

**GUILHERME TEODORO BUEST NETO**

**ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS  
NATURAIS POR AGREGADOS MIÚDOS BRITADOS EM  
CONCRETOS DE CIMENTO PORTLAND**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós  
- Graduação em Construção Civil, da  
Universidade Federal do Paraná, como  
parte dos requisitos para obtenção do  
título de Mestre em Construção Civil.**

**Orientador: Prof. Dr. Vicente Coney Campiteli**

**CURITIBA**

**2006**

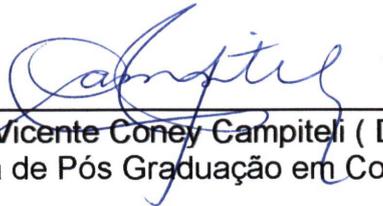
## TERMO DE APROVAÇÃO

**GUILHERME TEODORO BUEST NETO**

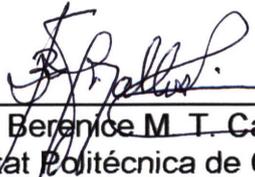
### **SUBSTITUIÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS NATURAIS POR BRITADOS EM CONCRETOS**

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

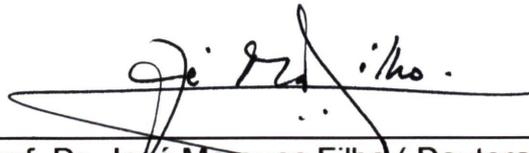
Orientador:



Prof. Dr. Vicente Coney Campiteli ( Doutorado USP / SP )  
Programa de Pós Graduação em Construção Civil, UFPR



Prof. Dr. Berenice M. T. Carbonari ( Doutorado UPC / ES )  
Universitat Politècnica de Catalunya, UPC - Espanha )  
Universidade Estadual de Londrina - UEL



Prof. Dr. José Marques Filho ( Doutorado UFRGS / RS )  
Programa de Pós Graduação em Construção Civil, UFPR

Curitiba, 28 de Junho de 2006.

*À minha querida esposa e à toda a minha família.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador, Prof. Vicente Coney Campiteli, pela orientação, pela amizade e disponibilidade permanente para me atender durante a realização deste trabalho.

Ao laboratorista Paulo Ubirajara dos Santos, do Laboratório de Materiais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pelo apoio em toda a realização do estudo.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, pelos ensinamentos e apoios recebidos.

A empresa Hagen-Rheydt do Brasil Química Fina Ltda, pelo apoio dispensado.

Ao Eng. Norberto Klechniowski, Diretor Técnico da Hagen-Rheydt do Brasil, pelo incentivo, apoio e motivação.

A todos os demais que, direta ou indiretamente contribuíram na realização do trabalho.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>viii</b>
<b>LISTA DE QUADROS E TABELAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xii</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS .....</b>	<b>xiii</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xv</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	16
1.2 OBJETIVO.....	19
1.2.1 Objetivo Geral.....	19
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	19
1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	20
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1 GENERALIDADES.....	21
2.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES .....	24
2.3 CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DOS AGREGADOS.....	29
2.4 GRANULOMETRIA.....	32
2.5 FORMA DAS PARTÍCULAS .....	34
2.6 EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS.....	37
2.7 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO .....	39
2.7.1 Segregação .....	39
2.7.2 Exsudação .....	40
2.7.3 Consistência .....	41
2.8 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO .....	43
2.8.1 Resistência à Compressão Axial.....	43
2.8.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral .....	44
2.8.3 Resistência à Tração na Flexão.....	45
2.8.4 Módulo de Elasticidade .....	46
2.8.5 Retração por secagem.....	47
2.9 CONCRETO COM FINOS .....	49
2.9.1 Trabalhabilidade .....	50

