kg)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Massa úmida (gramas)	Coesão média (Kg)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
H1 = 7,80%					H1 = 7,52%				
465	11,69	28,43	1,19	4,18	470	12,05	27,57	1,60	5,81
450	5,78	20,06	1,03	5,14	455	6,5	21,97	1,37	6,25
435	3,34	17,16	1,05	6,14	440	3,54	15,85	0,80	5,02
H2 = 6,96%					H2 = 6,83%				
460	10,85	22,87	3,42	14,93	465	12,05	26,12	2,70	10,35
445	5,73	18,37	1,93	10,50	450	7,86	21,97	0,88	4,02
430	3,00	13,74	1,91	13,92	435	3,91	16,15	0,83	5,14
H3 = 6,11%					H3 = 6,13%				
455	11,79	24,63	0,88	3,59	460	11,30	23,66	0,96	4,06
440	5,95	17,83	1,38	7,73	445	7,04	21,92	0,52	2,35
425	3,53	17,10	0,75	4,41	430	3,80	17,10	0,75	4,41
Traço 1:7					Traço 1:7				
Massa úmida (gramas)	Coesão média (Kg)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)	Massa úmida (gramas)	Coesão média (Kg)	Res. Média (MPa)	Sd (MPa)	CV (%)
H1 = 8,04%					H1 = 7,60%				
470	11,01	32,31	1,99	6,15	475	12,96	27,23	7,37	27,08
455	5,78	26,43	1,43	5,40	460	8,50	25,91	2,52	9,73
440	3,56	21,38	0,70	3,26	445	5,07	18,52	0,90	4,88
H2 = 7,22%					H2 = 6,95%				
465	11,21	29,48	2,08	7,06	470	11,46	28,80	4,02	13,96
450	6,61	23,66	0,74	3,11	455	5,38	25,00	0,88	3,54
435	3,61	16,06	4,50	28,02	440	4,68	19,74	1,51	7,65
H3 = 6,40%					H3 = 6,30%				
460	10,60	29,06	4,61	15,85	465	14,08	31,43	4,07	12,95
445	7,23	22,87	1,60	6,99	450	8,70	26,09	3,96	15,18
430	3,81	18,93	0,81	4,27	435	5,01	20,89	0,99	4,74

Para uma melhor visualização dos valores presentes nas Tabelas 30 e 31 mostrar-se-á, na seqüência, uma série de figuras ilustrando os dados destas tabelas.

As figuras das páginas 81, 82 e 83 (Figura 26 a Figura 52), apresentam as características dos concretos tanto no estado fresco quanto endurecido, sob forma matricial, quando são

avaliados os parâmetros de umidade (variação nas linhas); traço (variação nas colunas) e energia de compactação, aqui representada pela variação da massa específica seca (variação entre páginas). O efeito da granulometria pode ser analisado dentro de cada figura (G1 : maior módulo de finura a G4 : menor módulo de finura).

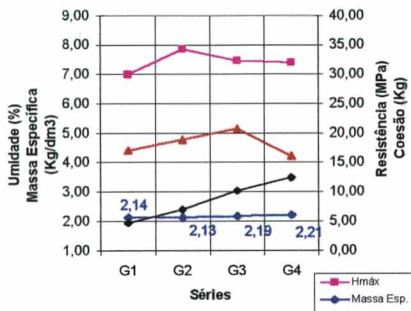


Figura 26 :Hmáx - Dmáx - 1:1

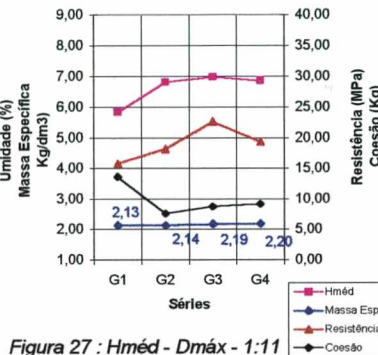


Figura 27 : Hméd - Dmáx - 1:11

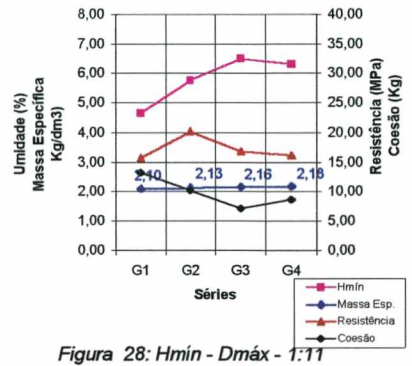


Figura 28: Hmín - Dmáx - 1:11

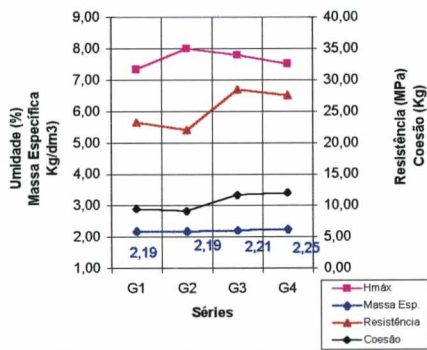


Figura 29: Hmáx - Dmáx - 1:9

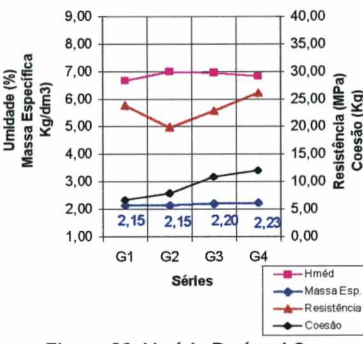


Figura 30 :Hméd - Dmáx - 1:9

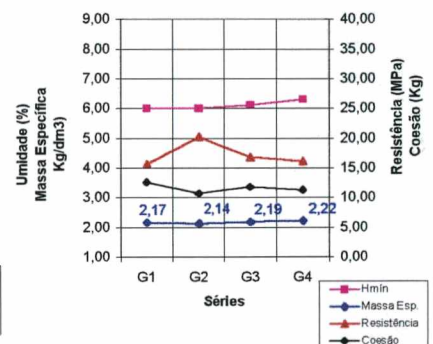


Figura 31 : Hmín - Dmáx - 1:9

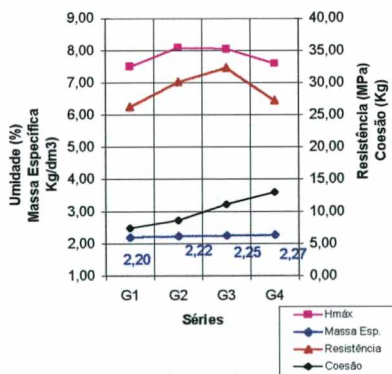


Figura 32: Hmáx - Dmáx - 1:7

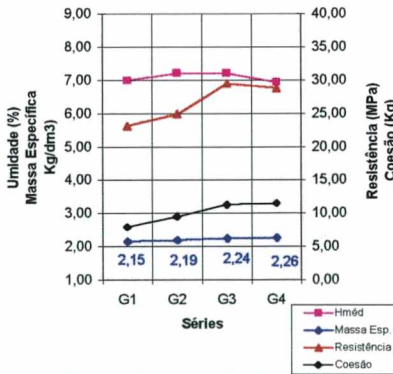


Figura 33: Hméd - Dmáx - 1:7

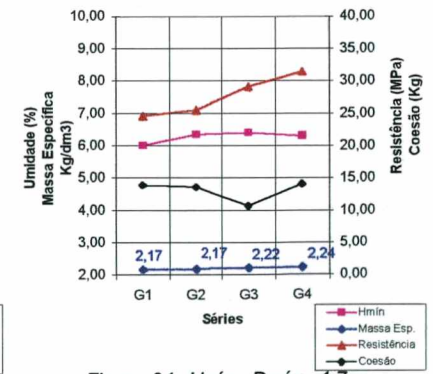


Figura 34 : Hmín - Dmáx - 1:7



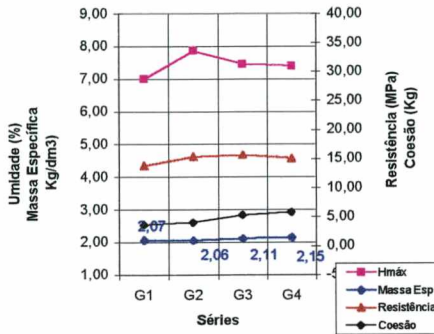


Figura 35: Hmáx - Dméd - 1:11

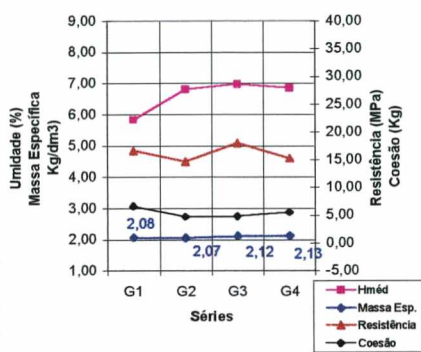


Figura 36: Hméd - Dméd - 1:11

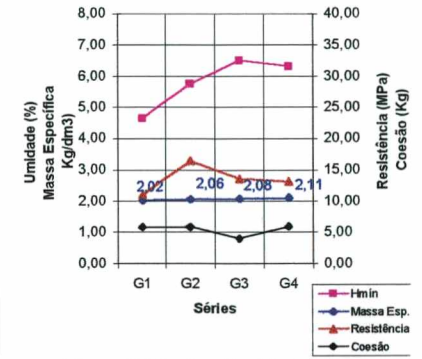


Figura 37: Hmín - Dméd - 1:11

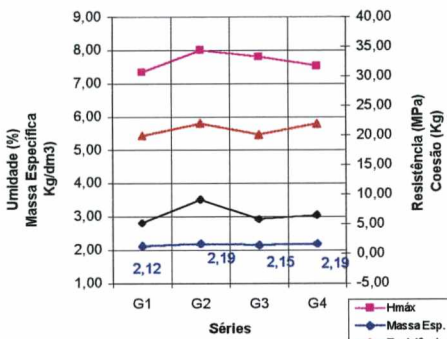


Figura 38: Hmáx - Dméd - 1:9

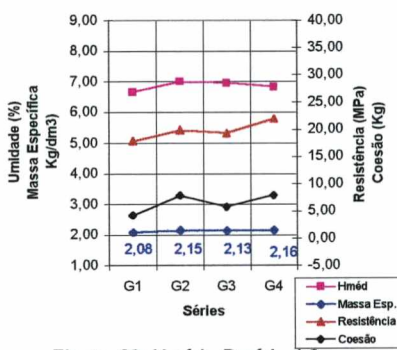


Figura 39: Hméd - Dméd - 1:9

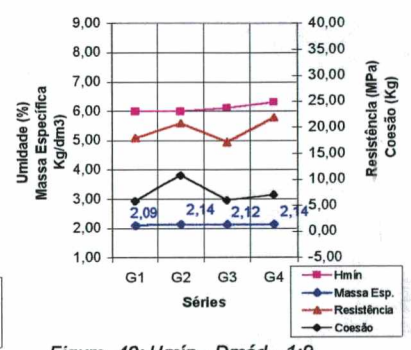


Figura 40: Hmín - Dméd - 1:9

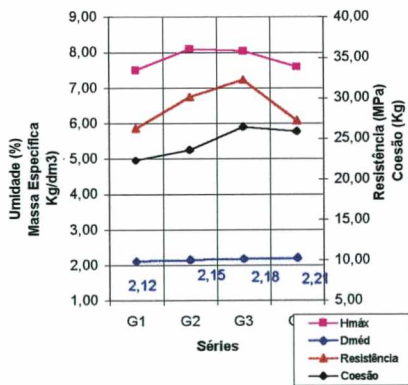


Figura 41: Hmáx - Dméd - 1:7

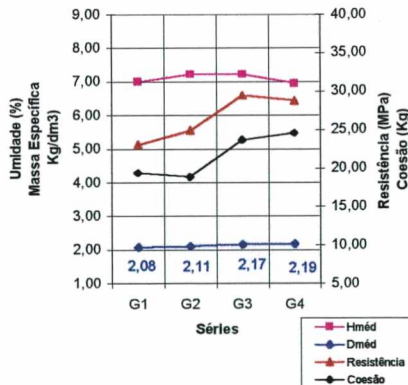


Figura 42: Hméd - Dméd - 1:7

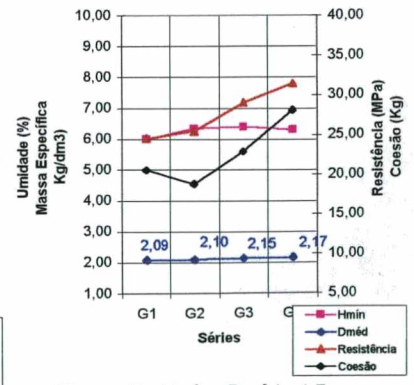


Figura 43: Hmín - Dméd - 1:7

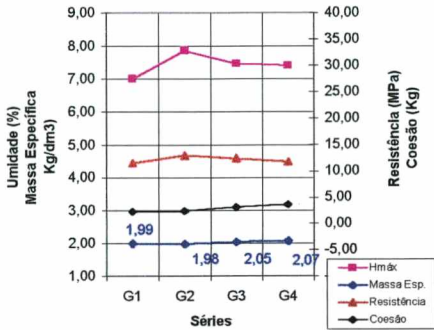


Figura 44: Hmáx - Dmín - 1:11

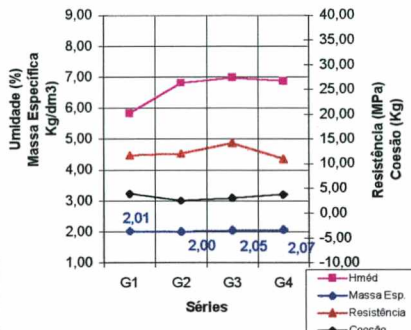


Figura 45: Hméd - Dmín - 1:11

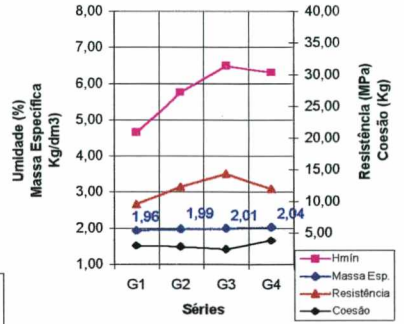


Figura 46: Hmín - Dmín - 1:11

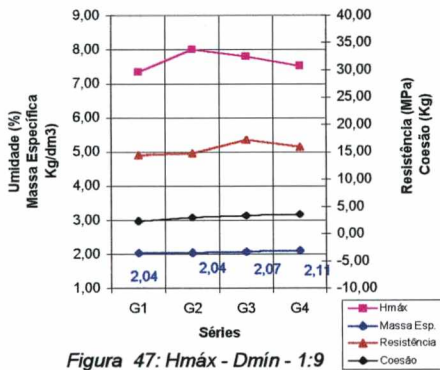


Figura 47: Hmáx - Dmín - 1:9

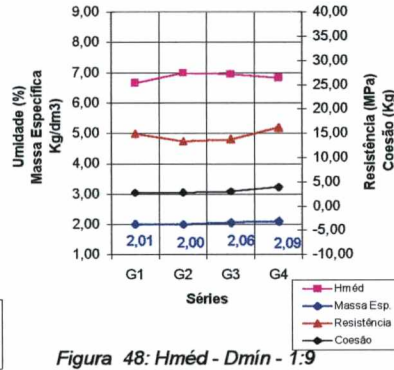


Figura 48: Hméd - Dmín - 1:9

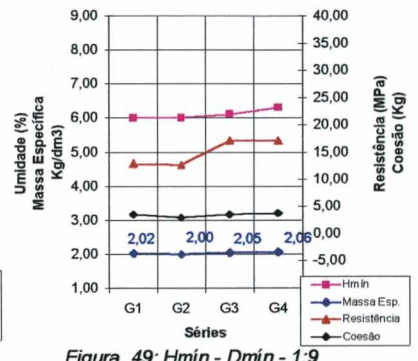


Figura 49: Hmín - Dmín - 1:9

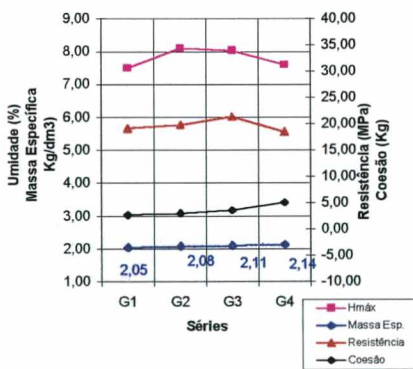


Figura 50: Hmáx - Dmín - 1:7

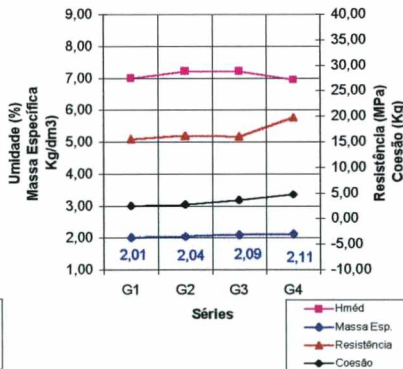


Figura 51: Hméd - Dmín - 1:7

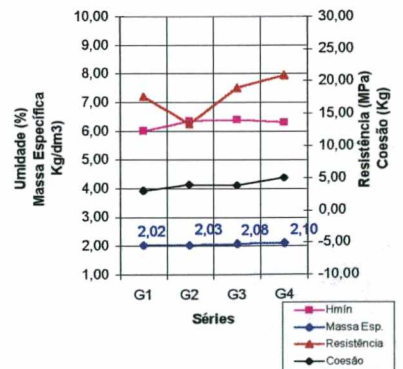


Figura 52: Hmín - Dmín - 1:7



As Figuras 53 a 55 sintetizam partes dos resultados, analisando a variação da resistência, para um dado traço, quando são variados os demais parâmetros.

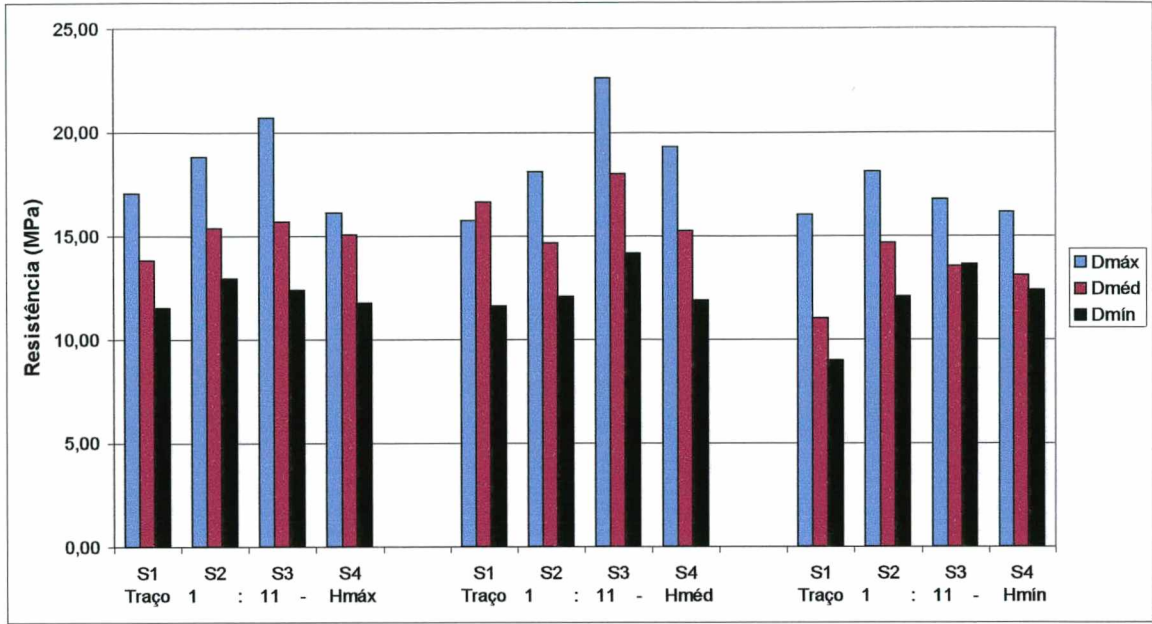


Figura 53 : Gráfico de resistência à compressão dos CPs para o traço 1:11 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.

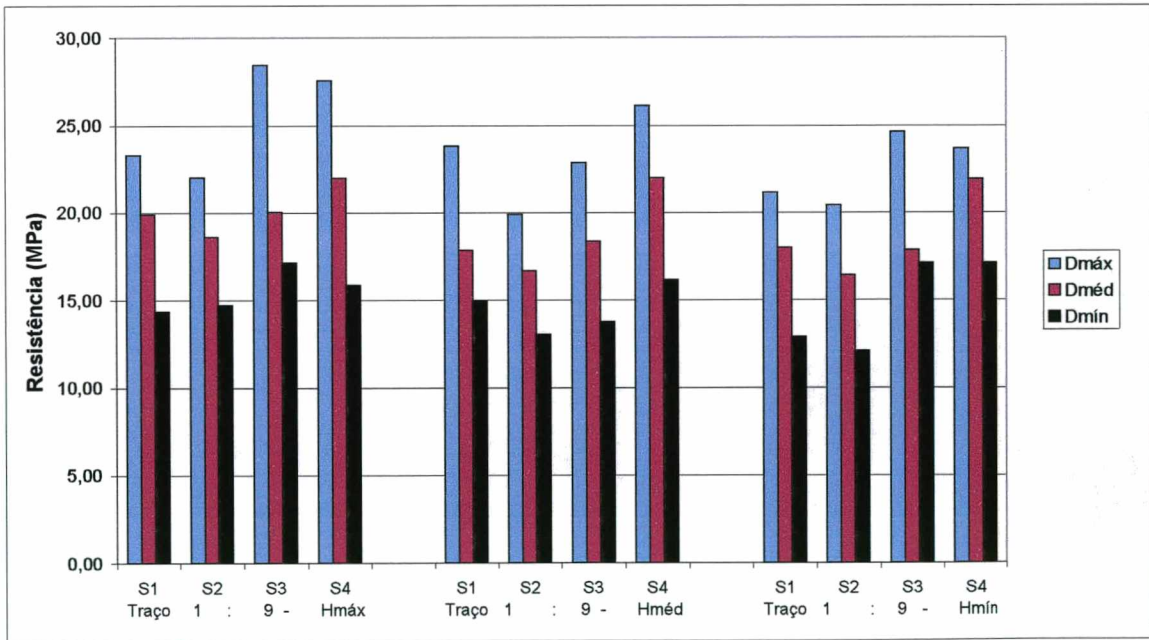


Figura 54 : Gráfico de resistência à compressão dos CPs para o traço 1:9 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.

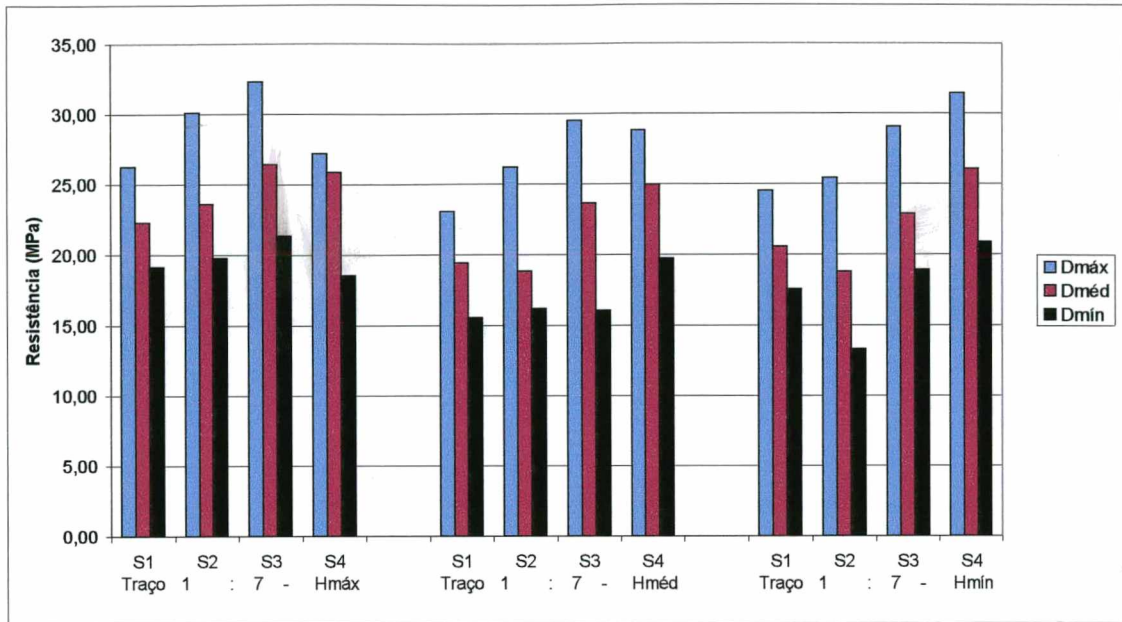


Figura 55 : Gráfico de resistência à compressão dos CPs para o traço 1:7 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.

As Figuras 56 a 58 sintetizam partes dos resultados, analisando a variação da coesão, para um dado traço, quando são variados os demais parâmetros.

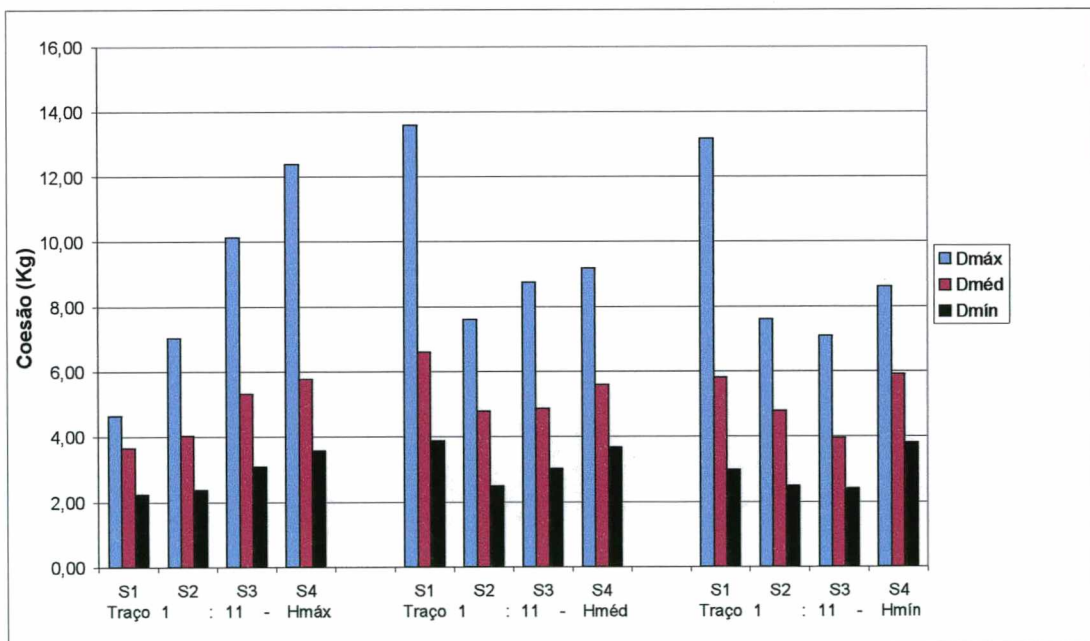


Figura 56 : Gráfico de coesão dos CPs para o traço 1:11 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.

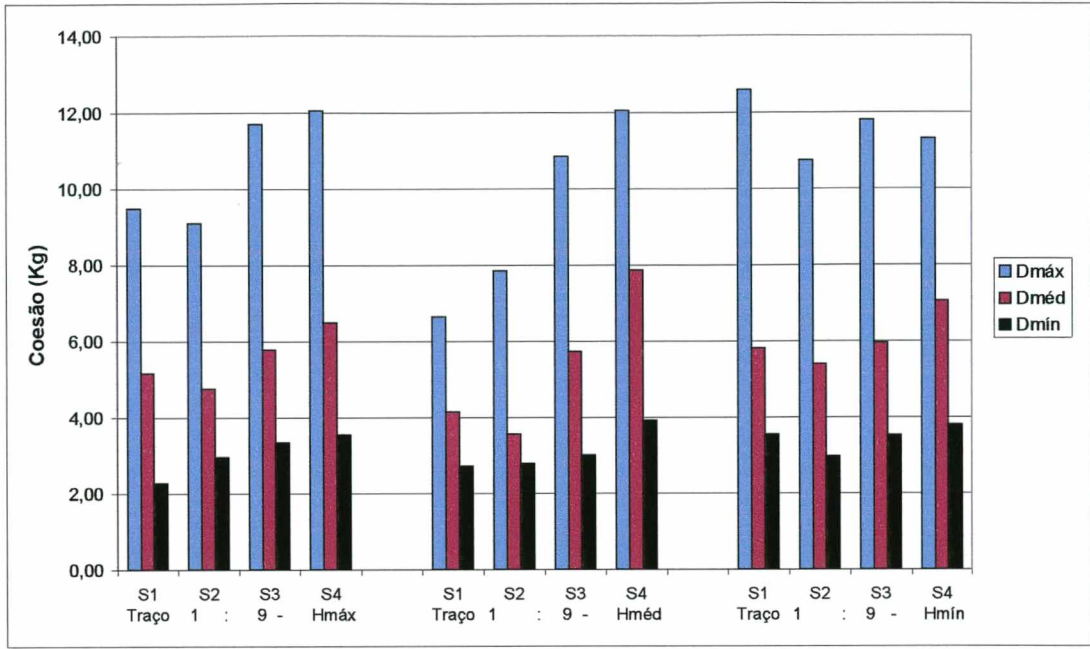


Figura 57 : Gráfico de coesão dos CPs para o traço 1:9 das diferentes séries, unidades e massas específicas confeccionadas.

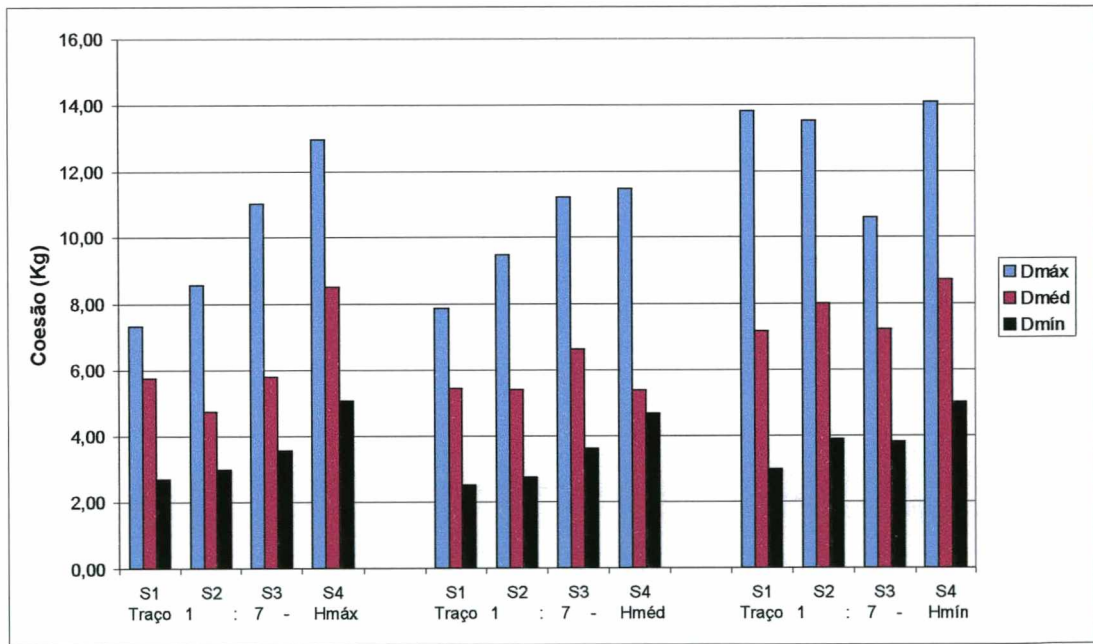


Figura 58 : Gráfico de coesão dos CPs para o traço 1:7 das diferentes séries, unidades e massas específicas confeccionadas.



As Figuras 59 a 61 sintetizam partes dos resultados, analisando a variação da massa específica seca, para um dado traço, quando são variados os demais parâmetros.

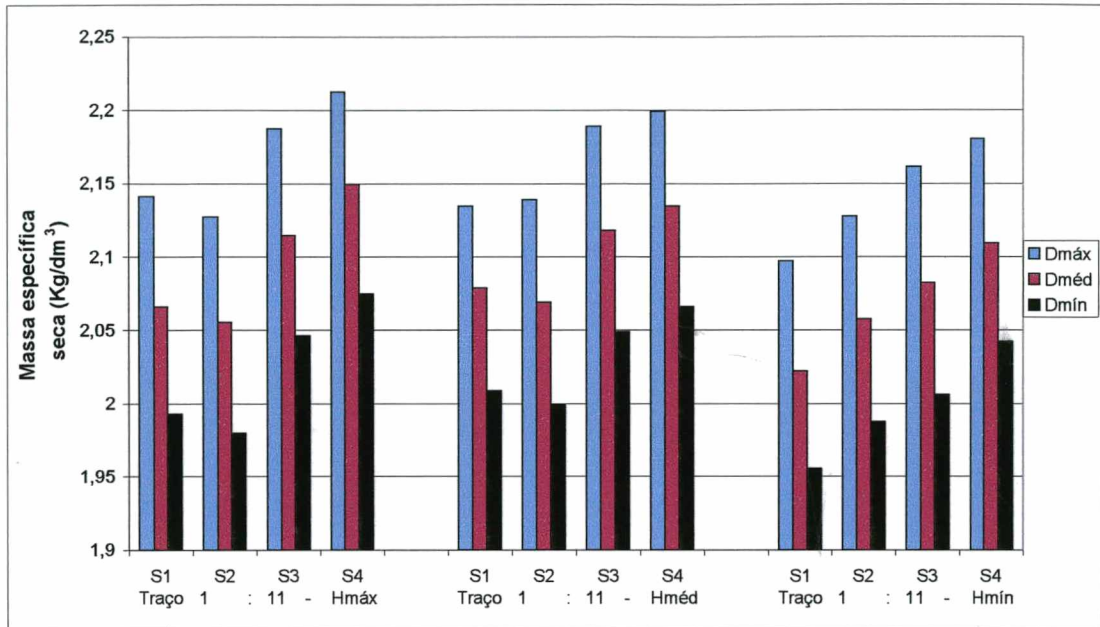


Figura 59 : Gráfico de massa específica seca dos CPs para o traço 1:11 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.

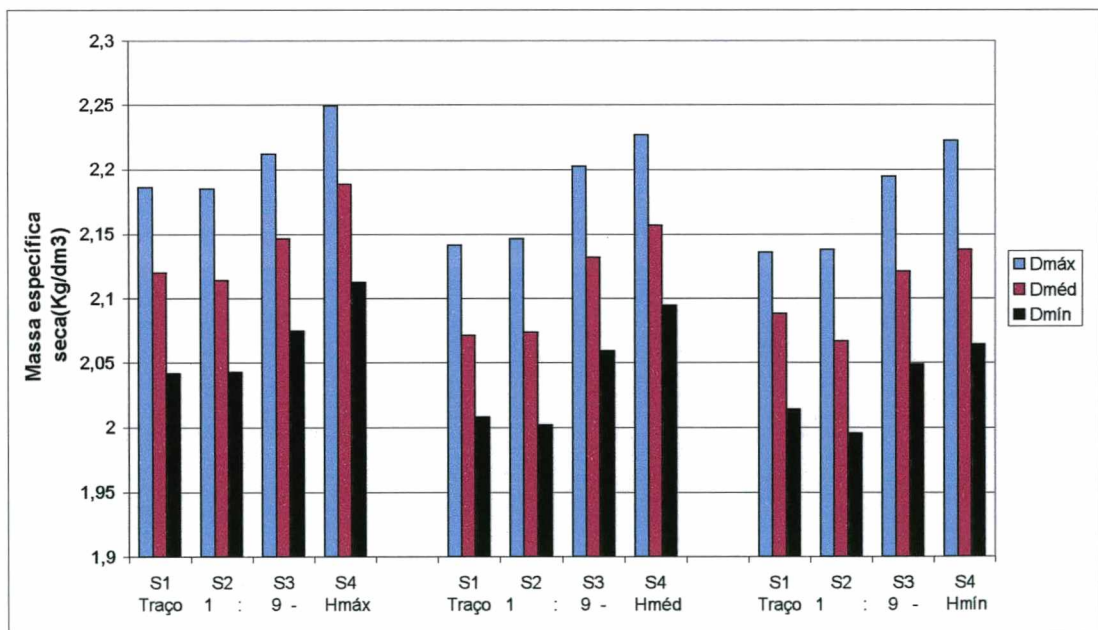


Figura 60 : Gráfico de massa específica seca dos CPs para o traço 1:9 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.

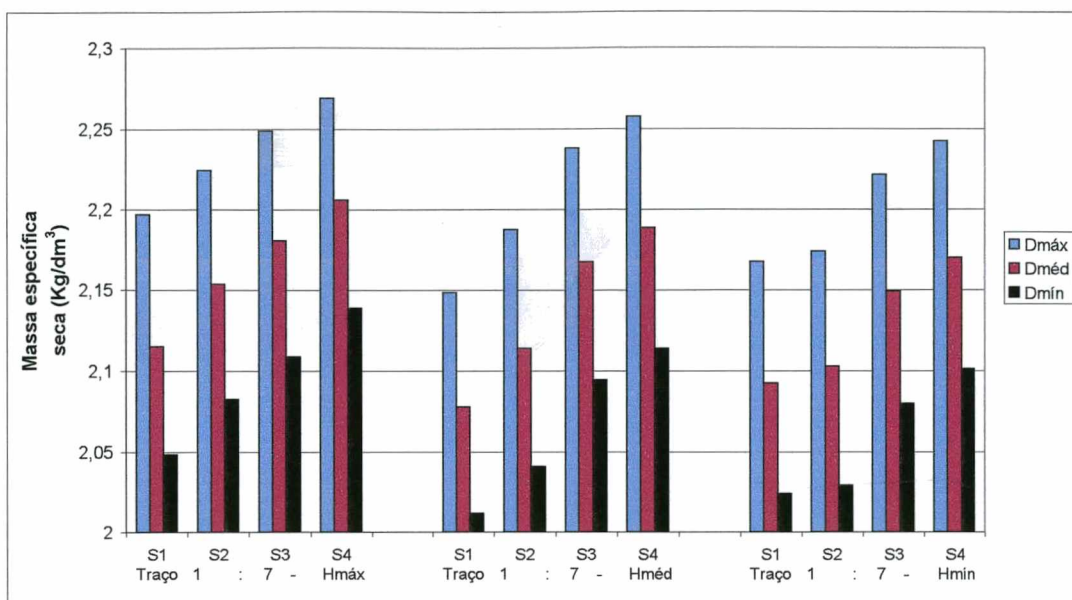


Figura 61 : Gráfico de massa específica seca dos CPs para o traço 1:7 das diferentes séries, umidades e massas específicas confeccionadas.

### 5.3.5 DISCUSSÃO SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS NA SEGUNDA ETAPA DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

#### - Massa específica

Observando as figuras 26 a 52 e 59 a 61, onde estão plotados os valores de massa específica seca (ao ar) dos CPs, verifica-se que houve um crescimento deste parâmetro da série 1 para a série 4 em quase todos os casos. Este aumento de massa específica é sentido também quando avaliado com relação ao aumento de consumo de cimento em uma mesma série. Desta forma, à medida em que as misturas vão tendo seu módulo de finura diminuído e os consumos de cimento aumentados, o volume de vazios vai diminuindo, tornando as misturas mais compactas e densas.

Nas figuras, citadas anteriormente, observa-se que a umidade influenciou nas massas específicas. Quanto maior a umidade utilizada para o mesmo traço, série a energia de compactação (Dmáx, Dmín ou Dméd), maiores as massas específicas atingidas nos CPs. Este fato pode ser explicado pelo aumento da trabalhabilidade das misturas com uma maior incorporação de água. O consumo de água proporciona maior ou menor compactação das

misturas e, como no caso da pesquisa foi fixada a energia de compactação máxima, para as misturas mais úmidas obteve-se, com a mesma energia, maior massa incorporada aos CPs, resultando em maiores massas específicas atingidas.

Portanto, os fatores influentes na massa específica dos artefatos são a umidade, a graduação das misturas e a capacidade de compactação dos maquinários envolvidos no processo, uma vez que estes últimos influenciam diretamente nas massas específicas encontradas para uma mesma mistura.

#### *- Resistência à compressão*

As Figuras 26 a 52 mostram uma íntima relação entre massa específica e resistência. Massas específicas maiores conduzem a resistências superiores, como era de se esperar.

Em trabalhos realizados anteriormente, utilizando a metodologia do menor volume de vazios, chegou-se a misturas que utilizavam até 25% de areia fina. Embora estas misturas possuíssem maior compactidade, limitava-se este consumo, em torno de 10%, pois a areia fina poderia prejudicar a resistência dos artefatos, por demandar maior consumo de água e por ser um agregado que ajuda muito pouco nas resistências mecânicas. Este fato foi verificado nas misturas da pesquisa com menores consumos de cimento (traços 1:11-ver Figura 53). Nestes traços, as resistências cresceram até as séries 3 e tiveram uma pequena queda nas séries 4, como se esperava, apesar do sistemático aumento da massa específica.

Porém, quando utilizou-se um maior consumo de cimento (traços 1:9 e 1:7), as resistências, com exceção de alguns casos (séries 4 com  $H_{máx}$  dos traços 1:9 e 1:7 das Figuras 54 e 55), observadas nas séries 4 foi superior a todas as outras. A explicação para este fato poderia ser que a maior quantidade de finos ajuda, primeiro, na diminuição da porosidade, elevando a massa específica dos concretos. Em segundo lugar, com maior consumo de cimento, este acaba envolvendo melhor os grãos, proporcionando uma melhora na ligação dos agregados pelo aumento da quantidade de pasta de cimento. No caso contrário, quando há excesso de finos e pouca pasta de cimento (traços 1:11), os agregados finos (areias finas), até aumentam a massa específica dos concretos, mas como a pasta de cimento não é suficiente para envolver

estes grãos, a ligação entre eles fica prejudicada, interferindo de forma negativa nas resistências dos concretos.

Observou-se nas Figuras 54 e 55, naquelas séries que utilizaram maior umidade ( $H_{m\acute{a}x}$ ), que os CPs tiveram o mesmo comportamento observado nos traços 1:11 (ver Figura 53), ou seja, foi observado uma queda no crescimento da resistência da série 3 para a 4, diferente do comportamento apresentado nas umidades médias e baixas ( $H_{méd}$  e  $H_{mín}$ ), onde o crescimento de resistência, no sentido série 1 para série 4, foi observado em quase todos os casos. Na moldagem dos CPs foi constatado que, nestes casos, ocorria uma segregação da nata de cimento das partículas mais finas com os golpes aplicados. A alta umidade, aliada a maior quantidade de finos devido ao maior consumo de cimento, pode ter provocado este problema. Isto pode explicar a causa da diminuição da resistência destes CPs em particular.

Os valores encontrados de resistência em função da variação de umidade mostram uma tendência de aumento das resistências com o aumento das umidades. Entretanto, ocorreu, em alguns casos, que umidades mais baixas resultaram em resistências superiores à umidades maiores.

#### - *Coesão*

O ensaio de coesão apresentou resultados que mostram que o teste pode ser sensível o suficiente para quantificar de forma satisfatória esta importante propriedade das misturas. Os resultados dos valores de peso obtidos do ensaio mostram que existe uma variação razoável entre misturas com muita e pouca coesão e que a avaliação qualitativa da coesão pelo “ponto de pelota” pôde ser quantificada através do mesmo.

Para as misturas pouco coesivas encontraram-se valores em torno de 2 a 3 kgf. Estas misturas foram aquelas onde utilizou-se a menor massa específica, menor consumo de cimento e séries de módulos de finura superiores. Como era esperado, misturas contendo poucos finos e pouco compactas, foram as que menos suportaram o carregamento e romperam à compressão diametral com menores valores de peso. Para as misturas que possuíram maior quantidades de finos, maiores consumos de cimento e maiores massas específicas, observou-se que os valores do ensaio alcançaram de 14 a 15kgf.

Para as diferentes séries e diferentes consumos de cimento observa-se um crescimento da coesão quando aumentada a quantidade de finos das misturas. As figuras 56, 57 e 58 mostram este comportamento.

Analisando os dados do ensaio e as misturas envolvidas no estudo, pode-se dizer que misturas que apresentam valores de coesão a partir de 6kgf são misturas adequadas para serem utilizadas na produção de blocos de concreto. Com estes valores, os concretos possuem coesão suficiente para que não ocorram fissuras nem esboroamento dos blocos durante a produção. Estas coesões permitem a moldagem, transporte e armazenamento das peças sem problemas de perda devido às quebras decorrentes de um material pouco coeso.