2.9.2	Coesão .....	55
2.9.3	Atrito Interno .....	56
2.9.4	Viscosidade .....	57
2.10	DOSAGEM DO CONCRETO .....	59
2.11	CONSUMO DE CIMENTO .....	61
<b>3</b>	<b>PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>62</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS .....	63
3.1.1	Cimento .....	63
3.1.2	Agregado Miúdo e Graúdo .....	63
3.2	METODOLOGIA .....	67
3.2.1	Método de Dosagem do Concreto.....	67
3.2.2	Estudos com argamassas .....	69
3.2.3	Estudos com concretos.....	71
3.3	CONCRETOS ESTRUTURAIS .....	76
3.4	PRODUÇÃO DOS CONCRETOS .....	76
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>78</b>
4.1	ESTUDO COM CONCRETOS .....	78
4.2	CONCRETO NO ESTADO FRESCO .....	81
4.2.1	Massa específica e ar incorporado.....	81
4.2.2	Exsudação .....	84
4.3	CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO .....	88
4.3.1	Absorção e porcentagem de vazios .....	88
4.3.2	Tração por compressão diametral.....	90
4.3.3	Tração na flexão .....	92
4.3.4	Módulo de Elasticidade .....	93
4.4	CONSUMO DE CIMENTO .....	97
4.5	ESTUDOS COMPLEMENTARES COM ARGAMASSAS .....	102
4.5.1	Consistência .....	102
4.5.2	Retração por secagem.....	108
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>112</b>
5.1	CONCLUSÕES DOS ENSAIOS REALIZADOS .....	112
5.2	CONCLUSÕES DO ESTUDO EXPERIMENTAL.....	112

5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	117
<b>ANEXOS</b>	.....	<b>118</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>ANÁLISE QUÍMICA DOS AGREGADOS MIÚDOS .....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>GRANULOMETRIA A LASER .....</b>	<b>125</b>
<b>ANEXO C</b>	<b>REATIVIDADE POTENCIAL ALCALI-AGREGADO.....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICES</b>	.....	<b>138</b>
<b>APÊNDICE A</b>	<b>ESTUDO PRELIMINAR COM ARGAMASSAS .....</b>	<b>139</b>
<b>APÊNDICE B</b>	<b>ESTUDO COM CONCRETOS .....</b>	<b>142</b>
<b>APÊNDICE C</b>	<b>CONCRETOS ESTRUTURAIS.....</b>	<b>154</b>
<b>APÊNDICE D</b>	<b>DETERMINAÇÃO DA EXSUDAÇÃO NBR NM 102/96 .....</b>	<b>158</b>
<b>APÊNDICE E</b>	<b>ENSAIO DE MINI-ABATIMENTO .....</b>	<b>162</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	.....	<b>164</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> - RESÍDUO PROVENIENTE DE BRITAGEM DE ROCHAS .....	18
<b>FIGURA 2</b> - BRITADOR DE EIXO VERTICAL VSI (METSON, 2006) .....	23
<b>FIGURA 3</b> - FAIXAS GRANULOMÉTRICAS RECOMENDADAS PELA NBR 7211/04 .....	26
<b>FIGURA 4</b> - BACIA DE DECANTAÇÃO .....	28
<b>FIGURA 5</b> - EFEITO DA DIMENSÃO MÁXIMA DO AGREGADO GRAÚDO E DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO (ILLSTON ET AL, 1994) .....	33
<b>FIGURA 6</b> - O EFEITO DA QUANTIDADE DE AGREGADO E DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO NA RESISTÊNCIA DO CONCRETO (ILLSTON ET AL, 1994) .....	34
<b>FIGURA 7</b> - FORMA DAS PARTÍCULAS (POOLE ET AL, 1998) .....	35
<b>FIGURA 8</b> - PARTÍCULA ALONGADA (INDESEJÁVEL) À ESQUERDA E PARTÍCULA DESEJÁVEL PARA CONCRETO À DIREITA (POOLE ET AL, 1998) .....	36
<b>FIGURA 9</b> - EFEITO DA QUANTIDADE E DO TAMANHO DAS PARTÍCULAS PARTÍCULAS NA EFICIÊNCIA DE EMPACOTAMENTO: a) SISTEMA MONODISPERSO, b) MÁXIMA DENSIDADE DE EMPACOTAMENTO TEÓRICO, c) DEFICIÊNCIA DE PARTÍCULAS PEQUENAS, d) DEFICIÊNCIA DE PARTÍCULAS GRANDES, e) DISTRIBUIÇÃO INADEQUADA DE TAMANHOS DE PARTÍCULAS .....	38
<b>FIGURA 10</b> - TRONCOS DE CONE PROPOSTOS POR GORISSE (1981) .....	42
<b>FIGURA 11</b> - INTERAÇÃO DOS FATORES QUE INFLUENCIAM A RESISTÊNCIA DO CONCRETO (MEHTA ET AL, 2005) .....	43
<b>FIGURA 12</b> - DETALHE DO ENSAIO DE TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL .....	44
<b>FIGURA 13</b> - DETALHE DO ENSAIO DE TRAÇÃO NA FLEXÃO .....	45
<b>FIGURA 14</b> - COMPORTAMENTOS TÍPICOS TENSÃO-DEFORMAÇÃO DE PASTA DE CIMENTO, AGREGADO E CONCRETO. ....	47
<b>FIGURA 15</b> - REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA EM RELAÇÃO AO TEOR DE VAZIOS (DADOS GIAMMUSSO, 1992, P.33) .....	50
<b>FIGURA 16</b> - ENSAIO DE ABATIMENTO DO TRONCO DE CONE .....	52
<b>FIGURA 17</b> - a) CONCRETO COM TENDÊNCIA À SEGREGAÇÃO, b) CONCRETO COESO (CAMPITELI, 2005 ADAPTADO DE GIAMMUSSO, 1992) .....	56