#### - *Textura*

A textura é uma propriedade ligada a aparência dos blocos. Adequar a textura para um produto, depende não somente de sua finalidade, como também do mercado comprador deste produto. No Brasil, os consumidores de blocos de concreto estão mais acostumados a texturas mais fechadas nos blocos de concreto e isto acaba fazendo com que as empresas produtoras busquem utilizar agregados e composições de menor módulo de finura para atender seus clientes. Mesmo assim, normalmente utiliza-se textura mais grosseira para a produção de blocos estruturais e texturas mais fechadas para blocos de vedação. Isto está ligado, também, a utilização final do produto. Blocos estruturais, por terem normalmente revestimento, deveriam possuir textura mais grosseira para melhorar a sua aderência enquanto que blocos de vedação, por ficarem aparentes, deveriam ter texturas mais fechadas que apresentam melhores acabamentos.

Neste trabalho, as texturas foram avaliadas qualitativamente. Quanto a esta propriedade, as misturas das séries 1 e 2 apresentaram textura grosseira, sendo que as mesmas apresentavam textura mais fechada nos CPs 5x10 com o maior consumo de cimento. Já as séries 3 e 4 apresentaram texturas mais finas mesmo com baixos consumos de cimento, devido à diminuição do módulo de finura proporcionado pela inclusão da areia fina. O próximo item (5.4) estão apresentados testes estatísticos que mostram as influências dos parâmetros acima citados de acordo com a confiabilidade estipulada.



## 5.4 TESTES ESTATÍSTICOS

O teste estatístico adotado para este trabalho foi a comparação múltipla de médias pelo teste ANOVA (análise de grupos com níveis fixos). Foram comparados isoladamente os traços utilizadas e a influência dos parâmetros de umidade, granulometria(séries), coesão e massa específica. A seguir, uma pequena explicação sobre o teste estatístico realizado.

### *Explicação geral do teste ANOVA*

Para um melhor entendimento da análise dos testes estatísticos executados, far-se-á um breve comentário explicando o funcionamento do teste ANOVA.

O teste ANOVA proporciona a avaliação da influência das variáveis, quando avaliadas isoladamente (uma a uma) ou em conjunto (duas a duas e três a três). Com ele pode-se afirmar, dependendo da confiabilidade que se deseja dar ao teste, se as variáveis analisadas tem ou não influência dentro do estudo realizado.

A análise estatística gera dois valores resultantes que são o F e o  $F\alpha$ . O valor F é calculado a partir dos valores de variáveis presentes no estudo e  $F\alpha$  depende do nível de confiabilidade desejada (neste estudo utilizou-se uma confiabilidade de 95%). De posse destes valores, deve-se proceder uma comparação entre os mesmos. Se  $F > F\alpha$ , pode-se afirmar que, com a confiabilidade fixada no estudo, que o parâmetro avaliado influi significativamente. Se  $F < F\alpha$ , pode-se afirmar o inverso, ou seja, o parâmetro não influi significativamente. Quanto maior a diferença entre F e  $F\alpha$ , maior é a influência do parâmetro analisado.

Quando são avaliadas as variáveis isoladamente, para ver seu nível de significância, diz-se que esta é uma análise de 1ª ORDEM e indica que a variação do parâmetro influi ou não na propriedade analisada.

Na análise de 2ª ORDEM, os parâmetros são avaliados dois a dois e indica que, quando fixado um parâmetro, variando-se o outro, pode-se ou não encontrar tendências diferentes. Como exemplo, na Tabela 33, quando executado o teste estatístico de granulometria x

umidade, com  $F(10,17) > F_{\alpha}(2,186)$ , pode-se afirmar com 95% de confiança que para uma dada granulometria pode-se ter uma determinada umidade que leva a máxima resistência e para outra granulometria pode não ser esta a umidade ideal para conseguir também a máxima resistência. A Figura 53 mostra claramente este efeito. Para a granulometria da série 4 (série 4 = granulometria 4) a umidade que proporciona a maior resistência é a umidade média (Hméd). Já para a granulometria da série 2, a umidade que proporciona a máxima resistência é a umidade máxima (Hmáx).

Para a análise de 3ª ORDEM, um dos parâmetros é confrontado sempre com um outro par de parâmetros, que, quando variados, pode-se, da mesma forma que a análise de 2ª ORDEM, encontrar ou não tendências diferentes.

Nas Tabelas 33, 34 e 35 estão apresentados os testes estatísticos realizados com dados de resistência dos CPs 5x10 para avaliar, isoladamente, os traços 1:11, 1:9, 1:7, respectivamente, com relação à influência das variáveis granulometria, massa específica e umidade.

A seguir será apresentado uma legenda dos termos utilizados nas tabelas que mostram os testes estatísticos realizados.

*Tabela 32: Legenda das tabelas utilizadas nos testes estatísticos*

Sigla utilizada	Descrição	Sigla utilizada	Descrição
S1/G1	Série 1 / Granulometria 1	H	Umidade
D Max	Massa específica máxima	G	Granulometria
SQT	Soma dos quadrados total	D	Massa específica máxima
SQ	Soma dos quadrados		
SQR	Soma dos quadrados residual ou dentro dos grupos		
GDL	Graus de liberdade		
MQ	Médias quadradas		

Tabela 33: Teste ANOVA para valores de resistência - traço 1:11

Traço 1:11														
S1/G1			S2/G2			S3/G3			S4/G4			totais		
	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín		
Dmáx	17,04	16,67	15,88	17,70	16,45	21,27	19,65	20,51	16,96	16,03	18,01	13,98		
	17,99	14,73	17,04	19,58	19,26	19,38	20,88	23,55	17,52	15,71	21,59	18,41		
	16,25	15,91	15,52	18,36	18,09	19,80	21,56	22,47	16,64	16,59	17,89	14,02		
	16,86	15,69	15,64	19,61	18,65	20,36	20,71	23,86	15,96	16,08	19,73	18,11		
T. j	68,14	63,00	64,08	75,24	72,45	80,82	82,80	90,39	67,09	64,42	77,22	64,52	870,17	
$\Sigma (T. j)^2$	1162,36	994,19	1027,95	1417,90	1316,59	1634,95	1715,92	2049,45	1126,50	1037,91	1499,85	1058,85	16042,41	
Dméd	14,44	16,23	10,26	15,35	14,17	16,55	15,15	19,41	13,71	14,00	13,51	8,59		
	12,95	17,04	11,80	15,74	14,71	16,42	16,13	16,94	14,22	15,15	15,81	12,87		
	14,29	16,55	10,23	15,52	14,44	15,93	15,32	18,04	12,83	16,74	14,27	15,00		
	13,51	16,81	11,85	14,81	15,30	16,72	16,08	17,57	13,41	14,29	17,40	16,03		
T. j	55,20	66,62	44,13	61,41	58,62	65,62	62,68	71,96	54,17	60,19	60,99	52,50	714,09	
$\Sigma (T. j)^2$	763,17	1110,04	489,36	943,28	859,77	1076,84	983,06	1297,83	734,49	910,15	939,00	721,69	10828,67	
Dmín	12,48	11,04	9,57	12,85	12,80	11,85	12,78	15,96	11,33	11,72	14,76	12,04		
	10,89	12,16	9,25	13,61	12,48	12,65	12,38	14,07	14,29	9,86	11,48	12,02		
	11,58	12,04	9,89	13,05	11,60	12,61	10,33	12,70	14,02	13,34	10,55	13,61		
	11,11	11,28	7,32	12,24	11,41	12,02	14,12	13,90	14,83	12,21	10,82	11,94		
T. j	46,06	46,53	36,03	51,74	48,29	49,12	49,61	56,64	54,48	47,14	47,61	49,61	582,87	
$\Sigma (T. j)^2$	531,96	542,16	328,52	670,27	584,37	603,78	622,76	807,38	749,43	561,86	577,92	617,30	7197,70	
T	169,40	176,15	144,24	188,39	179,36	195,56	195,10	218,99	175,74	171,75	185,82	166,63		
N =	144,00												T..	2167,13

$\Sigma x_{ij}^2 = 34068,78$   
 $T..^2 = 4696456,98$

$SQT = 1454,49$

$SQ_{(granulometria)} = 160,65$

$SQ_{(umidade)} = 63,78$

$SQ_{(massa\ especifica)} = 861,94$

$SQ_{(G \times H)} = 89,04$

$SQ_{(G \times D)} = 17,23$

$SQ_{(H \times D)} = 16,05$

$SQ_{(H \times D \times G)} = 88,22$

$SQR = 157,58$

	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha$	
Granulometria / Séries	160,65	3	53,55	36,70	2,696	Influencia significativamente
Umidade	63,78	2	31,89	21,86	3,086	Influencia significativamente
Massa específica	861,94	2	430,97	295,37	3,086	Influencia significativamente
G x H	89,04	6	14,84	10,17	2,186	Influencia significativamente
G x D	17,23	6	2,87	1,97	2,186	Não influencia significativamente
H x D	16,05	4	4,01	2,75	2,466	Influencia significativamente
H x D x G	88,22	12	7,35	5,04	1,848	Influencia significativamente
Residual	157,58	108	1,46			
Total	1454,49	143	10,17			



Tabela 34: Teste ANOVA para valores de resistência - traço 1:9

Traço 1:9													
	S1/G1			S2/G2			S3/G3			S4/G4			
	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	totais
Dmáx	23,08	23,52	20,58	22,22	18,94	20,73	29,13	23,94	23,84	28,25	28,15	22,71	
	23,08	24,16	21,73	22,59	21,10	21,07	29,69	20,27	25,75	26,92	24,35	23,11	
	23,50	24,48	22,42	21,54	19,95	20,68	27,80	27,24	24,01	29,40	28,69	23,96	
	23,55	23,18	19,73	21,71	19,53	19,12	27,09	20,05	24,92	25,70	23,28	24,87	
T. j	93,20	95,33	84,47	88,06	79,52	81,60	113,72	91,49	98,52	110,26	104,46	94,64	1135,29
$\Sigma (T. j)^2$	2171,96	2273,18	1787,94	1939,54	1583,44	1667,05	3237,04	2127,67	2428,68	3047,25	2750,05	2242,12	27255,91
Dméd	19,48	17,16	18,53	19,09	17,38	16,30	20,46	19,78	17,23	20,71	22,13	21,83	
	19,26	18,38	17,89	18,48	16,59	16,99	21,00	15,52	16,86	20,85	21,76	21,42	
	20,24	19,31	17,52	18,60	15,74	15,81	18,60	19,04	17,35	23,08	23,06	22,64	
	20,61	16,50	17,97	18,26	16,86	16,45	20,17	19,14	19,87	23,23	20,93	21,78	
T. j	79,60	71,35	71,91	74,43	66,57	65,55	80,23	73,48	71,32	87,87	87,87	87,67	917,85
$\Sigma (T. j)^2$	1585,07	1277,34	1293,29	1385,38	1109,46	1074,79	1612,49	1360,87	1277,44	1935,89	1932,56	1922,43	17767,01
Dmín	13,90	15,49	13,90	14,88	12,12	12,51	16,11	14,98	16,89	16,59	15,76	18,19	
	16,23	15,54	13,56	14,91	13,44	10,43	16,72	11,77	17,55	15,25	16,99	17,21	
	14,10	14,12	15,35	14,76	13,46	12,85	17,26	15,74	16,13	15,08	15,18	16,15	
	13,19	14,59	8,74	14,32	13,17	12,48	18,58	12,48	17,82	16,47	16,67	16,91	
T. j	57,42	59,75	51,55	58,86	52,18	48,27	68,66	54,97	68,39	63,39	64,59	68,46	716,48
$\Sigma (T. j)^2$	829,41	893,85	689,00	866,49	681,97	586,09	1181,71	766,49	1170,86	1006,56	1045,10	1173,79	10891,31
T	230,22	226,43	207,92	221,36	198,28	195,42	262,60	219,94	238,22	261,53	256,92	250,78	
N =	144,00											T..	2769,62

$$\Sigma x i j^2 = 55914,23$$

$$T .^2 = 7670803,48$$

$$SQT = 2644,76$$

$$SQ_{(granulometria)} = 373,98$$

$$SQ_{(umidade)} = 87,03$$

$$SQ_{(Massa\ especifica)} = 1827,94$$

$$SQ_{(G \times H)} = 51,61$$

$$SQ_{(G \times D)} = 48,75$$

$$SQ_{(H \times D)} = 18,68$$

$$SQ_{(H \times D \times G)} = 55,50$$

$$SQR = 181,26$$

	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha$	
Granulometria / Séries	373,98	3	124,66	74,28	2,696	influencia significativamente
Umidade	87,03	2	43,51	25,93	3,086	influencia significativamente
Massa específica	1827,94	2	913,97	544,57	3,086	influencia significativamente
G x H	51,61	6	8,60	5,13	2,186	influencia significativamente
G x D	48,75	6	8,12	4,84	2,186	influencia significativamente
H x D	18,68	4	4,67	2,78	2,466	influencia significativamente
H x D x G	55,50	12	4,63	2,76	1,848	influencia significativamente
Residual	181,26	108	1,68			
Total	2644,76	143	18,49			

Tabela 35: Teste ANOVA para valores de resistência - traço 1:7

Traço 1:7													
S1/G1			S2/G2			S3/G3			S4/G4			totais	
	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	
Dmáx	25,82	23,25	24,87	30,15	24,79	23,52	34,10	31,62	23,23	33,41	27,58	34,93	
	27,80	21,86	23,77	29,69	25,28	24,26	32,38	29,15	27,51	26,29	32,53	28,61	
	25,99	23,74	24,87	30,86	24,67	26,80	33,24	26,75	32,80	17,18	23,67	34,93	
	25,41	23,47	24,60	29,81	30,18	27,14	29,52	30,40	32,70	32,04	31,40	27,27	
T. j	105,03	92,32	98,10	120,52	104,93	101,72	129,23	117,93	116,24	108,92	115,18	125,73	1335,85
$\Sigma (T. j)^2$	2761,01	2133,02	2406,70	3632,08	2773,47	2596,69	4187,15	3489,57	3441,36	3128,95	3365,32	4001,93	37917,25
Dméd	23,33	18,87	20,34	23,35	17,35	18,99	28,02	23,67	22,20	22,47	24,67	27,56	
	23,59	20,29	20,09	24,77	20,98	18,82	25,41	23,23	24,16	27,54	26,31	27,66	
	21,95	20,44	19,78	25,04	16,71	18,55	25,06	23,06	24,21	25,60	24,60	20,22	
	20,32	17,99	21,98	21,27	20,36	18,75	27,24	24,70	20,93	28,02	24,40	28,91	
T. j	89,19	77,59	82,19	94,43	75,41	75,12	105,74	94,65	91,49	103,63	99,98	104,34	1093,75
$\Sigma (T. j)^2$	1995,52	1509,14	1691,70	2238,11	1435,12	1410,73	2801,15	2241,21	2100,39	2703,91	2501,56	2768,80	25397,35
Dmín	19,19	16,52	17,99	20,17	15,57	12,61	20,71	19,58	18,33	19,62	21,37	21,91	
	18,99	14,54	17,52	19,41	16,64	15,35	22,03	10,99	20,05	17,62	19,48	20,63	
	19,04	15,79	17,57	20,05	14,44	13,34	21,93	17,60	18,33	17,97	18,38	19,63	
	19,31	15,27	17,16	19,56	17,99	11,92	20,85	0,00	18,99	18,87	0,00	21,39	
T. j	76,54	62,12	70,25	79,18	64,64	53,21	85,52	48,17	75,70	74,08	59,23	83,56	832,20
$\Sigma (T. j)^2$	1464,52	966,82	1233,97	1567,77	1051,51	714,42	1829,83	813,88	1434,74	1374,37	1174,03	1748,55	15374,40
T	270,75	232,03	250,54	294,13	244,98	230,05	320,49	260,74	283,43	286,63	274,40	313,63	
N =	144,00											T..	3261,80

$$\Sigma x_{ij}^2 = 78689,00$$

$$T. .^2 = 10639341,45$$

$$SQT = 4804,68$$

$$SQ_{(granulometria)} = 331,44$$

$$SQ_{(umidade)} = 269,05$$

$$SQ_{(Massa\ especifica)} = 2643,66$$

$$SQ_{(G \times H)} = 199,59$$

$$SQ_{(G \times D)} = 151,16$$

$$SQ_{(H \times D)} = 51,86$$

$$SQ_{(H \times D \times G)} = 93,86$$

$$SQR = 1064,08$$

	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha$	
Granulometria / Séries	331,44	3	110,48	11,21	2,696	influencia significativamente
Umidade	269,05	2	134,52	13,65	3,086	influencia significativamente
Massa específica	2643,66	2	1321,83	134,16	3,086	influencia significativamente
G x H	199,59	6	33,27	3,38	2,186	influencia significativamente
G x D	151,16	6	25,19	2,56	2,186	influencia significativamente
H x D	51,86	4	12,96	1,32	2,466	não influencia significativamente
H x D x G	93,86	12	7,82	0,79	1,848	não influencia significativamente
Residual	1064,08	108	9,85			
Total	4804,68	143	33,60			

- Análise dos resultados do teste estatístico realizado nas tabelas 33, 34, 35.

Na análise de 1ª ORDEM (variáveis isoladas), houve, para todos os casos, influência significativa das variáveis granulometria, umidade e massa específica. Dentre as três variáveis, a que mais influenciou nas resistências foi a massa específica, ou seja, quando comparado  $F$  com  $F_{\alpha}$ , as diferenças maiores ocorreram neste parâmetro.

Na análise de 2ª ORDEM (variáveis analisadas duas a duas), os únicos parâmetros que não influenciaram significativamente foram granulometria e massa específica para o traço 1:11 e umidade e massa específica para o traço 1:7. Para exemplificar a situação do traço 1:11, pode-se ver na Figura 59 que a massa específica para quase todos os casos desta figura foram crescentes quando diminuiu-se o módulo de finura das séries (S1 para S4). Já no segundo caso, umidade e massa específica para o traço 1:7, pode-se ver que na Figura 61 as umidades maiores apresentaram, em todos os casos, massas específicas maiores.

Para os efeitos de 3ª ORDEM (variáveis avaliadas três a três), apenas o traço 1:7 não apresentou influência significativa quando testadas as três variáveis conjuntas.

Na Tabela 36 está apresentado o teste estatísticos realizados com dados de resistência dos CPs 5x10 para avaliar, conjuntamente, os traços 1:11, 1:9, 1:7, com relação à influência das variáveis granulometria, traço e umidade, utilizando a massa específica média para tal.



Tabela 36: Teste ANOVA para valores de resistência - traços 1:11, 1:9 e 1:7(Dméd)

Massa específica média (Dméd)													
S1/G1			S2/G2			S3/G3			S4/G4			totais	
Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín		
Traço 1:11	14,44	16,23	10,26	15,35	14,17	16,55	15,15	19,41	13,71	14,00	13,51	8,59	
	12,95	17,04	11,80	15,74	14,71	16,42	16,13	16,94	14,22	15,15	15,81	12,87	
	14,29	16,55	10,23	15,52	14,44	15,93	15,32	18,04	12,83	16,74	14,27	15,00	
	13,51	16,81	11,85	14,81	15,30	16,72	16,08	17,57	13,41	14,29	17,40	16,03	
T. j	55,20	66,62	44,13	61,41	58,62	65,62	62,68	71,96	54,17	60,19	60,99	52,50	714,09
$\Sigma(T. j)^2$	763,17	1110,04	489,36	943,28	859,77	1076,84	983,06	1297,83	734,49	910,15	939,00	721,69	10828,67
Traço 1:9	19,48	17,16	18,53	19,09	17,38	16,30	20,46	19,78	17,23	20,71	22,13	21,83	
	19,26	18,38	17,89	18,48	16,59	16,99	21,00	15,52	16,86	20,85	21,76	21,42	
	20,24	19,31	17,52	18,60	15,74	15,81	18,60	19,04	17,35	23,08	23,06	22,64	
	20,61	16,50	17,97	18,26	16,86	16,45	20,17	19,14	19,87	23,23	20,93	21,78	
T. j	79,60	71,35	71,91	74,43	66,57	65,55	80,23	73,48	71,32	87,87	87,87	87,67	917,85
$\Sigma(T. j)^2$	1585,07	1277,34	1293,29	1385,38	1109,46	1074,79	1612,49	1360,87	1277,44	1935,89	1932,56	1922,43	17767,01
Traço 1:7	23,33	18,87	20,34	23,35	17,35	18,99	28,02	23,67	22,20	22,47	24,67	27,56	
	23,59	20,29	20,09	24,77	20,98	18,82	25,41	23,23	24,16	27,54	26,31	27,66	
	21,95	20,44	19,78	25,04	16,71	18,55	25,06	23,06	24,21	25,60	24,60	20,22	
	20,32	17,99	21,98	21,27	20,36	18,75	27,24	24,70	20,93	28,02	24,40	28,91	
T. j	89,19	77,59	82,19	94,43	75,41	75,12	105,74	94,65	91,49	103,63	99,98	104,34	1093,75
$\Sigma(T. j)^2$	1995,52	1509,14	1691,70	2238,11	1435,12	1410,73	2801,15	2241,21	2100,39	2703,91	2501,56	2768,80	25397,35
T	223,98	215,56	198,23	230,27	200,60	206,28	248,65	240,08	216,98	251,69	248,85	244,51	

N = 144

T.. 2725,69

$\Sigma x_{ij}^2 = 53993,03$

$T..^2 = 7429405,34$

SQT = 2399,94

$SQ_{(granulometria)} = 236,20$

$SQ_{(umidade)} = 82,11$

$SQ_{(traço)} = 1504,19$

$SQ_{(G \times H)} = 34,86$

$SQ_{(G \times T)} = 182,17$

$SQ_{(H \times T)} = 73,99$

$SQ_{(H \times T \times G)} = 71,34$

SQR = 215,07

	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha$	
Granulometria	236,20	3	78,73	39,54	2,696	Influencia significativamente
Umidade	82,11	2	41,06	20,62	3,086	Influencia significativamente
Traço	1504,19	2	752,10	377,67	3,086	Influencia significativamente
G x H	34,86	6	5,81	2,92	2,186	Influencia significativamente
G x T	182,17	6	30,36	15,25	2,186	Influencia significativamente
H x T	73,99	4	18,50	9,29	2,466	Influencia significativamente
H x T x G	71,34	12	5,95	2,99	1,848	Influencia significativamente
Residual	215,07	108	1,99			
Total	2399,94	143	16,78			

- Análise dos resultados do teste estatístico realizado na tabela 36.

Para todos os efeitos, de 1ª, 2ª e 3ª ORDEM, pode-se dizer que, com 95% de confiabilidade os parâmetros influenciam significativamente.

Nas Tabelas 37, 38 e 39 estão apresentados os testes estatísticos realizados com dados de coesão dos CPs 5x10 para avaliar, isoladamente, os traços 1:11, 1:9, 1:7, respectivamente, com relação à influência das variáveis granulometria, massa específica e umidade.

Tabela 37: Teste ANOVA para valores de coesão - traço 1:11

Traço 1:11-Coesão													
	S1/G1			S2/G2			S3/G3			S4/G4			totais
	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	
Dmáx	4,52	11,18	11,74	6,88	7,80	10,80	8,94	8,88	7,10	13,24	11,10	12,90	
	4,76	15,58	14,60	7,16	7,38	9,50	11,32	8,60	7,06	12,68	11,82	15,26	
T. j	9,28	26,76	26,34	14,04	15,18	20,30	20,26	17,48	14,16	25,92	22,92	28,16	240,80
$\Sigma (T. j)^2$	43,09	367,73	350,99	98,60	115,30	206,89	208,07	152,81	100,25	336,08	262,92	399,28	2642,01
Dméd	3,46	6,10	5,56	3,50	5,12	5,30	4,84	5,00	3,76	8,64	5,38	7,86	
	3,84	7,08	6,02	4,54	4,40	6,36	5,78	4,68	4,12	8,36	5,38	9,54	
T. j	7,30	13,18	11,58	8,04	9,52	11,66	10,62	9,68	7,88	17,00	10,76	17,40	134,62
$\Sigma (T. j)^2$	26,72	87,34	67,15	32,86	45,57	68,54	56,83	46,90	31,11	144,54	57,89	152,79	818,25
Dmín	2,04	2,98	2,98	2,70	2,14	2,42	2,76	3,00	2,02	4,48	4,90	5,42	
	2,42	4,74	2,98	2,00	2,82	3,20	3,38	3,04	2,78	5,66	4,46	4,60	
T. j	4,46	7,72	5,96	4,70	4,96	5,62	6,14	6,04	4,80	10,14	9,36	10,02	79,92
$\Sigma (T. j)^2$	10,02	31,35	17,76	11,29	12,53	16,10	19,04	178,00	11,81	52,11	43,90	50,54	454,44
T	21,04	47,66	43,88	26,78	29,66	37,58	37,02	33,20	26,84	53,06	43,04	55,58	

N = 72,00

T.. 455,34

$\Sigma x_{ij}^2 = 3914,70$

$T..^2 = 207334,52$

SQT = 1035,06

$SQ_{(granulometria)} = 117,10$

$SQ_{(umidade)} = 14,26$

$SQ_{(Massa\ especifica)} = 557,62$

$SQ_{(G \times H)} = 88,79$

$SQ_{(G \times D)} = 12,89$

$SQ_{(H \times D)} = 13,16$

$SQ_{(H \times D \times G)} = 42,59$

SQR = 188,64

	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha$	
granulometria	117,10	3	39,03	7,45	2,872	influencia significativamente
umidade	14,26	2	7,13	1,36	3,266	não influencia significativamente
Massa específica	557,62	2	278,81	53,21	3,266	influencia significativamente
G x H	88,79	6	14,80	2,82	2,372	influencia significativamente
G x D	12,89	6	2,15	0,41	2,372	não influencia significativamente
H x D	13,16	4	3,29	0,63	2,642	não influencia significativamente
H x D x G	42,59	12	3,55	0,68	2,036	não influencia significativamente
residual	188,64	36	5,24			
total	1035,06	71	14,58			



Tabela 38: Teste ANOVA para valores de coesão - traço 1:9

Traço 1:9-Coesão													
S1/G1			S2/G2			S3/G3			S4/G4			totais	
	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	
Dmáx	9,82	6,54	12,16	9,00	7,52	9,22	11,68	11,28	10,82	10,56	12,36	9,48	
	9,16	6,76	13,02	4,76	8,16	12,28	11,70	10,42	12,76	13,54	11,74	13,12	
T. j	18,98	13,30	25,18	13,76	15,68	21,50	23,38	21,70	23,58	24,10	24,10	22,60	247,86
$\Sigma(T. j)^2$	180,34	88,47	317,39	103,66	123,14	235,81	273,31	235,81	279,89	294,85	290,60	262,00	2685,26
Dméd	4,64	4,22	3,88	5,30	3,52	5,20	5,14	5,72	6,12	6,70	9,16	6,84	
	5,70	4,08	7,76	4,22	3,60	5,62	6,42	5,74	5,78	6,30	6,56	7,24	
T. j	10,34	8,30	11,64	9,52	7,12	10,82	11,56	11,46	11,90	13,00	15,72	14,08	135,46
$\Sigma(T. j)^2$	54,02	34,45	75,27	45,90	25,35	58,62	67,64	65,67	70,86	84,58	126,94	99,20	808,51
Dmín	2,02	2,74	3,16	2,96	2,88	3,08	3,28	2,66	3,32	3,32	3,63	3,96	
	2,54	2,70	3,92	2,96	2,70	2,88	3,40	3,34	3,74	3,76	4,18	3,64	
T. j	4,56	5,44	7,08	5,92	5,58	5,96	6,68	6,00	7,06	7,08	7,81	7,60	76,77
$\Sigma(T. j)^2$	10,53	14,80	25,35	17,52	15,58	17,78	22,32	176,08	25,01	25,16	30,65	28,93	409,71
T	33,88	27,04	43,90	29,20	28,38	38,28	41,62	39,16	42,54	44,18	47,63	44,28	

N = 72,00

T.. 460,09

$S \times i j^2 = 3903,48$

$T. .^2 = 211682,81$

SQT = 963,44

$SQ_{(granulometria)} = 54,67$

$SQ_{(umidade)} = 16,21$

$SQ_{(Massa\ especifica)} = 629,86$

$SQ_{(G \times H)} = 20,13$

$SQ_{(G \times D)} = 15,03$

$SQ_{(H \times D)} = 8,39$

$SQ_{(H \times D \times G)} = 19,04$

SQR = 200,12

	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha$	
granulometria	54,67	3	18,22	3,28	2,872	influncia significativamente
umidade	16,21	2	8,10	1,46	3,266	não influncia significativamente
Massa específica	629,86	2	314,93	56,65	3,266	influncia significativamente
G x H	20,13	6	3,35	0,60	2,372	não influncia significativamente
G x D	15,03	6	2,51	0,45	2,372	não influncia significativamente
H x D	8,39	4	2,10	0,38	2,642	não influncia significativamente
H x D x G	19,04	12	1,59	0,29	2,036	não influncia significativamente
residual	200,12	36	5,56			
total	963,44	71	13,57			

Tabela 39: Teste ANOVA para valores de coesão - traço 1:7

Traço 1:7-Coesão													totais
S1/G1			S2/G2			S3/G3			S4/G4				
Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín		
Dmáx	7,28	6,60	10,02	8,62	7,52	9,22	11,02	12,08	11,02	13,24	11,10	12,90	
	7,34	9,10	17,58	8,50	8,16	12,28	11,00	10,34	10,18	12,68	11,82	15,26	
T. j	14,62	15,70	27,60	17,12	15,68	21,50	22,02	22,42	21,20	25,92	22,92	28,16	254,86
$\Sigma (T. j)^2$	106,87	126,37	409,46	146,55	123,14	235,81	242,44	252,84	225,07	336,08	262,92	399,28	2866,83
Dméd	4,96	4,80	6,82	4,30	3,52	5,20	5,60	6,88	6,92	8,64	5,38	7,86	
	6,52	6,08	7,52	5,18	3,60	5,62	5,96	6,34	7,54	8,36	5,38	9,54	
T. j	11,48	10,88	14,34	9,48	7,12	10,82	11,56	13,22	14,46	17,00	10,76	17,40	148,52
$\Sigma (T. j)^2$	67,11	60,01	103,06	45,32	25,35	58,62	66,88	87,53	104,74	144,54	57,89	152,79	973,85
Dmín	2,50	2,18	2,98	2,96	2,88	3,08	3,30	3,54	3,80	4,48	4,90	5,42	
	2,86	2,82	2,98	2,96	2,70	2,88	3,82	3,68	3,82	5,66	4,46	4,60	
T. j	5,36	5,00	5,96	5,92	5,58	5,96	7,12	7,22	7,62	10,14	9,36	10,02	85,26
$\Sigma (T. j)^2$	14,43	12,70	17,76	17,52	15,58	17,78	25,48	181,53	29,03	52,11	43,90	50,54	478,37
T	31,46	31,58	47,90	32,52	28,38	38,28	40,70	42,86	43,28	53,06	43,04	55,58	

N = 72,00

T.. 488,64

$\Sigma x_{ij}^2 = 4319,05$

$T. .^2 = 238769,05$

SQT = 1002,82

$SQ_{(granulometria)} = 85,96$

$SQ_{(umidade)} = 33,63$

$SQ_{(Massa\ específica)} = 612,14$

$SQ_{(G \times H)} = 19,73$

$SQ_{(G \times D)} = 9,60$

$SQ_{(H \times D)} = 15,62$

$SQ_{(H \times D \times G)} = 22,82$

SQR = 203,32

	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha$	
granulometria	85,96	3	28,65	5,07	2,872	Influencia significativamente
umidade	33,63	2	16,82	2,98	3,266	não influencia significativamente
Massa específica	612,14	2	306,07	54,19	3,266	Influencia significativamente
G x H	19,73	6	3,29	0,58	2,372	não influencia significativamente
G x D	9,60	6	1,60	0,28	2,372	não influencia significativamente
H x D	15,62	4	3,91	0,69	2,642	não influencia significativamente
H x D x G	22,82	12	1,90	0,34	2,036	não influencia significativamente
residual	203,32	36	5,65			
total	1002,82	71	14,12			

- Análise dos resultados dos testes estatísticos realizados nas tabelas 37, 38 e 39.

Na análise de 1ª ORDEM, os parâmetros que influenciam significativamente são a granulometria e a massa específica. Dentre os parâmetros influentes na propriedade coesão, a massa específica tem uma diferença muito maior entre F e F $\alpha$ , o que indica ser o parâmetro mais influente sobre a coesão dos concretos “secos”.

Para a análise de 2ª ORDEM, apenas no traço 1:11, quando avaliados os parâmetros granulometria e umidade, mostra-se significativamente influente, ou seja, para diferentes granulometrias, podem haver diferentes umidades que conduzem a máxima coesão.

No efeito de 3ª ORDEM tem-se que, para todos os casos não há influência significativa quando avaliados conjuntamente os parâmetros granulometria, massa específica e umidade.



Tabela 40: Teste ANOVA para valores de coesão - traços 1:11, 1:9, 1:7 (Dmáx)

Traços - Coesão - Massa específica máxima (Dmáx)													
	S1/G1			S2/G2			S3/G3			S4/G4			totais
	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	
Traço 1:11	4,52	11,18	11,74	6,88	7,80	10,80	8,94	8,88	7,10	13,24	11,10	12,90	
	4,76	15,58	14,60	7,16	7,38	9,50	11,32	8,60	7,06	12,68	11,82	15,26	
T. j	9,28	26,76	26,34	14,04	15,18	20,30	20,26	17,48	14,16	25,92	22,92	28,16	240,80
$\Sigma (T. j)^2$	43,09	367,73	350,99	98,60	115,30	206,89	208,07	152,81	100,25	336,08	262,92	399,28	2642,01
Traço 1:9	9,82	6,54	12,16	9,00	7,52	9,22	11,68	11,28	10,82	10,56	12,36	9,48	
	9,16	6,76	13,02	9,18	8,16	12,28	11,70	10,42	12,76	13,54	11,74	13,12	
T. j	18,98	13,30	25,18	18,18	15,68	21,50	23,38	21,70	23,58	24,10	24,10	22,60	252,28
$\Sigma (T. j)^2$	180,34	88,47	317,39	165,27	123,14	235,81	273,31	235,81	279,89	294,85	290,60	262,00	2746,87
Traço 1:7	7,28	6,60	10,02	8,62	9,32	12,04	11,02	12,08	11,02	13,24	11,10	12,90	
	7,34	9,10	17,58	8,50	9,60	15,00	11,00	10,34	10,18	12,68	11,82	15,26	
T. j	14,62	15,70	27,60	17,12	18,92	27,04	22,02	22,42	21,20	25,92	22,92	28,16	263,64
$\Sigma (T. j)^2$	106,87	126,37	409,46	146,55	179,02	369,96	242,44	314,93	225,07	336,08	262,92	399,28	3118,96
T	42,88	55,76	79,12	49,34	49,78	68,84	65,66	61,60	58,94	75,94	69,94	78,92	

N = 72,00

T.. 756,72

$\Sigma x i j^2 = 8507,84$

$T. .^2 = 572625,16$

SQT = 554,72

$SQ_{(granulometria)} = 103,24$

$SQ_{(umidade)} = 70,70$

$SQ_{(traço)} = 10,87$

$SQ_{(G \times H)} = 93,91$

$SQ_{(G \times T)} = 37,89$

$SQ_{(H \times T)} = 22,99$

$SQ_{(H \times T \times G)} = 71,97$

SQR = 143,15

	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha$	
granulometria	103,24	3	34,41	8,65	2,872	influencia significativamente
umidade	70,70	2	35,35	8,89	3,266	influencia significativamente
Traço	10,87	2	5,43	1,37	3,266	não influencia significativamente
G x H	93,91	6	15,65	3,94	2,372	influencia significativamente
G x T	37,89	6	6,31	1,59	2,372	não influencia significativamente
H x T	22,99	4	5,75	1,45	2,642	não influencia significativamente
H x T x G	71,97	12	6,00	1,51	2,036	não influencia significativamente
residual	143,15	36	3,98			
total	554,72	71	7,81			

Tabela 41: Teste ANOVA para valores de coesão - traços 1:11, 1:9, 1:7 (Dméd)

Traços - Coesão - Massa específica média (Dméd)													
	S1/G1			S2/G2			S3/G3			S4/G4			totais
	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	
Traço 1:11	3,46	6,10	5,56	3,50	5,12	5,30	4,84	5,00	3,76	8,64	5,38	7,86	
	3,84	7,08	6,02	4,54	4,40	6,36	5,78	4,68	4,12	8,36	5,38	9,54	
T. j	7,30	13,18	11,58	8,04	9,52	11,66	10,62	9,68	7,88	17,00	10,76	17,40	134,62
$\Sigma (T. j)^2$	26,72	87,34	67,15	32,86	45,57	68,54	56,83	46,90	31,11	144,54	57,89	152,79	818,25
Traço 1:9	4,64	4,22	3,88	5,30	3,52	5,20	5,14	5,72	6,12	6,70	9,16	6,84	
	5,70	4,08	7,76	4,22	3,60	5,62	6,42	5,74	5,78	6,30	6,56	7,24	
T. j	10,34	8,30	11,64	9,52	7,12	10,82	11,56	11,46	11,90	13,00	15,72	14,08	135,46
$\Sigma (T. j)^2$	54,02	34,45	75,27	45,90	25,35	58,62	67,64	65,67	70,86	84,58	126,94	99,20	808,51
Traço 1:7	4,96	4,80	6,82	4,30	5,22	8,04	5,60	6,88	6,92	8,64	5,38	7,86	
	6,52	6,08	7,52	5,18	5,60	7,96	5,96	6,34	7,54	8,36	5,38	9,54	
T. j	11,48	10,88	14,34	9,48	10,82	16,00	11,56	13,22	14,46	17,00	10,76	17,40	157,40
$\Sigma (T. j)^2$	67,11	60,01	103,06	45,32	58,61	128,00	66,88	216,33	104,74	144,54	57,89	152,79	1205,29
T	29,12	32,36	37,56	27,04	27,46	38,48	33,74	34,36	34,24	47,00	37,24	48,88	

N = 72,00

T.. 427,48

$\Sigma x_{ij}^2 = 2832,05$

$T..^2 = 182739,15$

SQT = 294,00

$SQ_{(granulometria)} = 53,55$

$SQ_{(umidade)} = 17,99$

$SQ_{(traço)} = 13,90$

$SQ_{(G \times H)} = 15,14$

$SQ_{(G \times T)} = 8,03$

$SQ_{(H \times T)} = 5,43$

$SQ_{(H \times T \times G)} = 29,35$

SQR = 150,62

	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha$	
granulometria	53,55	3	17,85	4,27	2,872	influencia significativamente
umidade	17,99	2	8,99	2,15	3,266	não influencia significativamente
Traço	13,90	2	6,95	1,66	3,266	não influencia significativamente
G x H	15,14	6	2,52	0,60	2,372	não influencia significativamente
G x T	8,03	6	1,34	0,32	2,372	não influencia significativamente
H x T	5,43	4	1,36	0,32	2,642	não influencia significativamente
H x T x G	29,35	12	2,45	0,58	2,036	não influencia significativamente
Residual	150,62	36	4,18			
total	294,00	71	4,14			



Tabela 42: Teste ANOVA para valores de coesão - traços 1:11, 1:9, 1:7 (D<sub>mín</sub>)

Traços - Coesão - Massa específica mínima (D <sub>mín</sub> )													
	S1			S2			S3			S4			Totais
	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	Hmáx	Hméd	Hmín	
Traço 1:11	2,04	2,98	2,98	2,70	2,14	2,42	2,76	3,00	2,02	4,48	4,90	5,42	
	2,42	4,74	2,98	2,00	2,82	3,20	3,38	3,04	2,78	5,66	4,46	4,60	
T. j	4,46	7,72	5,96	4,70	4,96	5,62	6,14	6,04	4,80	10,14	9,36	10,02	79,92
$\Sigma (T. j)^2$	10,02	31,35	17,76	11,29	12,53	16,10	19,04	18,24	11,81	52,11	43,90	50,54	294,68
Traço 1:9	2,02	2,74	3,16	2,96	2,88	3,08	3,28	2,66	3,32	3,32	3,63	3,96	
	2,54	2,70	3,92	2,96	2,70	2,88	3,40	3,34	3,74	3,76	4,18	3,64	
T. j	4,56	5,44	7,08	5,92	5,58	5,96	6,68	6,00	7,06	7,08	7,81	7,60	76,77
$\Sigma (T. j)^2$	10,53	14,80	25,35	17,52	15,58	17,78	22,32	18,23	25,03	25,16	30,65	28,93	251,89
Traço 1:7	2,50	2,18	2,98	2,98	2,42	3,32	3,30	3,54	3,80	4,48	4,90	5,42	
	2,86	2,82	2,98	2,98	3,06	4,46	3,82	3,68	3,82	5,66	4,46	4,60	
T. j	5,36	5,00	5,96	5,96	5,48	7,78	7,12	7,22	7,62	10,14	9,36	10,02	87,02
$\Sigma (T. j)^2$	14,43	12,70	17,76	17,76	15,22	30,91	25,48	181,53	29,03	52,11	43,90	50,54	491,38
T	14,38	18,16	19,00	16,58	16,02	19,36	19,94	19,26	19,48	27,36	26,53	27,64	

N = 72,00

T.. 243,71

$\Sigma x_{ij}^2 = 1037,95$

$T \cdot .^2 = 59396,03$

SQT = 213,01

$SQ_{(granulometria)} = 33,22$

$SQ_{(umidade)} = 1,19$

$SQ_{(traço)} = 2,30$

$SQ_{(G \times H)} = 2,05$

$SQ_{(G \times T)} = 6,85$

$SQ_{(H \times T)} = 1,32$

$SQ_{(H \times T \times G)} = 3,13$

SQR = 162,96

	SQ	GDL	MQ	F	F $\alpha$	
Granulometria	33,22	3	11,07	2,45	2,872	não influencia significativamente
umidade	1,19	2	0,59	0,13	3,266	não influencia significativamente
Traço	2,30	2	1,15	0,25	3,266	não influencia significativamente
G x H	2,05	6	0,34	0,08	2,372	não influencia significativamente
G x T	6,85	6	1,14	0,25	2,372	não influencia significativamente
H x T	1,32	4	0,33	0,07	2,642	não influencia significativamente
H x T x G	3,13	12	0,26	0,06	2,036	não influencia significativamente
residual	162,96	36	4,53			
total	213,01	71	3,00			

- Análise dos resultados dos testes estatísticos realizados nas tabelas 40, 41 e 42.

Na análise de 1ª ORDEM, os parâmetros que influenciam significativamente são a granulometria e umidade no traço que tiveram massa específica máxima. Nos traços de massa específica média apenas a granulometria foi influente. Já nos CPs que foram moldados com massa específica mínima, nenhum parâmetro influenciou significativamente. O comportamento apresentado foi bastante interessante. Observou-se que, quando diminuída a

massa específica, os parâmetros de umidade e granulometria perderam sua importância, ou seja, não influenciaram significativamente. Isto ocorre pois com a baixa massa específica a coesão tem seus valores minorados e homogeneizados para diferentes traços, granulometrias e umidades. Outro fato observado foi que o parâmetro traço não apresentou influência significativa, ao contrário do que se esperava, pois, o aumento de finos do cimento normalmente melhora a liga das misturas, aumentando sua coesão. Mas, mesmo não sendo significativamente influente, observa-se que existe uma queda expressiva do valor de F quando passa das massas específicas maiores ( $D_{\text{máx}} \rightarrow F=1,37$  e  $D_{\text{méd}} \rightarrow F=1,66$ ) para a de menor massa específica ( $D_{\text{mín}} \rightarrow F=0,25$ ), o que reforça o comentário anterior sobre a perda de influência dos parâmetros citados na coesão quando os CPs possuem baixa massa específica.

Para a análise de 2ª ORDEM, observou-se que apenas granulometria e umidade nos traços de massa específica máxima tiveram influência significativa.

Já a análise de 3ª ORDEM, não foi observado influência significativa quando analisados conjuntamente os três parâmetros.

## 5.5 SUGESTÃO PARA DOSAGEM DOS CONCRETOS “SECOS” UTILIZADOS NA FABRICAÇÃO DE BLOCOS

Toda a metodologia de dosagem que aqui será apresentada tem como objetivo testar misturas em laboratório que atendam todos os requisitos necessários a uma boa produção de blocos de concreto. Como já dito anteriormente, estas misturas devem possuir coesão adequada, resultar em texturas apropriadas á fabricação de cada tipo de artefato e resistência à compressão especificadas.