<b>FIGURA 18</b> - INFLUÊNCIA DO DIÂMETRO DO AGREGADO NO ATRITO INTERNO DO CONCRETO .....	57
<b>FIGURA 19</b> - PENEIRA COM ABERTURA MÉDIA DE MALHA 1,87 MM .....	64
<b>FIGURA 20</b> - PORCENTAGENS RETIDAS INDIVIDUAIS DOS AGREGADOS .....	65
<b>FIGURA 21</b> - PORCENTAGENS RETIDAS ACUMULADAS DOS AGREGADOS .....	66
<b>FIGURA 22</b> - DETALHE DO ENSAIO DE MASSA UNITÁRIA COMPACTA MÁXIMA.....	69
<b>FIGURA 23</b> - DETALHE DA MESA DE CONSISTÊNCIA .....	70
<b>FIGURA 24</b> - ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA.....	70
<b>FIGURA 25</b> - PORCENTAGENS RETIDAS INDIVIDUAIS DOS AGREGADOS TOTAIS.....	80
<b>FIGURA 26</b> - PORCENTAGENS RETIDAS ACUMULADAS DOS AGREGADOS TOTAIS.....	80
<b>FIGURA 27</b> - TEOR DE EXSUDAÇÃO DO CONCRETO COM 190 MINUTOS .....	85
<b>FIGURA 28</b> - DETALHE DA RETIRADA DE ÁGUA EXSUDADA DO CONCRETO DURANTE O ENSAIO DE EXSUDAÇÃO.....	86
<b>FIGURA 29</b> - VOLUME DE ÁGUA EXSUDADA DURANTE O ENSAIO DE EXSUDAÇÃO .....	87
<b>FIGURA 30</b> - ABSORÇÃO E PORCENTAGEM DE VAZIOS DOS CONCRETOS.....	89
<b>FIGURA 31</b> - TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL DO CONCRETO PARA OS QUATRO TRAÇOS ANALISADOS .....	90
<b>FIGURA 32</b> - RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL PELA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	91
<b>FIGURA 33</b> - TRAÇÃO NA FLEXÃO DOS CONCRETOS .....	92
<b>FIGURA 34</b> - MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETOS .....	94
<b>FIGURA 35</b> - RELAÇÃO ENTRE MÓDULO DE ELASTICIDADE E RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL PARA ANÁLISE DA ÁREA ESPECÍFICA .....	96
<b>FIGURA 36</b> - DIAGRAMA DE DOSAGEM CONCRETOS COM RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 25,0 MPa .....	98
<b>FIGURA 37</b> - DIAGRAMA DE DOSAGEM CONCRETOS COM RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 35,0 MPa .....	98
<b>FIGURA 38</b> - DIAGRAMA DE DOSAGEM CONCRETOS COM RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 45,0 MPa .....	99
<b>FIGURA 39</b> - CONSUMO DE CIMENTO NOS CONCRETOS ANALISADOS.....	100
<b>FIGURA 40</b> - CONSUMO DE CIMENTO PELA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO .....	101

<b>FIGURA 41</b> - TRONCO DE CONE PROPOSTO POR GORISSE (1981).....	103
<b>FIGURA 42</b> - DETALHE DO ADENSAMENTO DA ARGAMASSA NO TRONCO DE CONE .....	103
<b>FIGURA 43</b> - DETALHE DA MEDIÇÃO DO ABATIMENTO DA ARGAMASSA.....	104
<b>FIGURA 44</b> - GRANULOMETRIA A LASER DO AGREGADO MIÚDO NATURAL .....	106
<b>FIGURA 45</b> - GRANULOMETRIA A LASER DO AGREGADO MIÚDO CALCÁRIO.....	106
<b>FIGURA 46</b> - GRANULOMETRIA A LASER DO AGREGADO MIÚDO BASALTO .....	106
<b>FIGURA 47</b> - PÓRTICO METÁLICO COM RELÓGIO COMPARADOR.....	109
<b>FIGURA 48</b> - RESULTADOS DO ENSAIO DE RETRAÇÃO POR SECAGEM .....	110