Como resultado de todo o estudo experimental sugere-se para a dosagem dos concretos “secos” utilizados na produção de blocos os seguintes procedimentos:

*1º - Avaliar a resistência de dosagem de acordo com a variabilidade existente na fábrica.*

Por experiência adquirida em fábrica, serão adotados aqui, alguns coeficientes de variação de acordo com o tipo de dosagem (massa/vazão ou volume), equipamento disponível em fábrica (sensores de umidade e maquinário), controle do processo produtivo (ajustes do equipamento e treinamento de pessoal), entre outros, a fim de obter valores de desvios padrão para o cálculo estimado do Fbk a ser atingido. A Tabela 43 mostra os valores de coeficientes de variação de acordo com o tipo de controle e equipamento disponível em fábrica.

*Tabela 43: Condição e tipo de controle a ser avaliado para encontrar o provável coeficiente de variação de uma fábrica.*

Tipo de controle / equipamentos na produção	Condição (valores de coeficiente de variação %)		
	Bom	Médio	Ruim
1 – Controle do processo e pessoal treinado	5	15	25
2- Equipamentos : máquinas vibro-prensas e sensores de umidade	5	15	25
3 – Dosagem em massa	5	10	15
4 – Dosagem em volume	10	15	20

Para melhor esclarecer cada item, tem-se a seguir uma pequena explicação sobre cada um deles:



## 1 – Controle do processo e pessoal treinado

Este item faz referência ao bom funcionamento de todas as instalações presentes em uma fábrica. As balanças, misturadores e tempos adotados nos maquinários, entre outros, são fundamentais para a boa operação da fábrica. Somente funcionários bem treinados poderão intervir, de maneira correta, nos ajustes de equipamentos e detectar eventuais problemas que envolvem o processo, como, por exemplo, mudanças nas condições de produção que alteram os tempos de fabricação no maquinário e devem ser corrigidos para que não haja uma diminuição na compacidade e resistência do material produzido.

## 2 – Equipamentos: máquinas vibro-prensas e sensores de umidade

Tipo de máquina vibro-prensas e estado de operação. Máquinas automáticas e modernas, que operam com manutenção constante de operários bem treinados, são potencialmente capazes de evitar dispersões que podem ocorrer ou por defeito na máquina (ver item 3.2 – Estudo de caso – resistência x massa) ou por falta de controle dos tempos de produção. Os sensores de umidade são fundamentais para o processo de produção (ver item 3.3 – Estudo de caso – resistênciaXumidade) pois homogeneizam as misturas produzidas diminuindo as dispersões de massa nos artefatos e, conseqüentemente, sua resistência.

## 3- Dosagem em massa / vazão

Deve-se avaliar, neste item, as condições de operação da balança de agregado e cimento, verificar sua eficiência ou eventuais problemas. Experiências em fábrica mostram que, a manutenção e operação dada às balanças, no caso das de agregado, quando não é bem cuidada, podem resultar em pesagens equivocadas. Estes problemas podem acontecer por depósitos de materiais contidos em cantoneiras das balanças, ou se estas não possuem vibradores que fazem cair os agregados nas correias transportadoras. Se isto ocorre, como as massas são medidas por acumulação de material, o operador pode não estar se dando conta de que a balança já sai de uma massa inicial e isto afeta o último agregado proporcionado. No caso da balança de cimento, esta deve estar bem aferida e cuidar para que seu sistema seja bem vedado quanto á infiltrações d'água, pois estas podem emperrar os sistemas de pesagem, pelo endurecimento das borrachas de vedação e sustentação da balança.

No caso de proporcionamentos em vazão deve-se avaliar se há um controle periódico das vazões de agregados, pois granulometria e umidade podem alterar estes valores ao longo de uma produção e, conseqüentemente, alterar o próprio proporcionamento, uma vez que os tempos de vazão são pré-fixados.

#### 4- Dosagem em volume

As boas dosagens em volume são feitas a partir de caixas com dimensões bem definidas e marcadas de acordo com o agregado a ser medido. O fator inchamento pode afetar o proporcionamento das areias e alterar a quantidade deste material no traço utilizado.

As medidas em volume são sempre menos práticas que as em massa e induzem a maiores variabilidades. Por este motivo, plantas mais atuais de fábrica têm optado pela segunda em detrimento da primeira.

As condições (boa, média, ruim) mostradas na Tabela 43 serão tão melhor avaliadas quanto maior o conhecimento sobre os processos produtivos de blocos de concreto por parte dos técnicos responsáveis pelo estudo de dosagem. Muito embora isto seja importante, o bom senso, mesmo de pessoas menos experientes pode conduzir a bons valores na detecção de coeficientes de variação de uma produção de blocos de concreto. Com os valores de cada item da Tabela 43 identificados, deve-se fazer uma média dos mesmos e utilizar a fórmula da expressão 5.5-a para encontrar a resistência média ( $F_{bm}$ ) a ser atingida em uma produção, a partir do  $F_{bk}$  esperado e coeficiente de variação estipulado, a fim de garantir a resistência especificada para os blocos. A amostra mínima a ser ensaiada para a verificação da resistência do lote será de seis unidades.

$$F_{bm} = \frac{F_{bk}}{1 - 1,65 \times CV} \quad [5.5-a]$$

## *2º - Avaliar os tipos de agregados disponíveis em fábrica ou mesmo do mercado*

Selecionar agregados graúdos e miúdos para que se possa fazer uma composição de misturas para obter diferentes texturas e alcance de coesão mínima para moldagem dos artefatos. Para isto deve-se:

- caracterizar os agregados quanto a sua : massa específica, material pulverulento, granulometria. Estes agregados devem respeitar as prescrições normativas quanto aos materiais danosos aos concretos como exemplo, matérias orgânicas, excesso de material pulverulento, etc.;
- os agregados graúdos mais utilizados neste caso são os pedriscos. Os pedriscos de origem granítica são os mais recomendados, principalmente porque proporcionam melhores formas (formas cúbicas ou tetraédricas) quando de sua britagem. Pedriscos basálticos e de origem diabásica, possuem formas mais lamelares, que resultam em superfícies específicas maiores e planos de fratura do agregado mais suscetíveis a falhas, podendo resultar em diminuição das resistências finais dos concretos, o que não inviabiliza sua utilização;
- agregados miúdos podem ser areias médias, grossas, finas, pó-de-pedra e outros. É interessante que se tenha acesso a, pelo menos, dois tipos de areia, pois sua composição fará com que se corrijam defeitos ou falta de finos constantes na produção. Encontram-se facilmente, no mercado da grande Florianópolis, areias médias/grossas com módulos de finura em torno de 2,80 a 3,20. Esta fração grossa da areia será composta com uma fração fina que pode ser a areia fina ou o próprio pó-de-pedra. Em alguns casos, dependendo da graduação do pó-de-pedra, pode-se utilizar somente este agregado composto com agregado graúdo para a produção de alguns artefatos. Os módulos de finuras das areias finas normalmente encontradas estão entre 0,90 e 1,80.

### 3º – *Proporcionamentos*

Terminada a fase de seleção de agregados, a proporção dos mesmos a ser adotada será aquela que cumprir os parâmetros mínimos desejáveis de textura e coesão.

Deve-se, inicialmente, compor o proporcionamento entre os agregados miúdos. O parâmetro a ser avaliado será o módulo de finura destas composições e as percentagens de material passantes na peneira 0,3mm, que é indicativo da quantidades de finos presentes e contribui muito para aumentar os valores de coesão, além dos finos do próprio cimento.

Com base nos estudos realizados nesta pesquisa e nos trabalhos desenvolvidos em diferentes fábricas por prof. Prudêncio e sua equipe, a fração agregado miúdo, somente um agregado ou a misturas entre os mesmos (areias grossas/médias e finas), deve possuir módulo de finura final em torno de 2,20 a 2,80. Para que a mesma fração tenha a quantidade de finos suficiente para apresentar valores mínimos de coesão (em torno de 6 a 8Kg, como já mencionado) às percentagens passantes na peneira 0,3mm devem possuir valores em torno de 15 a 30 %. Em se tratando de areias, estes valores se enquadram perfeitamente.

O pó-de-pedra é um material que deve ser estudado com cuidado. Sua variação de módulo de finura e material passante na peneira 0,3mm pode ser muito grande. Dentro dos trabalhos executados em fábrica foram identificadas partidas completamente diferentes deste material que tinham módulos de finura entre 2,20 a 2,54 e material passante na peneira 0,3 em torno de 26% a 52%. Mesmo assim, o princípio definido no parágrafo anterior é válido e quando o pó-de-pedra tem em sua partida muitos finos, este deve ser composto com uma areia grossa ou média para se enquadrar nas faixas recomendadas.

Definida a fração agregado miúdo da mistura, a quantidade de agregado graúdo na mistura deve ser corrigida levando em consideração a textura. Os proporcionamentos mais utilizados estão em torno de 20% a 40% de fração grossa com relação a quantidade de agregado total. Para que estes valores sejam corrigidos com uma verificação visual (textura adequada a ser adotada), devem ser moldados CPs cilíndricos 5x10 variando o teor da fração de agregado graúdo na mistura conforme Tabela 44.

*Tabela 44: Sugestão para teste de proporção entre fração grossa e fina das misturas.*

Fração de agregado graúdo na mistura total(%)	Fração de agregado miúdo na mistura total(%)
10	90
20	80
30	70
40	60
50	50

O proporcionamento mais adequado entre as misturas é aquele que satisfaz o requisito de textura e coesão. A textura é definida, na maioria das vezes pelo consumidor do bloco, como já mencionado. Existe a tendência de blocos estruturais terem texturas mais abertas e blocos de vedação terem texturas mais fechadas. A análise visual dos CPs mostra, com propriedade, como ficará a textura final dos blocos de concreto.

Para certificar a escolha certa por um proporcionamento de agregados, deve-se realizar o ensaio de coesão. A situação mais crítica das misturas será aquela que vai conter os menores consumos de cimento, normalmente traços utilizados na produção de blocos de vedação que giram em torno de 1:15 a 1:13 (relação cimento:agregado, em massa). Para avaliar a mistura quanto à coesão, deve-se proceder o ensaio descrito no item 4.2.3. Sabe-se que a coesão é função do equipamento, condições de transporte dos blocos recém-moldados e espessura da parede dos blocos. No estudo em específico, chegou-se a conclusão que valores de coesão superiores a 6Kg significam que, na maioria dos casos as misturas são apropriadas para a produção dos blocos de concreto. Se, no caso destas misturas mais pobres em cimento não forem suficientes para apresentar os valores antes citado de coesão, deve-se escolher um novo proporcionamento de agregados para que cumpra este requisito. Se isto ocorrer, esta operação conduzirá, provavelmente, a um aumento da fração fina da mistura.

Definido o proporcionamento final, deve-se realizar a próxima etapa que é a moldagem de séries de CPs variando massas específicas e umidades para avaliação da resistência à compressão.

#### *4º – Plano de moldagem dos CPs*

Para definir as massas específicas e umidades a serem adotadas é necessário que se utilize uma faixa de valores que envolva todas as umidades e massas específicas possíveis alcançadas em uma fábrica de blocos com um determinado equipamento.

As massas específicas médias encontradas nos blocos da pesquisa foram em torno de 2,03 a 2,19 kg/dm<sup>3</sup>. Para a moldagem dos CPs utilizaram-se valores de massas específicas abaixo e acima dos encontrados nos blocos, fixando a energia de compactação máxima segundo critérios descritos no item 5.3.3. Na pesquisa, estes valores foram de 1,95 a 2,25kg/dm<sup>3</sup>. Com os maquinários atualmente utilizados, acredita-se que com os procedimentos adotados para a moldagem dos CPs, conseguir-se-á abranger todas as massas específicas atingidas em qualquer fábrica. Porém, um ensaio expedito de volume e massa dos blocos em uma fábrica pode indicar valores mais precisos de massas específicas mínimas e máximas encontradas nos blocos e, a partir daí, ter uma noção mais concreta destes valores para a elaboração do plano de moldagem. Recomenda-se, no plano de moldagem, a confecção de três massas específicas (máxima, média e mínima), igualmente ao plano de moldagem realizado na pesquisa, que abrangerá a maioria das massas específicas resultantes em blocos moldados pelas diferentes vibro-prensas existentes no mercado.

Com relação á umidade, deve-se ter sempre a referência de que os concretos “secos” utilizados na fabricação de blocos de concreto possuem umidades em suas misturas em torno de 5,5 a 8% com relação a massa total, incluindo o cimento. A orientação em uma produção de blocos de concreto é para que se atinja sempre a máxima umidade que permite ao equipamento moldar os artefatos sem provocar esboroamento. No plano de moldagem, para que não sejam produzidas inúmeras séries de corpos-de-prova, devem ser moldados os CPs 5x10 com apenas uma umidade que deverá ser mediana, ou seja, nem muito úmida, nem tampouco seca, numa faixa de 6 a 6,5% de umidade. Isto é em virtude de que diferentes equipamentos e misturas possuem uma umidade limite para que não ocorram problemas de moldagem na hora da produção, de acordo com o problema antes citado. Normalmente, umidades medianas, na faixa recomendada anteriormente, dificilmente resultam em problemas na produção para os diversos equipamentos e misturas constantes em uma produção de blocos. Assim, se for possível incrementar mais umidade na hora da produção

dos blocos, sabe-se que os resultados apresentados no estudo de dosagem podem estar subestimados com relação à resistência que apresentarão os blocos de concreto, o que resulta em valores à favor da segurança e devem, posteriormente à confecção e rompimento dos blocos produzidos, ser reavaliados.

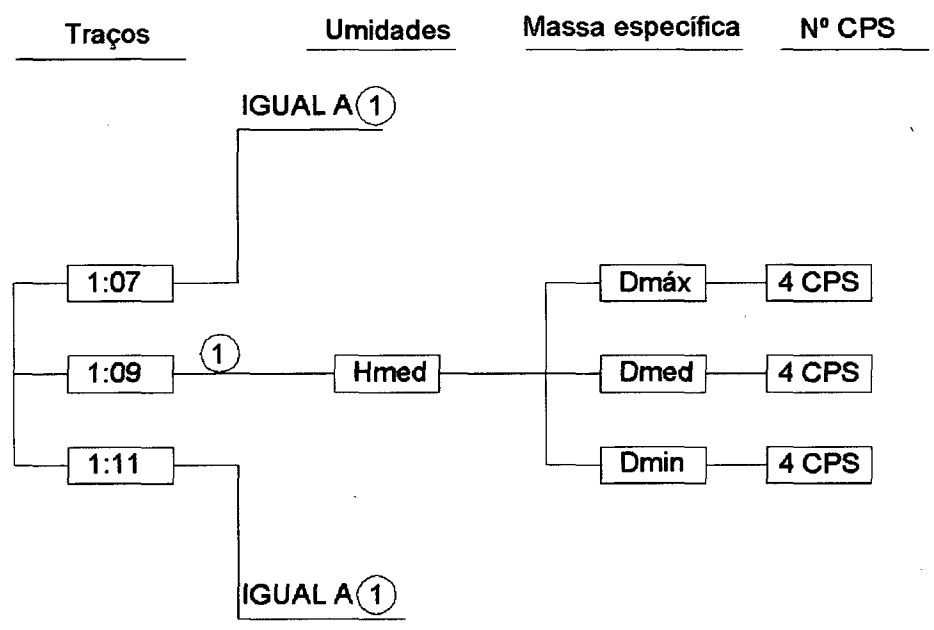
Para verificar a influência do consumo de cimento, sugere-se a utilização de traços 1:7, 1:9, 1:11, traços utilizados em blocos estruturais onde esperam-se resistências em torno de 4,5 a 12 MPa. Para blocos de vedação, utilizam-se consumos de cimento com traços em torno de 1:15. Cabe lembrar que estas resistências esperadas dependem do equipamento utilizado. Máquinas que compactam melhor os concretos utilizam traços mais pobres para atingir as mesmas resistências que máquinas de inferior grau de compactação.

A Tabela 45, mostra, com maiores detalhes, o que se espera, de acordo com a relação cimento:agregado de resistências médias esperadas de blocos produzidos em máquina MONTANA MBX 975. A resistência à compressão dos blocos de concreto dependem muito do ajuste dos tempos de alimentação e pré-vibração adotados na máquina na hora da produção. Ela é função também, como já mencionado, da umidade do concreto “seco”, proporcionamento e características dos agregados. Se os tempos adotados forem devidamente ajustados na máquina e os materiais propriamente dosados, espera-se que a relação cimento/agregados se correlacione com as resistências mostrada na Tabela 45. Estes valores podem variar para diferentes máquinas vibro-prensas.

*Tabela 45: Relação cimento:agregado a ser utilizado para o alcance de resistências médias nos blocos produzidos por máquina MONTANA MBX 975.*

Relação cimento/agregados	Resistência média esperada (MPa)
1: 6	12-18
1:8	10-13
1:10	8-10
1:12	6-8
1:14	4-6
1:16	2-4

De acordo com o descrito acima, o plano de moldagem pode seguir o organograma apresentado na figura 62:



*Figura 62: Plano de moldagem dos CPs 5x10 para um estudo de dosagem de blocos de concreto.*



#### 4º – Cura e ensaio à compressão dos CPs

A cura dada aos CPs pode ser executada em caixa de isopor para evitar a perda excessiva de água. Com um dia de moldagem, os CPs podem ser retirados da cura e marcados conforme sua série (umidade, massa específica e traço utilizado). Os CPs devem ser ensaiados à compressão aos 28 dias.

#### 5º – Resultados obtidos

Com os valores de ruptura dos CPs 5x10, moldados a partir da escolha ideal de proporcionamento de agregados que gerou coesão na mistura superior a 6Kg, deve-se plotar um gráfico como o da figura 63, mostrando os valores de coesão, resistência, consumo de cimento utilizado, umidade e massa específica seca atingida no CP, a fim de facilitar o entendimento do comportamento da resistência dos concretos.

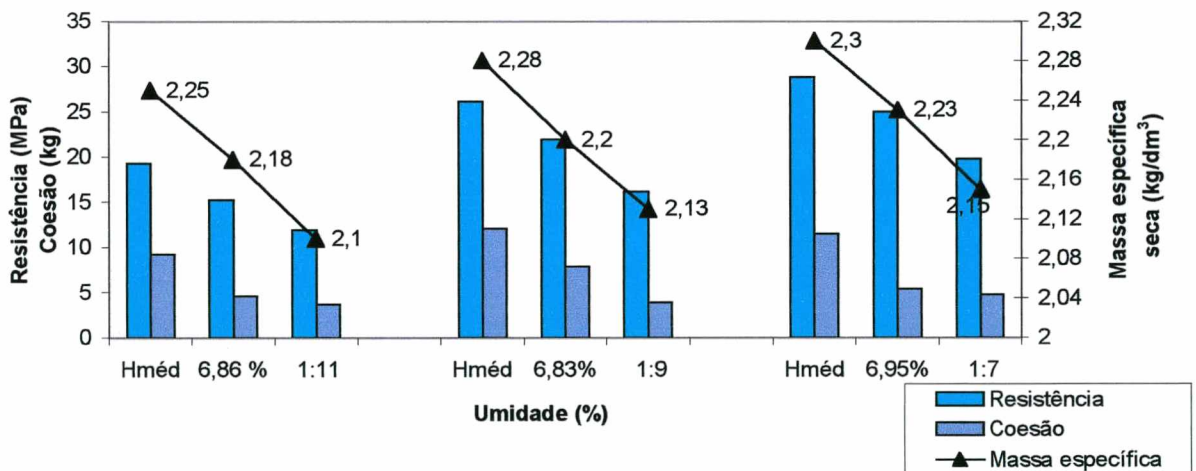


Figura 63: Curva de dosagem para a Série 4 – Traço 1:11.

6º – Conversão dos valores obtidos da ruptura dos CPs para os blocos de concreto.

Para a conversão dos valores de resistência dos CPs cilíndricos para a resistência dos blocos em área líquida deve-se proceder o cálculo utilizando as expressões 5.5-b:

$$\left( \begin{array}{l} \text{Re sistência do bloco} \\ \text{em área bruta} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{resistênci a CP} \\ \text{Comparação} \frac{\text{Re sistência CPs}}{\text{Re sistência bloco}} \end{array} \right) \times \left( \frac{\text{Área líquida do bloco}}{\text{Área bruta do bloco}} \right)$$

$$\left( \begin{array}{l} \text{Re sistência do bloco} \\ \text{em área bruta} \end{array} \right) = \left( \frac{\text{resistência CP}}{0,80} \right) \times \left( \frac{\text{Área líquida do bloco}}{\text{Área bruta do bloco}} \right) \quad [5.5-b]$$

- Exemplo numérico

Calcular qual deve ser o consumo de cimento e massa específica média a fim de produzir um bloco de  $F_{bk}=12,0$  MPa (relação com as seguintes condições de produção(ver Tabela 43) e dados de resistência dos CPs da pesquisa (ver Figura 60):

Dados:

- item 1: bom (CV=5%)
  - item 2 : médio (CV=15%)
  - item 3 : médio (CV=10%)
- $$CV(\text{produção}) = \frac{5 + 15 + 10}{3} = 10\%$$

$$\frac{A_{líquida}}{A_{bruta}} = \frac{316,31}{546} = 57,9 \text{ (bloco de parede fina)}$$

Utilizar fórmula da expressão 5.5-a para cálculo do Fbm dos blocos:

$$F_{bm} = \frac{F_{bk}}{1 - 1,65 \times CV} = \frac{12}{1 - 1,65 \times 0,1} = 14,37 \text{ MPa}$$

Substituir valor de F<sub>bm</sub> na expressão 5.5 – b por resistência do bloco em área bruta para encontrar a resistência do CP cilíndrico:

$$(Resistência\ do\ CP\ 5x10) = 0,80 \times \frac{\left( \begin{array}{c} Resistência\ do\ bloco \\ em\ área\ bruta \end{array} \right)}{\left( \begin{array}{c} Área\ líquida\ do\ bloco \\ Área\ bruta\ do\ bloco \end{array} \right)} = 0,80 \times \frac{14,37}{0,579} = 19,85\ MPa$$

Para a escolha do consumo de cimento a ser adotado deve-se recorrer a Figura 63 e verificar quais os traços e massas específicas que atingem a resistência mínima para os CPs de 19,85MPa. Neste caso, o traço 1:9 é o recomendado para a produção deste bloco de resistência 12 MPa. A resistência mínima observada, na massa específica média, foi de 21,97MPa, valor este suficiente para garantir a resistência especificada para o bloco.

Por interpolação pode-se chegar a massas específicas úmidas e consumos de cimento mínimos a partir dos valor calculado de F<sub>bm</sub>. Considera-se aqui, para efeito de cálculo, que o consumo de cimento e massa específica se relaciona linearmente com a resistência mecânica dos blocos. Como os valores mínimos estão entre os traços 1:11, 1:9 e 1:7, tem-se:

*Tabela 46: Valores de resistência e massa específica referentes ao gráfico da Figura 63 para os traços 1:11, 1:9 e 1:7.*

Traço	Massa específica Úmida	Resistência	Massa específica
		(MPa)	(kg/dm <sup>3</sup> )
1:11	D (máx)	19,31	2,25
	D (méd)	15,25	2,18
	D (mín)	11,90	2,10
1:9	D (máx)	26,12	2,28
	D (méd)	21,97	2,20
	D (mín)	16,15	2,13
1:7	D (máx)	28,80	2,30
	D (méd)	25,00	2,23
	D (mín)	19,74	2,15

Utiliza-se a massa específica úmida para controlar as massas dos blocos recém produzidos a fim de verificar se possuem realmente a massa específica determinada para os mesmos. Na Tabela 47 estão apresentados os valores de massa que devem possuir os blocos de acordo com os cálculos de interpolação e volume do bloco já conhecido mostrados a seguir:

$$\text{Resistência} = \frac{26,12 - 19,31}{9 - 11} = \frac{26,12 - 19,85}{9 - x} \implies x = 10,84; \text{ quando } d > 2,28 \text{ kg/dm}^3.$$

$$\text{Resistência} = \frac{21,97 - 15,25}{9 - 11} = \frac{21,97 - 19,85}{9 - x} \implies x = 9,69; \text{ quando } d > 2,20 \text{ kg/dm}^3.$$

Volume do bloco = 6,01 dm<sup>3</sup>.

Portanto, para alcançar a resistência especificada, ter-se-iam algumas possibilidades de se atingir a resistência mínima:

- 1° - Aumentando o consumo de cimento e diminuindo a massa específica dos blocos;
- 2° - Aumentando a massa específica dos blocos e diminuindo o consumo de cimento.

De acordo com os cálculos anteriormente feitos, haveria a possibilidade de atingir a resistência mínima especificada com  $d > 2,28 \text{ kg/dm}^3$  e traço 1:10,84 ou  $d > 2,20 \text{ kg/dm}^3$  e traço 1:9,69. A Segunda opção de traço e massa específica adotada é conveniente para equipamentos de baixo poder de compactação ou, se o fabricante desejar diminuir o desgaste de equipamento e tempos de ciclo às custas de um maior consumo de cimento, poderá fazê-lo com as alternativas mostradas.

De acordo com a Tabela 46, observa-se que o traço 1:7 d(mín) apresenta uma resistência de 19,74MPa e massa específica de 2,15kg/dm<sup>3</sup>, um pouco abaixo da mínima requerida de 19,85MPa. Neste caso, se for necessário uma diminuição dos tempos de ciclo e desgaste do equipamento ou o maquinário não é capaz de produzir artefatos de maior massa específica, deve-se tentar com o traço 1:7 massas específicas ligeiramente maiores que 2,15 kg/dm<sup>3</sup> nos blocos e testá-los à compressão para avaliar sua resistência.

Na tabela 47 estão mostrados, para efeito de controle na hora da produção dos blocos, as massas que devem possuir os mesmos para que atinjam as resistências especificadas(19,85MPa). Esta medida pode ser adotada como controle prévio das resistências e variabilidades em uma produção de blocos de concreto:

*Tabela 47: Valores de massa úmida dos blocos calculadas a partir da massa específica úmida resultante do estudo de dosagem.*

Traço utilizado	Massa específica úmida dos CPs 5x10	Volume do bloco	Massa úmida dos blocos na produção
Cimento:agregado	Kg/dm <sup>3</sup>	(dm <sup>3</sup> )	Kg
1:10,84	2,28	6,01	13,70
1:9,69	2,20	6,01	13,22
1:7,00	>2,15	6,01	>12,92

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Os concretos “secos” e a produção de blocos utilizando este tipo de material possuem muitas variáveis. Somada a dificuldade de se dosar este tipo de material está a falta de trabalhos que auxiliem o entendimento das variáveis envolvidas no processo como um todo. A carência de estudos na área faz com que exista muito desconhecimento e empirismo na dosagem de concretos.

Este trabalho teve como objetivos esclarecer melhor as variáveis envolvidas no processo de fabricação dos blocos de concreto. Buscou também mostrar como características ligadas ao processo de produção podem interferir na dosagem dos materiais e suas resistências, e como ajustar traços para que estes sejam apropriados para cada tipo de sistema e maquinários envolvidos em uma produção e ainda, prever características como textura e resistência de forma simples e eficaz.

Embora os resultados encontrados tenham sido bastante satisfatórios e muito do que já se sabia pelos trabalhos executados em fábrica tenha sido comprovado pelos estudos, como a

influência de parâmetros como umidade, massa específica, granulometria e coesão, outros estudos devem ser feitos para comprovar a eficiência desta metodologia de dosagem.

Nesta dissertação, a moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos 5x10 foram manuais e exigiram, da forma como é feito, que o operador tenha uma certa sensibilidade da força que ele aplica nos golpes dados. Para trabalhos futuros, seria importante fixar esta energia de compactação aplicada a fim de distribuir em todas as camadas energias equivalentes para que dentro de um mesmo CP não hajam diferenças de compacidade do material. Um novo sistema de compactação, talvez mecânico, poderia fazer com que houvesse uma padronização da compactação das camadas e uma homogeneização da energia aplicada nos corpos-de-prova produzidos em uma mesma série, sem exigir muito esforço do moldador.

Neste trabalho, sugeriu-se que a relação entre resistência à compressão do CP 5x10 e bloco em área líquida é igual a 0,80. Porém, geometrias e massas específicas distintas daquelas encontradas no estudo de comparação CP e bloco (item 5.2) podem alterar este resultado. Para que esta correlação seja efetivamente comprovada para todos os casos, novos estudos com diferentes blocos e maquinários devem ser realizados.

Outro ensaio aqui proposto, o de coesão, testou misturas com agregados da região da Grande Florianópolis. Para estes agregados e analisando-se o “ponto de pelota”, chegou-se a conclusão de que valores acima de 6kg no ensaio eram desejáveis para as misturas a serem utilizadas na produção. Acredita-se que este valor mínimo seja suficiente para proporcionar a coesão desejada para os diferentes agregados existentes. Porém, isto só se confirmará quando for realizado este ensaio com estes diferentes agregados e estes valores se repetirem.

Para o cálculo da resistência média de dosagem não foram utilizadas referências estatísticas para chegar nos valores de coeficientes de variação. Foram apenas calibrados estes valores sabendo-se, pelo acompanhamento da produção e ruptura de várias séries de blocos em diferentes fábricas, com que peso cada item afeta nas variabilidades dos blocos. Deve-se, portanto, realizar um estudo em específico para que estes valores sejam estudados para maior precisão do cálculo da resistência média de dosagem. Cabe ressaltar, que, de maneira geral, os valores apresentados são bem coerentes e geram bons resultados de coeficientes de variação para o cálculo do Fbm.

O desenvolvimento do sistema construtivo da alvenaria estrutural de blocos de concreto passa pelo desenvolvimento e garantia das qualidades destes últimos. A crescente utilização da alvenaria estrutural para uso em obras populares e de alto padrão de construção, o refinamento dos procedimentos de cálculo e execução das obras, tem resultado na construção de edificações cada vez mais altas e arrojadas. A necessidade de se fazer blocos de mais alta resistência e garantia de todas as suas exigências normativas tem limitado a atuação de alguns produtores de blocos no mercado, muitas vezes por desconhecerem dos controles que devem ser feitos na produção e utilização de proporcionamentos adequados para alcance dos requisitos requeridos para os blocos, embora possuam, muitas vezes, instalações/maquinários suficientes para fazê-los. Por estes motivos, o estudo do aperfeiçoamento das metodologias de dosagem e controle dos processos dentro das fábricas de blocos de concreto, além de imprescindíveis devem ser cada vez mais estudados e aprimorados em pesquisas desenvolvidas nos centros acadêmicos ou profissionais ligados à área. Apesar de pouco ter sido estudado na área dos concretos “secos” utilizados na produção de blocos, quando compara-se aos estudos realizados nos concretos plásticos, dissertações de mestrado iguais a esta servem para impulsionar novas pesquisas e questionamentos sobre os métodos adotados. O que aqui foi mostrado, deve ser testado em aplicações práticas de dosagem e, a partir destes estudos, alguns métodos adotados na pesquisa certamente poderão sofrer alterações que virão a aprimorar ainda mais a metodologia, ou modificar alguns itens propostos.



## ANEXO 1

### Valores de resistência dos corpos-de-prova cilíndricos

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 5x10	Massa úmida (g)	d Úmida kg/dm <sup>3</sup>	massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)
Hmáx	Dmáx	1-1-1	1:11	7	c1=4,52	4,64	1	450	2,20	437,30	2,14	34,80	17,04	17,04	0,72	4,22
			1:7,44:3,56		c2=4,76		2	450	2,20	437,10	2,14	36,75	17,99			
		1-1-2	1:11	7	c1=3,46	3,65	3	450	2,20	438,10	2,14	33,20	16,25			
			1:7,44:3,56		c2=3,84		4	450	2,20	437,00	2,14	34,45	16,86			
	Dméd	1-1-2	1:11	7	c1=3,46	3,65	5	435	2,13	421,90	2,07	29,50	14,44			
			1:7,44:3,56		c2=3,84		6	435	2,13	421,90	2,07	26,46	12,95			
		1-1-3	1:11	7	c1=2,04	2,23	7	435	2,13	423,00	2,07	29,20	14,29			
			1:7,44:3,56		c2=2,42		8	435	2,13	421,30	2,06	27,60	13,51			
Hméd	Dmáx	1-2-1	1:11	5,83	c1=11,18	13,58	9	420	2,06	407,80	2,00	25,50	12,48			
			1:7,44:3,56		c2=15,58		10	420	2,06	406,88	1,99	22,25	10,89			
		1-2-2	1:11	5,83	c1=6,10	6,59	11	420	2,06	407,10	1,99	23,65	11,58			
			1:7,44:3,56		c2=7,08		12	420	2,06	406,60	1,99	22,70	11,11			
	Dméd	1-2-2	1:11	5,83	c1=6,10	6,59	13	445	2,18	436,60	2,14	34,05	16,67			
			1:7,44:3,56		c2=7,08		14	445	2,18	435,70	2,13	30,10	14,73			
		1-2-3	1:11	5,83	c1=2,98	3,86	15	445	2,18	436,60	2,14	32,50	15,91			
			1:7,44:3,56		c2=4,74		16	445	2,18	435,30	2,13	32,05	15,69			
Hmín	Dmáx	1-3-1	1:11	4,65	c1=11,74	13,17	17	435	2,13	425,50	2,08	33,15	16,23			
			1:7,44:3,56		c2=14,89		18	435	2,13	424,20	2,08	34,80	17,04			
		1-3-2	1:11	4,65	c1=5,56	5,79	19	435	2,13	424,30	2,08	33,80	16,55			
			1:7,44:3,56		c2=6,02		20	435	2,13	424,30	2,08	34,35	16,81			
	Dméd	1-3-1	1:11	4,65	c1=2,98	3,86	21	420	2,06	410,30	2,01	22,55	11,04			
			1:7,44:3,56		c2=4,74		22	420	2,06	410,70	2,01	24,85	12,16			
		1-3-2	1:11	4,65	c1=5,56	5,79	23	420	2,06	409,50	2,00	24,60	12,04			
			1:7,44:3,56		c2=6,02		24	420	2,06	410,80	2,01	23,05	11,28			
Dmín	1-3-2	1:11	4,65	c1=5,56	5,79	27	435	2,13	428,30	2,10	32,45	15,88				
		1:7,44:3,56		c2=6,02		28	435	2,13	428,10	2,10	34,8	17,04				
	1-3-3	1:11	4,65	c1=2,98	2,98	29	435	2,13	428,30	2,10	31,7	15,52				
		1:7,44:3,56		c2=2,98		30	435	2,13	428,90	2,10	31,95	15,64				
Dmín	1-3-3	1:11	4,65	c1=2,98	2,98	31	420	2,06	412,70	2,02	20,95	10,26				
		1:7,44:3,56		c2=2,98		32	420	2,06	413,60	2,02	24,1	11,80				
	1-3-3	1:11	4,65	c1=2,98	2,98	33	420	2,06	412,50	2,02	20,9	10,23				
		1:7,44:3,56		c2=2,98		34	420	2,06	413,40	2,02	24,2	11,85				
Dmín	1-3-3	1:11	4,65	c1=2,98	2,98	35	405	1,98	400,00	1,96	19,55	9,57				
		1:7,44:3,56		c2=2,98		36	405	1,98	399,60	1,96	18,9	9,25				
	1-3-3	1:11	4,65	c1=2,98	2,98	37	405	1,98	399,50	1,96	20,2	9,89				
		1:7,44:3,56		c2=2,98		38	405	1,98	398,70	1,95	14,95	7,32				

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 6x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>	massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)		
Hmáx	Dmáx	1-4-1	1:9	7,34	c1=9,62	9,49	39	460	2,25	445,80	2,18	47,15	23,08	23,30	0,26	1,09		
			1:6,09;2,91		c2=9,16		40	460	2,25	446,30	2,18	47,15	23,08					
		Dméd	1-4-2	1:9	7,34	c1=4,64	5,17	41	460	2,25	446,20	2,18	48,00	23,50	19,90	0,63	3,18	
				1:6,09;2,91		c2=5,70		42	460	2,25	448,00	2,19	48,10	23,55				
			Dmín	1-4-3	1:9	7,64	c1=2,02	2,28	43	445	2,18	433,70	2,12	39,80	19,48	14,36	1,31	9,11
					1:6,09;2,91		c2=2,64		44	445	2,18	433,10	2,12	39,35	19,26			
	Dmáx			1-5-1	1:9	6,67	c1=6,54	6,68	45	445	2,18	432,20	2,12	41,35	20,24	23,63	0,59	2,48
					1:6,00;2,91		c2=6,76		46	445	2,18	433,20	2,12	42,10	20,61			
	Hméd	Dmáx	1-5-2	1:9	6,67	c1=4,22	4,15	47	430	2,10	416,30	2,04	28,40	13,90	17,84	1,26	7,04	
				1:6,09;2,91		c2=4,08		48	430	2,10	417,30	2,04	33,15	16,23				
			Dméd	1-5-3	1:9	6,67	c1=2,74	2,72	49	430	2,10	417,60	2,04	28,80	14,10	14,94	0,70	4,67
					1:6,09;2,91		c2=2,70		50	430	2,10	417,30	2,04	26,95	13,19			
Dmín				1-6-1	1:9	6,00	c1=12,16	12,59	51	450	2,20	438,80	2,15	48,09	23,52	21,12	1,20	5,67
					1:6,09;2,91		c2=13,02		52	450	2,20	437,10	2,14	49,35	24,16			
Hmín		Dmáx	1-6-2	1:9	6,00	c1=3,88	5,82	53	450	2,20	437,20	2,14	47,35	23,18	17,98	0,41	2,31	
				1:6,09;2,91		c2=7,76		54	450	2,20	437,20	2,14	47,35	23,18				
		Dméd	1-6-3	1:9	6,00	c1=3,16	3,54	55	435	2,13	421,90	2,07	35,05	17,16	12,89	2,87	22,29	
				1:6,09;2,91		c2=3,92		56	435	2,13	422,20	2,07	37,55	18,36				
			Dmín	1-6-3	1:9	6,00	c1=2,74	2,72	57	435	2,13	424,10	2,08	39,45	19,31	8,74		
					1:6,09;2,91		c2=3,92		58	435	2,13	424,20	2,08	33,70	16,50			

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 5x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>	Massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)		
Hmáx	Dmáx	1-7-1	1:7	7,5	c1=7,28	7,31	75	480	2,25	448,80	2,20	52,75	25,82	26,26	1,96	4,04		
			1:4,73:2,27		c2=7,34		76	480	2,25	448,40	2,20	56,80	27,80					
		Dméd	1-7-2	1:7	7,5	c1=4,96	5,74	77	480	2,25	448,40	2,20	53,10	25,99	22,50 <sup>f</sup>	1,90	6,75	
				1:4,73:2,27		c2=6,52		78	480	2,25	449,80	2,20	51,90	28,41				
			Dmín	1-7-3	1:7	7,5	c1=2,90	2,68	79	445	2,18	432,00	2,11	47,65	23,33	19,13	0,14	0,76
					1:4,73:2,27		c2=2,86		80	445	2,18	432,20	2,12	48,20	23,59			
	Dmáx			1-8-1	1:7	7	c1=6,60	7,85	81	445	2,18	431,50	2,11	44,85	21,95	28,08	0,84	3,64
					1:4,73:2,27		c2=9,10		82	445	2,18	432,60	2,12	41,90	20,32			
	Hméd	Dmáx	1-8-2	1:7	7	c1=4,80	5,44	83	430	2,10	418,00	2,05	39,20	19,19	19,40	1,17	6,06	
				1:4,73:2,27		c2=6,08		84	430	2,10	419,40	2,05	38,80	18,99				
			Dméd	1-8-3	1:7	7	c1=2,18	2,90	85	430	2,10	418,90	2,05	38,90	19,04	15,53	0,84	5,38
					1:4,73:2,27		c2=2,82		86	430	2,10	417,40	2,04	39,45	19,31			
Dmín				1-9-1	1:7	6	c1=10,02	13,80	87	450	2,20	439,60	2,15	47,50	23,25	24,52	0,52	2,13
					1:4,73:2,27		c2=17,58		88	450	2,20	439,00	2,15	44,65	21,86			
Hmín		Dmáx	1-9-2	1:7	6	c1=6,82	7,17	89	450	2,20	438,80	2,15	47,95	23,47	20,55	0,98	4,78	
				1:4,73:2,27		c2=7,52		90	450	2,20	424,20	2,08	38,55	18,87				
		Dméd	1-9-3	1:7	6	c1=2,98	2,98	91	435	2,13	424,30	2,08	41,45	20,29	17,56	0,34	1,94	
				1:4,73:2,27		c2=2,98		92	435	2,13	423,90	2,08	41,75	20,44				
			Dmín	1-9-3	1:7	6	c1=2,98	2,98	93	435	2,13	425,80	2,08	36,75	17,99	17,57	17,16	
					1:4,73:2,27		c2=2,98		94	435	2,13	411,10	2,01	33,75	16,52			
Dmáx	1-9-3	1:7	6	c1=10,02	13,80	95	420	2,06	410,40	2,01	29,70	14,54	24,52	0,52	2,13			
		1:4,73:2,27		c2=17,58		96	420	2,06	411,20	2,01	32,25	15,79						
Dméd	1-9-3	1:7	6	c1=6,82	7,17	97	420	2,06	411,00	2,01	31,20	15,27	20,55	0,98	4,78			
		1:4,73:2,27		c2=7,52		98	420	2,06	443,40	2,17	50,80	24,87						
Dmín	1-9-3	1:7	6	c1=2,98	2,98	99	420	2,06	427,70	2,09	41,55	20,34	17,56	0,34	1,94			
		1:4,73:2,27		c2=2,98		100	420	2,06	427,80	2,09	41,05	20,09						
Dmáx	1-9-3	1:7	6	c1=2,98	2,98	101	420	2,06	427,10	2,09	40,40	19,78	17,56	0,34	1,94			
		1:4,73:2,27		c2=2,98		102	420	2,06	427,20	2,09	44,90	21,98						
Dméd	1-9-3	1:7	6	c1=2,98	2,98	103	420	2,06	413,50	2,02	36,75	17,99	17,56	0,34	1,94			
		1:4,73:2,27		c2=2,98		104	420	2,06	412,70	2,02	35,80	17,52						
Dmín	1-9-3	1:7	6	c1=2,98	2,98	105	420	2,06	413,60	2,02	35,90	17,57	17,56	0,34	1,94			
		1:4,73:2,27		c2=2,98		106	420	2,06	414,00	2,03	35,05	17,16						

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 5x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>	massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)	
Hmáx	Dmáx	2-1-1	1:11	7,86	c1=6,88	7,02	111	450	2,20	435,10	2,13	36,15	17,70	18,81	0,94	5,02	
			1:7,44:3,56		c2=7,16		112	450	2,20	434,70	2,13	40,00	19,58				
	Dméd	2-1-2	1:11	7,86	c1=3,60	4,02	113	450	2,20	434,80	2,12	37,50	18,36	19,35	0,40	2,59	
					c2=4,54		114	450	2,20	434,40	2,13	40,05	19,61				
		Dmín	2-1-3	1:11	7,86	c1=2,70	2,35	115	435	2,13	420,20	2,06	31,35	15,35	12,94	0,57	4,37
						c2=2,60		116	435	2,13	419,00	2,05	32,15	15,74			
Hméd	Dmáx	2-2-1	1:11	6,81	c1=7,80	7,59	117	435	2,13	420,20	2,06	31,70	15,52	18,11	1,21	6,67	
			1:7,44:3,56		c2=7,38		118	435	2,13	420,20	2,06	30,25	14,81				
	Dméd	2-2-2	1:11	6,81	c1=5,12	4,76	119	420	2,06	404,40	1,98	26,25	12,85	14,65	0,48	3,29	
					c2=4,40		120	420	2,06	404,20	1,98	27,80	13,61				
		Dmín	2-2-3	1:11	6,81	c1=2,14	2,48	121	420	2,06	404,00	1,98	26,65	13,05	12,07	0,67	5,59
						c2=2,82		122	420	2,06	405,20	1,98	25,00	12,24			
Hmín	Dmáx	2-3-1	1:11	5,76	c1=10,80	10,15	123	450	2,20	436,90	2,14	33,60	16,45	20,20	0,82	4,04	
			1:7,44:3,56		c2=9,60		124	450	2,20	437,00	2,14	39,35	19,26				
	Dméd	2-3-2	1:11	5,76	c1=5,36	5,83	125	450	2,20	437,70	2,14	36,95	18,09	16,41	0,34	2,05	
					c2=6,36		126	450	2,20	436,30	2,14	38,10	18,65				
		Dmín	2-3-3	1:11	5,76	c1=2,42	2,81	127	435	2,13	422,69	2,07	28,95	14,17	12,28	0,41	3,33
						c2=3,20		128	435	2,13	422,69	2,07	30,05	14,71			
						129	435	2,13	423,00	2,07	29,50	14,44					
						130	435	2,13	422,40	2,07	31,25	15,30					
						131	420	2,06	407,10	1,99	26,15	12,80					
						132	420	2,06	407,70	2,00	25,50	12,48					
						133	420	2,06	408,60	2,00	23,70	11,60					
						134	420	2,06	410,10	2,01	23,30	11,41					
						135	445	2,18	434,40	2,13	43,45	21,27					
						136	445	2,18	435,30	2,13	39,60	19,38					
						137	445	2,18	434,00	2,12	40,45	19,80					
						138	445	2,18	434,60	2,13	41,60	20,36					
						139	430	2,10	420,40	2,06	33,80	16,55					
						140	430	2,10	420,00	2,06	33,55	16,42					
						141	430	2,10	419,80	2,06	32,55	15,93					
						142	430	2,10	421,10	2,06	34,15	16,72					
						143	415	2,03	406,20	1,99	24,20	11,85					
						144	415	2,03	406,10	1,99	25,85	12,65					
						145	415	2,03	405,70	1,99	25,75	12,61					
						146	415	2,03	406,60	1,99	24,55	12,02					

Labela 22: CPs 5x10 moldados com traço 1:9 - série 2.