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> - PROPRIEDADES DO CONCRETO INFLUENCIADO PELAS CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO .....	22
<b>TABELA 2</b> - HIERARQUIZAÇÃO DOS DIFERENTES GRAUS DE IMPORTÂNCIA DAS PROPRIEDADES DAS ROCHAS E DE AGREGADOS, CONFORME O TIPO DE APLICAÇÃO DESTES .....	31
<b>TABELA 3</b> - NORMAS UTILIZADAS PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE AGREGADOS .....	31
<b>TABELA 4</b> - CLASSES DE TERMOS EMPREGADOS NO ESTUDO DAS PROPRIEDADES DO ESTADO FRESCO .....	54
<b>TABELA 5</b> - RESUMO DAS PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS FÍSICAS FÍSICAS QUANTO AS QUESTÕES REOLÓGICAS .....	58
<b>TABELA 6</b> - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DO CIMENTO CP II Z 32 .....	63
<b>TABELA 7</b> - GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS MIÚDOS E GRAÚDOS.....	65
<b>TABELA 8</b> - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS AGREGADOS.....	66
<b>TABELA 9</b> - QUANTIDADE DE CORPOS-DE-PROVA UTILIZADOS NOS ENSAIOS DE CONCRETO ENDURECIDO .....	77
<b>TABELA 10</b> - TRAÇOS AJUSTADOS .....	78
<b>TABELA 11</b> - PORCENTAGENS RETIDAS INDIVIDUAIS E ACUMULADAS DOS CONCRETOS QUE COMPÕEM OS CONCRETOS AJUSTADOS.	79
<b>TABELA 12</b> - MASSA ESPECÍFICA APARENTE E TEOR DE AR INCORPORADO PELO MÉTODO GRAVIMÉTRICO .....	83
<b>TABELA 13</b> - ABSORÇÃO E ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO .....	88
<b>TABELA 14</b> - ÁREA ESPECÍFICA DOS CONCRETOS .....	95
<b>TABELA 15</b> – RESUMO DOS DIAGRAMAS DE DOSAGEM.....	99
<b>TABELA 16</b> - GRANULOMETRIA DO AMN .....	102
<b>TABELA 17</b> - TRAÇOS AJUSTADOS PARA IGUAIS GRANULOMETRIAS E DIFERENTES TEORES DE MATERIAL PULVERULENTO COM ABATIMENTO FIXADO EM $4,0 \pm 1,0$ cm.....	104
<b>TABELA 18</b> - TRAÇOS AJUSTADOS PARA IGUAIS GRANULOMETRIAS E TEORES DE MATERIAL PULVERULENTO COM ABATIMENTO FIXADO EM $4,0 \pm 1,0$ cm.....	105
<b>TABELA 19</b> - CONSUMO DE CIMENTO PARA OS TRAÇOS ANALISADOS .....	107

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND
ABNT	- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
AE	- ÁREA ESPECÍFICA
$Al_2O_3$	- ÓXIDO DE ALUMÍNIO
ASTM	- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
BS	- BRITISH STANDARD
C	- CONSUMO DE CIMENTO
CaO	- ÓXIDO DE CÁLCIO
CP	- CORPO DE PROVA
DMC	- DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA
DNPM	- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL
EPUSP	- ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
$Fe_2O_3$	- ÓXIDO DE FERRO
ME	- MASSA ESPECÍFICA
MF	- MÓDULO DE FINURA
MUc	- MASSA UNITÁRIA COMPACTA MÁXIMA
IC	- ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA
IPT	- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS
LACTEC	- INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO
LAME	- LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS
LAMIR	- LABORATÓRIO DE MINERAIS E ROCHAS
MF	- MÓDULO DE FINURA
NBR	- NORMA BRASILEIRA REGISTRADA
NM	- NORMA MERCOSUL
$SiO_2$	- ÓXIDO DE SILÍCIO
$SO_3$	- ÓXIDO DE ENXÔFRE
UFPR	- UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

## LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

a/c	- RELAÇÃO ÁGUA CIMENTO
$\alpha$	- TEOR DE ARGAMASSA SECA
%	- PORCENTAGEM
H	- RELAÇÃO ÁGUA/MATERIAIS SECOS
kg	- QUILOGRAMA
kg/m <sup>3</sup>	- QUILOGRAMA POR METRO CÚBICO
MPa	- MEGA PASCAL
GPa	- GIGA PASCAL
$\sigma$	- TENSÃO
mm	- MILÍMETROS
cm	- CENTÍMETROS
m	- METRO
m <sup>2</sup>	- METRO QUADRADO
m <sup>3</sup>	- METRO CÚBICO
min	- MINUTO
t	- TONELADA