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 6x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>	massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)
Hmáx	Dmáx	2-4-1	1:9 1:6,09:2,91	8,00	c1=9,00	9,09	147	460	2,25	446,40	2,19	45,40	22,22	22,02	0,48	2,19
					c2=9,18			460	2,25	446,20	2,18	46,15	22,59			
	Dméd	2-4-2	1:9 1:6,09:2,91	8,00	c1=5,30	4,76	151	445	2,18	432,00	2,11	39,00	19,09	18,61	0,96	1,89
					c2=4,22			445	2,18	432,30	2,12	37,75	18,48			
					c1=2,96			445	2,18	432,40	2,12	38,00	18,60			
					c2=2,96			445	2,18	430,50	2,11	37,30	18,26			
Hmín	Dmín	2-4-3	1:9 1:6,09:2,91	8,00	c1=2,96	2,96	155	430	2,10	418,20	2,05	30,40	14,88	14,72	0,27	1,96
					c2=2,96			430	2,10	417,50	2,04	30,45	14,91			
	Dmáx	2-5-1	1:9 1:6,09:2,91	7,00	c1=7,52	7,84	160	450	2,20	439,20	2,15	38,70	18,94	19,88	0,91	4,58
					c2=9,16			450	2,20	438,88	2,15	43,10	21,10			
					c1=3,52			450	2,20	438,50	2,15	40,75	19,95			
					c2=3,60			450	2,20	437,40	2,14	39,90	19,53			
Hméd	Dméd	2-5-2	1:9 1:6,09:2,91	7,00	c1=3,52	3,56	163	435	2,13	423,60	2,07	35,50	17,38	16,64	0,69	4,12
					c2=3,60			435	2,13	423,60	2,07	33,90	16,59			
	Dmín	2-5-3	1:9 1:6,09:2,91	7,00	c1=2,88	2,79	166	420	2,06	409,10	2,00	24,75	12,12	13,05	0,63	4,88
					c2=2,70			420	2,06	407,80	2,00	27,45	13,44			
					c1=9,22			420	2,06	409,90	2,01	27,50	13,46			
					c2=2,70			420	2,06	409,00	2,00	26,90	13,17			
Hmín	Dmáx	2-6-1	1:9 1:6,09:2,91	6,00	c1=9,22	10,75	171	445	2,18	436,60	2,14	42,35	20,73	20,40	0,87	4,29
					c2=12,28			445	2,18	436,20	2,14	43,05	21,07			
	Dméd	2-6-2	1:9 1:6,09:2,91	6,00	c1=5,20	5,41	175	445	2,18	437,10	2,14	42,25	20,68	16,39	0,48	2,95
					c2=5,62			445	2,18	437,10	2,14	39,05	19,12			
					c1=2,88			430	2,10	422,90	2,07	33,30	16,30			
					c2=5,62			430	2,10	422,10	2,07	34,70	16,99			
Dmín	2-6-3	1:9 1:6,09:2,91	6,00	c1=3,08	2,98	177	430	2,10	421,80	2,06	32,30	15,81	12,07	1,11	9,17	
				c2=2,88			430	2,10	422,60	2,07	33,60	16,45				

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Escoço coação (kg)	coesão média (kg)	CP 5x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>	massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)		
Hmáx	Dmáx	2-7-1	1:7	8,10	c1=8,62	8,56	189	465	2,28	454,10	2,22	61,60	30,15	30,13	0,53	1,75		
			1:4,73:2,2 7		c2=8,50		184	465	2,28	453,00	2,22	60,65	29,69					
		Dméd	2-7-2	1:7	8,10	c1=4,30	4,74	186	465	2,28	455,20	2,23	63,05	30,86	23,61	1,73	7,31	
				1:4,73:2,2 7		c2=5,18		187	450	2,20	440,30	2,16	47,70	23,35				
			Dmín	2-7-3	1:7	8,10	c1=2,98	2,98	188	450	2,20	439,40	2,15	50,60	24,77	19,79	0,37	1,86
					1:4,73:2,2 7		c2=2,98		189	450	2,20	439,60	2,15	51,15	25,04			
	Dmáx			2-8-1	1:7	7,22	c1=9,32	9,46	190	450	2,20	440,60	2,16	43,45	21,27	26,23	2,64	10,08
					1:4,73:2,2 7		c2=9,60		191	435	2,13	426,50	2,09	41,20	20,17			
	Hméd	Dmáx	2-8-2	1:7	7,22	c1=5,22	5,41	192	435	2,13	426,10	2,09	39,65	19,41	18,85	2,13	11,30	
				1:4,73:2,2 7		c2=5,60		193	435	2,13	424,40	2,08	40,95	20,05				
			Dméd	2-8-3	1:7	7,22	c1=2,42	2,74	194	435	2,13	424,60	2,08	39,95	19,56	16,16	1,52	9,38
					1:4,73:2,2 7		c2=3,06		195	440	2,15	432,90	2,11	35,45	17,35			
Dmín				2-9-1	1:7	6,34	c1=12,04	13,52	200	440	2,15	432,40	2,12	42,85	20,98	25,43	1,81	7,12
					1:4,73:2,2 7		c2=15,00		196	455	2,23	446,70	2,19	51,65	25,28			
		Dmáx		2-9-2	1:7	6,34	c1=8,94	8,90	201	440	2,15	431,80	2,11	34,14	16,71	18,78	0,18	0,97
					1:4,73:2,2 7		c2=7,96		202	440	2,15	431,10	2,11	41,60	20,36			
Dméd		2-9-3	1:7	6,64	c1=3,32	3,89	203	425	2,08	416,70	2,04	31,80	15,57	13,30	1,48	11,13		
			1:4,73:2,2 7		c2=4,46		204	425	2,08	416,90	2,04	34,00	16,64					
		Dmín	2-9-1	1:7	6,34	c1=12,04	13,52	205	425	2,08	417,10	2,04	29,50	14,44	25,43	1,81	7,12	
				1:4,73:2,2 7		c2=15,00		206	425	2,08	416,90	2,04	36,75	17,99				
	Dmáx		2-9-2	1:7	6,34	c1=8,94	8,90	207	450	2,20	443,50	2,17	48,05	23,52	18,78	0,18	0,97	
				1:4,73:2,2 7		c2=7,96		208	450	2,20	444,70	2,18	49,55	24,26				
Dméd	2-9-3	1:7	6,64	c1=3,32	3,89	209	450	2,20	444,70	2,18	54,75	26,80	13,30	1,48	11,13			
		1:4,73:2,2 7		c2=4,46		210	450	2,20	443,60	2,17	55,45	27,14						
	Dmáx	2-9-1	1:7	6,34	c1=12,04	13,52	211	435	2,13	428,70	2,10	38,80	18,99	18,78	0,18	0,97		
			1:4,73:2,2 7		c2=7,96		212	435	2,13	430,10	2,11	38,45	18,82					
Dméd	2-9-2	1:7	6,34	c1=8,94	8,90	213	435	2,13	429,80	2,10	37,90	18,55	18,78	0,18	0,97			
		1:4,73:2,2 7		c2=7,96		214	435	2,13	429,80	2,10	38,30	18,75						
Dmín	2-9-3	1:7	6,64	c1=3,32	3,89	215	420	2,06	414,00	2,03	25,75	12,61	13,30	1,48	11,13			
		1:4,73:2,2 7		c2=4,46		216	420	2,06	415,10	2,03	31,35	15,35						
Dmáx	2-9-1	1:7	6,34	c1=12,04	13,52	217	420	2,06	414,50	2,03	27,25	13,34	13,30	1,48	11,13			
		1:4,73:2,2 7		c2=4,46		218	420	2,06	414,40	2,03	24,35	11,92						

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 5x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>	massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)
Hmáx	Dmáx	3-1-1	1:1 1:6,28:1,16:3,56	7,46	c1=8,94	10,13	219	460	2,25	447,30	2,19	40,15	19,65	20,70	0,79	3,81
					c2=11,32		220	460	2,25	446,90	2,19	42,65	20,88			
							221	460	2,25	446,60	2,19	44,05	21,56			
	Dméd	3-1-2	1:1 1:6,28:1,16:3,56	7,46	c1=4,84	5,31	222	460	2,25	446,60	2,19	42,30	20,71	15,67	0,51	3,23
					c2=5,78		223	445	2,18	432,90	2,12	30,96	15,15			
							224	445	2,18	432,70	2,12	32,96	16,13			
Hmín	Dmín	3-1-3	1:1 1:6,28:1,16:3,56	7,46	c1=2,76	3,07	225	445	2,18	431,10	2,11	31,30	15,32	12,40	1,57	12,66
					c2=3,38		226	445	2,18	431,30	2,11	32,85	16,08			
							227	430	2,10	418,60	2,05	26,10	12,78			
	Dmáx	3-2-1	1:1 1:6,28:1,16:3,56	6,98	c1=8,88	8,74	228	430	2,10	419,10	2,05	25,30	12,38	22,60	1,51	6,70
					c2=8,60		229	430	2,10	417,90	2,05	21,10	10,33			
							230	430	2,10	416,50	2,04	28,85	14,12			
Hméd	Dméd	3-2-2	1:1 1:6,28:1,16:3,56	6,98	c1=5,90	4,84	231	460	2,25	447,70	2,19	41,90	20,51	17,99	1,05	5,83
					c2=4,68		232	460	2,25	447,40	2,19	48,10	23,55			
							233	460	2,25	446,20	2,18	45,90	22,47			
	Dmín	3-2-3	1:1 1:6,28:1,16:3,56	6,88	c1=3,00	3,02	234	460	2,25	447,50	2,19	48,75	23,86	14,16	1,35	9,50
					c2=3,04		235	445	2,18	432,80	2,12	39,65	19,41			
							236	445	2,18	432,48	2,12	34,60	16,94			
Hmín	Dmáx	3-3-1	1:1 1:6,28:1,16:3,56	6,5	c1=7,10	7,88	237	445	2,18	433,30	2,12	36,85	18,04	16,77	0,65	3,90
					c2=7,06		238	445	2,18	432,80	2,12	35,90	17,57			
							239	430	2,10	418,00	2,05	32,60	15,96			
	Dméd	3-3-2	1:1 1:6,28:1,16:3,56	6,5	c1=3,76	3,94	240	430	2,10	418,10	2,05	28,75	14,07	13,54	0,58	4,30
					c2=4,12		241	430	2,10	419,40	2,05	25,95	12,70			
							242	430	2,10	418,60	2,05	28,40	13,90			
Dmín	3-3-3	1:1 1:6,28:1,16:3,56	6,5	c1=2,02	2,40	243	450	2,20	439,40	2,15	34,65	16,96	13,62	1,56	11,47	
				c2=2,78		244	450	2,20	446,80	2,19	35,80	17,52				
						245	450	2,20	440,30	2,16	34,00	16,64				



Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 5x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>	massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)
Hmáx	Dmáx	3-4-1	1:9	7,80	c1=11,68	11,69	255	465	2,28	450,50	2,21	59,50	29,13	28,43	1,19	4,18
			1:5,14:0,96:2,91		c2=11,70		256	465	2,28	451,50	2,21	60,65	29,69			
	Dméd	3-4-2	1:9	7,80	c1=5,14	5,78	257	465	2,28	452,80	2,22	56,80	27,80	20,06	1,03	5,14
					c2=6,42		258	465	2,28	452,80	2,22	55,35	27,09			
					1:5,14:0,96:2,91		259	430	2,20	438,70	2,15	41,80	20,46			
							260	450	2,20	437,70	2,14	42,90	21,00			
Hméd	Dmáx	3-5-1	1:9	6,96	c1=3,28	3,34	261	450	2,20	438,30	2,15	38,00	18,60	17,16	1,05	6,14
					c2=3,40		262	450	2,20	439,00	2,15	41,20	20,17			
	Dméd	3-5-2	1:9	6,96	c1=5,72	5,73	263	435	2,13	424,40	2,08	32,90	16,11	18,37	1,93	10,50
					c2=5,74		264	435	2,13	424,50	2,08	34,15	16,72			
					1:5,14:0,96:2,91		265	435	2,13	423,40	2,07	35,25	17,26			
							266	435	2,13	423,00	2,07	37,95	18,58			
Hmín	Dmáx	3-6-1	1:9	6,11	c1=11,28	10,85	267	460	2,25	449,60	2,20	48,90	23,94	22,87	3,42	14,93
					c2=10,42		268	460	2,25	450,00	2,20	41,40	20,27			
	Dméd	3-6-2	1:9	6,11	c1=5,72	5,73	269	460	2,25	450,00	2,20	55,85	27,24	13,74	1,91	13,92
					c2=5,74		270	460	2,25	450,10	2,20	40,95	20,05			
					1:5,14:0,96:2,91		271	445	2,18	435,10	2,13	40,40	19,78			
							272	445	2,18	435,00	2,13	31,70	15,52			
Hmín	Dmáx	3-6-3	1:9	6,11	c1=2,66	3,00	273	445	2,18	435,90	2,13	38,90	19,04	24,63	0,88	3,59
					c2=3,34		274	445	2,18	435,68	2,13	39,10	19,14			
	Dméd	3-6-2	1:9	6,11	c1=6,12	5,95	275	430	2,10	420,40	2,06	30,60	14,98	17,83	1,38	7,73
					c2=5,78		276	430	2,10	420,20	2,06	24,05	11,77			
					1:5,14:0,96:2,91		277	430	2,10	420,80	2,06	32,15	15,74			
							278	430	2,10	421,30	2,06	25,50	12,48			
Hmín	Dmáx	3-6-1	1:9	6,11	c1=10,82	11,79	279	455	2,23	448,66	2,20	48,70	23,84	17,10	0,75	4,41
					c2=12,76		280	455	2,23	448,60	2,20	52,60	25,75			
	Dméd	3-6-2	1:9	6,11	c1=6,12	5,95	281	455	2,23	448,20	2,19	49,05	24,01	17,83	1,38	7,73
					c2=5,78		282	455	2,23	447,80	2,19	50,90	24,92			
					1:5,14:0,96:2,91		283	440	2,15	433,10	2,12	35,20	17,23			
							284	440	2,15	433,10	2,12	34,45	16,86			
Hmín	Dmáx	3-6-3	1:9	6,11	c1=3,32	3,53	285	440	2,15	433,80	2,12	35,45	17,35	17,10	0,75	4,41
					c2=3,74		286	440	2,15	433,50	2,12	40,60	19,87			
	Dméd	3-6-2	1:9	6,11	c1=3,32	3,53	287	425	2,08	418,20	2,05	34,50	16,89	17,10	0,75	4,41
					c2=3,74		288	425	2,08	418,20	2,05	35,85	17,55			
					1:5,14:0,96:2,91		289	425	2,08	419,20	2,05	32,95	16,13			
							290	425	2,08	418,40	2,05	36,40	17,82			

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 5x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>	massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)
	Dmáx	3-7-1	1:7	8,04	c1=11,02	11,01	291	470	2,30	458,20	2,24	69,65	34,10	32,31	1,99	6,15
			1:4,0,0,74;2,26		c2=11,00		292	470	2,30	458,30	2,24	66,15	32,38			
			1:7		c1=5,60		293	470	2,30	460,10	2,25	67,90	33,24			
			1:4,0,0,74;2,26		c2=5,96		294	470	2,30	460,70	2,26	60,30	29,52			
Hmáx	Dméd	3-7-2	1:7	8,04	c1=5,60	5,78	295	455	2,23	444,80	2,18	57,25	28,02	26,43	1,43	5,40
			1:4,0,0,74;2,26		c2=5,96		296	455	2,23	445,00	2,18	51,90	25,41			
			1:7		c1=3,30		297	455	2,23	446,00	2,18	51,20	25,06			
			1:4,0,0,74;2,26		c2=3,82		298	455	2,23	446,20	2,18	55,65	27,24			
	Dmín	3-7-3	1:7	8,04	c1=3,30	3,56	299	440	2,15	431,10	2,11	42,30	20,71	21,38	0,70	3,26
			1:4,0,0,74;2,26		c2=3,82		300	440	2,15	430,70	2,11	45,00	22,03			
			1:7		c1=12,08		301	440	2,15	430,20	2,11	44,80	21,93			
			1:4,0,0,74;2,26		c2=10,34		302	440	2,15	431,10	2,11	42,60	20,85			
Hméd	Dmáx	3-8-1	1:7	7,22	c1=12,08	11,21	303	465	2,28	456,70	2,24	64,60	31,62	29,48	2,08	7,06
			1:4,0,0,74;2,26		c2=6,34		304	465	2,28	457,50	2,24	59,55	29,15			
			1:7		c1=6,88		305	465	2,28	457,20	2,24	54,65	26,75			
			1:4,0,0,74;2,26		c2=6,34		306	465	2,28	457,20	2,24	62,10	30,40			
	Dméd	3-8-2	1:7	7,22	c1=6,88	6,61	307	450	2,20	443,10	2,17	48,35	23,67	23,66	0,74	3,11
			1:4,0,0,74;2,26		c2=3,54		308	450	2,20	442,90	2,17	47,45	23,23			
			1:7		c1=3,54		309	450	2,20	442,70	2,17	47,10	23,06			
			1:4,0,0,74;2,26		c2=3,68		310	450	2,20	442,50	2,17	50,45	24,70			
Hmín	Dmín	3-8-3	1:7	7,22	c1=3,68	3,61	311	435	2,13	427,90	2,09	40,00	19,58	16,06	4,50	28,02
			1:4,0,0,74;2,26		c2=11,02		312	435	2,13	428,10	2,10	22,45	10,99			
			1:7		c1=11,02		313	435	2,13	427,50	2,09	35,95	17,60			
			1:4,0,0,74;2,26		c2=10,18		314	435	2,13							
	Dmáx	3-9-1	1:7	6,40	c1=11,02	10,60	315	460	2,25	454,10	2,22	47,45	23,23	29,06	4,61	15,85
			1:4,0,0,74;2,26		c2=6,92		316	460	2,25	454,30	2,22	56,20	27,51			
			1:7		c1=6,92		317	460	2,25	453,20	2,22	67,00	32,80			
			1:4,0,0,74;2,26		c2=7,54		318	460	2,25	453,70	2,22	66,80	32,70			
	Dméd	3-9-2	1:7	6,40	c1=6,92	7,23	319	445	2,18	439,00	2,15	45,35	22,20	22,87	1,60	6,99
			1:4,0,0,74;2,26		c2=3,80		320	445	2,18	439,30	2,15	49,35	24,16			
			1:7		c1=3,80		321	445	2,18	439,40	2,15	49,45	24,21			
			1:4,0,0,74;2,26		c2=3,82		322	445	2,18	438,70	2,15	42,75	20,93			
	Dmín	3-9-3	1:7	6,40	c1=3,80	3,81	323	430	2,10	424,80	2,08	37,45	18,33	18,93	0,81	4,27
			1:4,0,0,74;2,26		c2=3,82		324	430	2,10	424,80	2,08	40,95	20,05			
			1:7		c1=3,82		325	430	2,10	424,80	2,08	37,45	18,33			
			1:4,0,0,74;2,26		c2=3,82		326	430	2,10	424,90	2,08	38,80	18,99			

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 5x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>	massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (kN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)
Hmáx	Dmáx	4-1-1	1:11	7,40	c1=13,44	12,38	327	465	2,28	451,70	2,21	32,75	16,03	16,11	0,36	2,26
			1:5,10,2,34:3,56		c2=11,32		328	465	2,28	451,60	2,21	32,10	15,71			
	Dméd	4-1-2	1:11	7,40	c1=5,66	5,77	329	465	2,28	451,00	2,21	33,90	16,59	15,06	1,23	8,18
					c2=5,88		330	465	2,28	453,20	2,22	32,85	16,08			
							331	450	2,20	439,70	2,15	28,60	14,00			
							332	450	2,20	439,00	2,15	30,95	15,15			
Dmín	4-1-3	1:11	7,40	c1=3,28	3,58	333	450	2,20	438,20	2,15	34,20	16,74	11,79	1,45	12,29	
				c2=3,88		334	450	2,20	439,70	2,15	29,20	14,29				
Hméd	Dmáx	4-2-1	1:11	6,86	c1=9,60	9,18	335	435	2,13	425,50	2,08	23,95	11,72	19,31	1,74	9,00
					c2=8,76		336	435	2,13	424,00	2,08	20,15	9,66			
							337	435	2,13	422,20	2,07	27,25	13,34			
							338	435	2,13	423,50	2,07	24,95	12,21			
							339	460	2,25	449,10	2,20	36,80	18,01			
							340	460	2,25	448,70	2,20	44,10	21,59			
	Dméd	4-2-2	1:11	6,86	c1=5,00	4,58	341	460	2,25	448,90	2,20	36,55	17,89	15,25	1,73	11,32
					c2=4,16		342	460	2,25	450,60	2,20	40,30	19,73			
							343	445	2,18	436,60	2,14	27,60	13,51			
							344	445	2,18	436,20	2,14	32,30	15,81			
							345	445	2,18	436,80	2,14	29,15	14,27			
							346	445	2,18	435,10	2,13	36,55	17,40			
Dmín	4-2-3	1:11	6,86	c1=3,32	3,66	347	430	2,10	420,60	2,06	30,15	14,76	11,90	1,94	16,34	
				c2=4,00		348	430	2,10	422,10	2,07	23,45	11,48				
						349	430	2,10	422,80	2,07	21,55	10,55				
						350	430	2,10	422,60	2,07	22,10	10,82				
						351	455	2,23	445,40	2,18	28,55	13,98				
						352	455	2,23	445,10	2,18	37,60	18,41				
Hmín	Dmáx	4-3-1	1:11	6,31	c1=8,68	8,60	353	455	2,23	445,40	2,18	28,65	14,02	16,13	2,46	15,26
					c2=8,52		354	455	2,23	445,90	2,18	37,06	18,11			
							355	440	2,15	431,70	2,11	17,55	8,59			
	Dméd	4-3-2	1:11	6,31	c1=5,76	5,89	356	440	2,15	430,80	2,11	26,30	12,87	13,13	3,30	25,11
					c2=6,02		357	440	2,15	430,50	2,11	30,65	15,00			
							358	440	2,15	430,60	2,11	32,75	16,03			
Dmín	4-3-3	1:11	6,31	c1=3,68	3,80	359	425	2,08	417,30	2,04	24,60	12,04	12,40	0,80	6,49	
				c2=3,92		360	425	2,08	418,10	2,05	24,65	12,02				
						361	425	2,08	416,40	2,04	27,80	13,61				
						362	425	2,08	417,10	2,04	24,40	11,94				

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 6x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm3	massa seca (g)	d seca kg/dm3	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)				
Hmáx	Dmáx	4-4-1	1:9	7,52	c1=10,56	12,05	363	470	2,30	460,20	2,25	57,70	28,25	27,57	1,90	5,81				
					c2=13,54			470	2,30	459,20	2,25	55,00	26,92							
		Dméd	4-4-2	1:9	7,52		c1=6,70	6,5	366	470	2,30	460,00	2,25	52,50	25,70	21,97	1,37	6,25		
							c2=6,00			455	2,23	447,10	2,19	42,30	20,71					
			Dmín	4-4-3	1:9		7,52		c1=3,32	3,54	370	455	2,23	448,40	2,20	42,60	16,59	15,85	0,80	5,02
									c2=3,76			455	2,23	447,30	2,19	47,15	23,08			
						440			2,15			429,70	2,10	33,90	16,59					
						440			2,15			431,70	2,11	31,15	15,25					
	Hméd	Dmáx	4-5-1	1:9	6,83	c1=12,36	12,05	374	465	2,28	453,50	2,22	57,50	28,15	26,12	2,70	10,35			
						c2=11,74			465	2,28	454,70	2,23	49,75	24,35						
			Dméd	4-5-2	1:9	6,80		c1=9,16	7,86	378	465	2,28	455,90	2,23	58,60	28,69	21,97	0,88	4,02	
								c2=6,56			465	2,28	455,40	2,23	47,55	23,28				
								450			2,20	441,20	2,16	45,20	22,13					
								450			2,20	440,50	2,16	44,45	21,76					
Dmín		4-5-3	1:9	6,83	c1=3,63	3,91	382	450	2,20	439,70	2,15	42,75	20,93	16,15	0,83	5,14				
					c2=4,18			435	2,13	428,00	2,10	32,20	15,76							
								435	2,13	428,00	2,10	34,70	16,99							
								435	2,13	427,80	2,09	31,00	15,18							
Hmín		Dmáx	4-6-1	1:9	6,13	c1=9,48	11,3	386	460	2,25	454,60	2,23	46,39	22,71	23,66	0,96	4,06			
						c2=13,12			460	2,25	453,20	2,22	48,95	23,96						
	Dméd		4-6-2	1:9	6,83	c1=6,84		7,84	390	445	2,18	437,00	2,14	44,60	21,83	21,92	0,52	2,35		
						c2=7,24				445	2,18	436,20	2,14	46,25	22,64					
										430	2,10	421,70	2,06	37,15	18,19					
										430	2,10	421,10	2,06	35,15	17,21					
	Dmín	4-6-3	1:9	6,83	c1=3,96	3,80	396		430	2,10	421,90	2,07	33,00	16,15	17,11	0,84	4,91			
					c2=3,64				430	2,10	421,90	2,07	34,55	16,91						
								430	2,10	421,90	2,07	34,55	16,91							
								430	2,10	421,90	2,07	34,55	16,91							

Umidade	Massa específica	Série	Série traço	Umidade (%)	Ensaio coesão (kg)	coesão média (kg)	CP 5x10	massa úmida (g)	d úmida kg/dm <sup>3</sup>	massa seca (g)	d seca kg/dm <sup>3</sup>	carga CP (KN)	Res. CP (MPa)	Res. Média CP (MPa)	Sd CP (MPa)	CV CP (%)	
Hmáx	Dmáx	4-7-1	1:7	7,60	c1=13,24	12,96	399	475	2,33	461,90	2,26	68,25	33,41	27,23	7,37	27,08	
			1:3,25:1,49:2,26		c2=12,68			475	2,33	463,30	2,27	53,70	26,29				
	Dméd	4-7-2	1:7	1:3,25:1,49:2,26	7,60	c1=8,64	8,50	401	475	2,33	463,50	2,27	35,10	17,18	25,91	2,52	9,73
						c2=8,36			475	2,33	465,40	2,28	65,45	32,04			
						475			2,25	451,00	2,21	45,90	22,47				
						475			2,25	451,20	2,21	56,25	27,54				
	Dmín	4-7-3	1:7	1:3,25:1,49:2,26	7,60	c1=4,48	5,07	402	460	2,25	450,40	2,20	52,30	25,60	18,52	0,90	4,88
						c2=5,66			460	2,25	450,00	2,20	57,25	28,02			
						445			2,18	436,60	2,14	40,08	19,62				
						445			2,18	437,70	2,14	36,00	17,62				
445						2,18			437,30	2,14	36,70	17,97					
445						2,18			436,20	2,14	38,55	18,87					
Himéd	Dmáx	4-8-1	1:7	6,95	c1=11,10	11,46	411	470	2,30	460,80	2,26	56,35	27,58	28,80	4,02	13,96	
			1:3,25:1,49:2,26		c2=11,82			470	2,30	460,40	2,25	66,45	32,53				
	Dméd	4-8-2	1:7	1:3,25:1,49:2,26	6,95	c1=5,38	5,38	412	470	2,23	448,00	2,19	53,75	26,31	25,00	0,88	3,54
						c2=5,38			470	2,23	447,10	2,19	50,25	24,60			
						455			2,23	445,40	2,18	49,85	24,40				
						440			2,15	431,50	2,11	43,65	21,37				
	Dmín	4-8-3	1:7	1:3,25:1,49:2,26	6,95	c1=4,90	4,68	420	440	2,15	431,80	2,11	39,80	19,48	19,74	1,51	7,65
						c2=4,46			440	2,15	432,00	2,11	37,55	18,38			
						440			2,15	432,20	2,12						
						465			2,28	456,90	2,24	71,35	34,93				
Hmín	Dmáx	4-9-1	1:7	6,30	c1=12,90	14,08	423	465	2,28	457,50	2,24	58,45	28,61	31,43	4,07	12,95	
			1:3,25:1,49:2,26		c2=15,26			465	2,28	459,10	2,25	71,35	34,93				
	Dméd	4-9-2	1:7	1:3,25:1,49:2,26	6,30	c1=7,86	8,70	424	465	2,28	458,70	2,25	55,70	27,27	26,09	3,96	15,18
						c2=9,54			465	2,28	442,70	2,17	59,05	28,91			
						450			2,20	443,80	2,17	56,50	27,66				
						450			2,20	442,80	2,17	41,30	20,22				
	Dmín	4-9-3	1:7	1:3,25:1,49:2,26	6,30	c1=5,42	5,01	425	450	2,20	442,70	2,17	44,75	21,91	20,89	0,99	4,74
						c2=4,60			435	2,13	429,20	2,10	42,15	20,63			
						435			2,13	429,20	2,10	40,10	19,63				
						435			2,13	429,40	2,10	43,70	21,39				

## ANEXO 2

### Valores de resistência dos blocos de concreto



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

SERVIÇO REALIZADO: Verificação da resistência à compressão de blocos de concreto para alvenaria, com função estrutural (bloco de parede fina).

INTERESSADO: DISSERTAÇÃO MESTRADO

DATA DE MOLDAGEM: 13/07/99

DATA DE ROMPIMENTO: 10/08/99

IDADE: 28 DIAS

Traço 1:11

RESULTADOS OBTIDOS

LOTE 01 :

C.P. n°	Altura (cm)	Base (cm)	Comprimento (cm)	Carga (KN)	Resistência (MPa)	Massa (g)
CH 1 / 5	19,0	14,0	39,2	620	11,30	12.340
CH 2 / 1	18,8	14,0	39,1	645	11,78	12.480
CH 3 / 1	18,9	14,0	39,1	685	12,51	12.550
CH 3 / 2	19,0	14,1	39,1	595	10,79	12.440
CH 3 / 4	18,9	14,0	39,2	500	9,11	12.110
CH 3 / 5	18,9	14,0	39,2	570	10,39	12.130
CH 4 / 2	18,9	14,0	39,1	595	10,87	12.410
CH 4 / 4	18,9	14,1	39,1	490	8,89	12.180
Desvio Padrão (MPa) = 1,24					média (g) =	12.330
Coef. de variação(%)= 11,58					Sd (g) =	169,20
Fbk (MPa) = 9,10					cv (%) =	1,37
Res.média (MPa) = 10,71					%dif. Massa =	3,57

BLOCOS (absorção)	P(úmido)	P(seco)	abs. (%)
CH1 / 6	13.120	12.120	8,25
CH 4 / 3	12.820	11.720	9,39
CH 1 / 2	13.090	12.250	6,86
<b>ABSORÇÃO (%) =</b>			<b>8,16</b>

Verificações:	Fbk(verificação) =	9,17	MPa
	Fbk < 0,85 x Fbmédio=	9,10	MPa
	Fbk > ψ8 x Fb1=	8,27	MPa

Florianópolis, 10 de agosto de 1999.





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

**SERVIÇO REALIZADO:** Verificação da resistência à compressão de blocos de concreto para alvenaria, com função estrutural (bloco de parede fina).

**INTERESSADO:** DISSERTAÇÃO MESTRADO

**DATA DE MOLDAGEM:** 13/07/99

**DATA DE ROMPIMENTO:** 10/08/99

**IDADE:** 28 DIAS

Traço 1:9

**RESULTADOS OBTIDOS**

LOTE 02 :

C.P. n°	Altura (cm)	Base (cm)	Comprimento (cm)	Carga (KN)	Resistência (MPa)	Massa (g)
CH 1 / 5	19,0	14,0	39,0	815	14,93	12.550
CH 2 / 3	19,1	13,9	39,1	765	14,08	12.390
CH 2 / 5	19,0	14,0	39,0	920	16,85	12.640
CH 3 / 3	19,0	14,0	39,1	745	13,61	12.360
CH 3 / 5	18,9	14,0	39,0	940	17,22	12.640
CH 4 / 2	18,9	14,0	39,1	925	16,90	12.400
CH 4 / 3	19,0	14,0	39,1	790	14,43	12.370
CH 4 / 5	18,9	14,0	39,1	950	17,35	12.620
Desvio Padrão (MPa) = 1,56					média (g) =	12.496
Coef. de variação(%)= 9,95					Sd (g) =	127,94
Fbk (MPa) = 12,66					cv (%) =	1,02
Res.média (MPa) = 15,67					%dif. Massa =	2,24

BLOCOS (absorção)	P(úmido)	P(seco)	abs. (%)
CH 4 / 6	13.125	12.300	6,71
CH 2 / 4	12.925	11.920	8,43
CH 1 / 6	13.190	12.360	6,72
<b>ABSORÇÃO (%) =</b>			<b>7,28</b>

Verificações:	Fbk(verificação) =	11,80	MPa
	Fbk < 0,85 x Fbmédio=	13,32	MPa
	Fbk > ψ8 x Fb1=	12,66	MPa

Florianópolis, 10 de agosto de 1999.





UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

SERVIÇO REALIZADO: Verificação da resistência à compressão de blocos de concreto para alvenaria, com função estrutural(bloco de parede fina).

INTERESSADO: DISSERTAÇÃO MESTRADO

DATA DE MOLDAGEM: 13/07/99

DATA DE ROMPIMENTO: 10/08/99

IDADE: 28 DIAS

Traço 1:7

RESULTADOS OBTIDOS

LOTE 03 :

C.P. n°	Altura (cm)	Base (cm)	Comprimento (cm)	Carga (KN)	Resistência (MPa)	Massa (g)
CH 1 / 5	18,9	13,9	39,1	1090	20,06	12.840
CH 2 / 2	19,1	13,9	39,1	1040	19,14	12.650
CH 2 / 5	19,1	13,9	39,0	1045	19,28	12.760
CH 3 / 2	19,1	13,9	39,1	1060	19,50	12.760
CH 3 / 3	19,0	14,0	39,1	930	16,99	12.630
CH 3 / 6	18,8	13,9	39,0	1065	19,65	12.830
CH 4 / 2	19,1	13,9	39,1	1075	19,78	12.840
CH 4 / 3	19,1	13,9	39,1	890	16,38	12.720
Desvio Padrão (MPa) = 1,37					média (g) =	12.754
Coef. de variação(%)= 7,29					Sd (g) =	82,80
Fbk (MPa) = 16,02					cv (%) =	0,65
Res.média (MPa) = 18,85					%dif. Massa =	1,65

BLOCOS (absorção)	P(úmido)	P(seco)	abs. (%)
CH 1 / 6	13.350	12.460	7,14
CH 2 / 4	13.060	12.010	8,74
CH 2 / 3	13.140	12.150	8,15
<b>ABSORÇÃO (%) =</b>			<b>8,01</b>

Verificações:	Fbk(verificação) =	17,02	MPa
	Fbk < 0,85 x Fbmédio=	16,02	MPa
	Fbk > ψ8 x Fb1=	15,23	MPa

Florianópolis, 10 de agosto de 1999.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

SERVIÇO REALIZADO: Verificação da resistência à compressão de blocos de concreto para alvenaria, com função estrutural (bloco de parede grossa).

INTERESSADO: DISSERTAÇÃO MESTRADO

DATA DE MOLDAGEM: 30/07/99

DATA DE ROMPIMENTO: 27/08/99

IDADE: 28 DIAS

Traço 1:11

RESULTADOS OBTIDOS

LOTE 04 :

C.P. n°	Altura (cm)	Base (cm)	Comprimento (cm)	Carga (KN)	Resistência (MPa)	Massa (g)
CH 1 / 6	19,0	13,9	38,9	620	11,47	14.700
CH 3 / 3	19,0	13,9	39,2	590	10,83	14.700
CH 3 / 5	19,0	13,9	39,1	605	11,13	14.680
CH 3 / 6	18,9	13,9	39,0	585	10,79	14.610
CH 4 / 3	19,0	13,9	39,2	602	11,05	14.670
CH 4 / 5	19,1	13,9	39,0	610	11,25	14.710
CH 5 / 3	18,8	13,9	39,1	605	11,13	14.660
CH 5 / 4	18,9	13,9	39,1	580	10,67	14.650
Desvio Padrão (MPa) = 0,26					média (g) = 14.673	
Coef. de variação(%)= 2,39					Sd (g) = 32,84	
Fbk (MPa) = 9,38					cv (%) = 0,22	
Res.média (MPa) = 11,04					%dif. Massa = 0,68	
Absorção de água (%) = -						

BLOCOS (absorção)	P(úmido)	P(seco)	abs. (%)
CH 2 / 5	15.450	14.250	8,42
CH 3 / 4	15.350	14.300	7,34
CH 2 / 1	15.300	14.200	7,75
<b>ABSORÇÃO (%) =</b>			<b>7,84</b>

Verificações:	Fbk(verificação) =	10,57	MPa
	Fbk < 0,85 x Fbmédio=	9,38	MPa
	Fbk > ψ8 x Fb1=	9,92	MPa

Florianópolis, 27 de agosto de 1999.





**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**  
**LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL**

**SERVIÇO REALIZADO:** Verificação da resistência à compressão de blocos de concreto para alvenaria, com função estrutural (bloco de parede grossa).

**INTERESSADO:** MESTRADO ARTÊMIO

**DATA DE MOLDAGEM:** 30/07/99

**DATA DE ROMPIMENTO:** 27/08/99

**IDADE:** 28 DIAS

**Traço 1:9**

**RESULTADOS OBTIDOS**

**LOTE 05 :**

C.P. nº	Altura (cm)	Base (cm)	Comprimento (cm)	Carga (KN)	Resistência (MPa)	Massa (g)
CH 1 / 6	18,8	13,9	39,0	835	15,40	14.620
CH 2 / 2	19,0	13,9	39,1	775	14,26	14.520
CH 2 / 5	18,9	13,9	39,0	785	14,48	14.620
CH 3 / 3	19,0	13,9	39,1	720	13,25	14.540
CH 3 / 6	18,8	13,9	39,1	812	14,94	14.560
CH 4 / 3	19,0	13,9	39,1	755	13,89	14.540
CH 4 / 5	18,9	13,9	39,1	765	14,08	14.580
CH 5 / 5	18,8	13,9	38,9	840	15,54	14.710
Desvio Padrão (MPa) = 0,78					média (g) =	14.586
Coef. de variação(%)= 5,38					Sd (g) =	62,09
Fbk (MPa) = 12,31					cv (%) =	0,43
Res.média (MPa) = 14,48					%dif. Massa =	1,30
Absorção de água (%) = -						

BLOCOS (absorção)	P(úmido)	P(seco)	abs. (%)
CH 1 / 5	15.350	14.300	7,34
CH 2 / 3	15.500	14.350	8,01
CH 5 / 1	15.350	14.250	7,72
<b>ABSORÇÃO (%) =</b>			<b>7,69</b>

Verificações:	Fbk(verificação) =	13,24	MPa
	Fbk < 0,85 x Fbmédio=	12,31	MPa
	Fbk > ψ8 x Fb1=	12,32	MPa

Florianópolis, 27 de agosto de 1999.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

SERVIÇO REALIZADO: Verificação da resistência à compressão de blocos de concreto para alvenaria, com função estrutural (blocos de parede grossa).

INTERESSADO: MESTRADO ARTÊMIO

DATA DE MOLDAGEM: 30/07/99

DATA DE ROMPIMENTO: 27/08/99

IDADE: 28 DIAS

Traço 1:7

RESULTADOS OBTIDOS

LOTE 06 :

C.P. nº	Altura (cm)	Base (cm)	Comprimento (cm)	Carga (KN)	Resistência (MPa)	Massa (g)
CH 1 / 3	18,8	13,9	39,0	1180	21,77	15.010
CH 1 / 5	18,9	13,9	39,0	1105	20,38	15.150
CH 2 / 1	18,7	13,9	38,8	1220	22,62	15.100
CH 2 / 3	18,8	13,9	39,0	1175	21,67	15.030
CH 3 / 3	18,9	13,9	39,0	1220	22,51	15.140
CH 4 / 5	18,9	13,9	39,0	1135	20,94	15.090
CH 5 / 2	18,9	13,9	39,0	1335	24,63	15.100
CH 5 / 5	18,8	13,9	39,0	1277	23,56	15.120
Desvio Padrão (MPa) = 1,38					média (g) = 15.093	
Coef. de variação(%)= 6,20					Sd (g) = 49,50	
Fbk (MPa) = 18,92					cv (%) = 0,33	
Res.média (MPa) = 22,26					%dif. Massa = 0,93	
Absorção de água (%) = -						

BLOCOS (absorção)	P(úmido)	P(seco)	abs. (%)
CH 2 / 5	15.700	14.600	7,53
CH 5 / 3	15.650	14.550	7,56
CH 3 / 1	15.750	14.650	7,51
<b>ABSORÇÃO (%) =</b>			<b>7,53</b>

Verificações:	Fbk(verificação) =	20,05	MPa
	FbK < 0,85 x Fbmédio=	18,92	MPa
	FbK > $\psi$ 8 x Fb1=	18,96	MPa

Florianópolis, 27 de agosto de 1999.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard method of conducting strength test of panels for building construction: E 72-74 . Annual book of ASTM standards. Philadelphia, Pa., 1976.

ABCI - Associação Brasileira de Construção Industrializada. Manual Técnico de Alvenaria, Projeto Editores Associados Ltda. Editor Vicente Wissenbach. 1990. 275 p.

ABNT/NBR-8798/85 - Execução e controle de obras em alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. Rio de Janeiro, 1986

ABNT/NBR 6136 - Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural - Especificação. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT/NBR 7186 - Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria com Função Estrutural - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1982

ABNT/NBR 8215 - Prismas de Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural - Preparo e ensaio a compressão - método de ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

ABNT/NBR 8949 - Paredes de Alvenaria Estrutural - Ensaio à Compressão Simples - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1985.

ABNT/NBR/NB-1228/89 - Cálculo de alvenaria estrutural de blocos vazados de concreto. BS 5628 (Reino Unido): Part 1 - alvenaria não armada; Part 2 - alvenaria armada e protendida; Part 3 - materiais e mão-de-obra. Rio de Janeiro, 1990

FERREIRA JUNIOR, Sylvio. Produção de blocos de concreto para alvenaria. Prática recomendada. São Paulo, ABCP 1990 (BT -107).

GOMES, N.S. A resistência das paredes de alvenaria. São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1974. 191p. Diss. Mestr.

MEDEIROS, J. S. Dornelles, V.P. e Franco L. S. Blocos de Concreto para alvenaria estrutural: Avaliação de parâmetros básicos para produção. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Brasil. Proceedings – 5<sup>th</sup> Internacional Seminar on Structural Masonry for Developing Countries – Florianópolis – Brazil – 1994.

MEDEIROS, Jonas Silvestre. Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – 1993.

MANUAL COLUMBIA. Establishing a concrete block business.

MANUAL BESSER

Manual do processo construtivo POLI-ENCOL: blocos e pré-moldados. São Paulo, EPUSP/ENCOL, 1991. (Relatório técnico R5-26/91)

MENZEL, C. A ., “Test of the Fire Resistance and Strength of Walls of Concrete Masonry Units,” Portland Cement Association, January, 1934.

PRUDÊNCIO JR., L. R. Resistência à compressão da alvenaria e correlação entre a resistência de unidades, prismas e paredes. Porto Alegre, 1986.

PRUDÊNCIO JR. L.R. Notas de aula, apostila de materiais do Curso de Graduação em Engenharia Civil - UFSC, 1994.

PETRUCCI, Eladio G. R., Concreto de cimento portland. Rio de Janeiro : Globo, 1987.

RODRIGUES, Públio Pena Firme, Fabricação de peças pré-moldadas de concreto para pavimentação. Prática Recomendada. São Paulo, ABCP 1995 (BT-103).

TARTUCE, Ronaldo e GIOVANNETTI, Edio. Princípios básicos sobre o concreto de cimento Portland. São Paulo: Pini: Ibracon, 1990.

TANGO, Carlos E. de S. Fundamentos de dosagem de concreto para blocos estruturais IPT- São Paulo. Proceedings – 5<sup>th</sup> Internaonal Seminar on Structural Mansory for Developing Countries – Florianópolis - Brazil – 1994.

WILK, B., “ Influence of Grading on Strenght of Concrete” ROCK PRODUCTS, February, 1947, pp 169-170.

WILK, B., and Grant, W., “Proportioning Concrete for Product Plants,” ROCK PRODUCTS, February, 1948, pp 172-176.