## RESUMO

Os agregados miúdos naturais (AMN) são materiais utilizados na construção civil para a produção de argamassas e concretos. Em função das restrições legais impostas à extração de agregados miúdos naturais que incrementa a degradação ambiental, tem-se procurado pelo meio técnico substituir os agregados miúdos naturais. Uma possível alternativa para a sua substituição é o agregado miúdo resultante da britagem de rochas, considerado como rejeito industrial de pedreiras, também denominado de “bica corrida”, que contém todas as frações menores descartadas na produção de pedra brita. Os agregados miúdos provenientes de britagem possuem diferentes características em relação aos agregados miúdos naturais, entre as quais, destaca-se a presença de grande concentração de material pulverulento (material passante na peneira #200, 0,075 mm). Assim, este trabalho analisa a influência da substituição de agregados miúdos naturais (AMN) por agregados miúdos britados (AMB) na produção de concretos de cimento Portland. Para tanto, o trabalho apresenta o estudo de concretos, com emprego de agregados miúdos de basalto e de calcário em substituição aos agregados miúdos naturais. A análise experimental buscou compreender a influência desta substituição, observando as propriedades do concreto fresco e endurecido. No concreto fresco analisou-se a massa específica, consistência e exsudação do concreto. No concreto endurecido analisou-se a resistência à compressão, à tração na flexão, à tração por compressão diametral e o módulo de elasticidade. A partir da análise do consumo de cimento em concretos, desenvolveu-se um estado complementar em argamassas com agregado composto granulometricamente, para avaliar melhor a influência da granulometria e do teor de materiais pulverulentos nas propriedades estudadas. Com as argamassas de traço 1:2,25 em massa de cimento e areia com consistência constante fixada, avaliou-se o consumo de água e a retração por secagem. Concluiu-se que é viável a substituição integral de AMN por AMB desde que seja controlado o teor de material pulverulento e otimizada a granulometria, já que estes dois fatores exercem as principais influências nas propriedades e no consumo de cimento em concretos de cimento Portland.

## ABSTRACT

The tiny natural aggregate (TNA) are materials used at the civil construction, in the mortar and concrete production. Considering the legal restrictions imposed to the tiny natural aggregate extraction that increases the ambient degradation, it has been tried to substitute the natural for crushed ones. A possible alternative for the substitution is the fine aggregate resulting from the rock crushing process, considered as stone pit industrial refuse also called "bica corrida" and that contains all the minor fractions discarded at the stone crushing production. The fine aggregates originating in the stone crushing, own different characteristics in relation with the tiny naturals aggregates, among them stands out the presence of a great concentration of a dusty material (material that passes through the sieve #200, 0,075 mm). Therefore, the goal of this work had been to analyze the influence of the fine crushed aggregates (FCA) in comparison to the tiny naturals aggregates (TNA) at the concrete production. Thus, the work presents the concrete study, using tiny basalt and limestone aggregates in tiny naturals aggregates substitution. The experimental analyze, seek to understand the influence of this substitution, observing the fresh and dry concrete proprieties. At the fresh concrete it had been analyzed the specific mass, consistency and concrete exudation. At the dry concrete the study had observed the compression resistance, the bend tension, the tension by diametrical compression and elasticity module. From the cement consume study, it was developed a complementary study with mortars, considering the analyze of the consistency, that had used mini-cone, following the proposed by GORISSE (1981), and the realization of retraction by drying tests in prismatic tests corps. It had been possible to conclude that it is viable the substitution of the TNA by FCA, since the dusty material tenor, existing at the fine crushed aggregates (FCA) are controlled, to minimize the unwanted effects in relation with the granulometry, bringing on variations at the water/ cement relations, increase of the specific area and as consequence contributing to elevated cement consumes.

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A humanidade sempre dependeu dos recursos minerais para sua sobrevivência. Inicialmente as pedras eram empregadas mantendo as características naturais, em forma de seixos rolados e de lascas encontradas no meio ambiente, posteriormente foram modificadas, passando a ser utilizadas como instrumentos bélicos e produzindo fogo mediante atrito (HERRMANN, 1992).

A dependência humana do uso de recursos minerais é de 350 diferentes substâncias, sendo que são utilizadas quantidades significativas de insumos provenientes do reino mineral, comparativamente com recursos oriundos dos outros reinos da natureza. Estatísticas comprovam que, enquanto o consumo humano de insumos minerais varia de 2.000 a 20.000 kg/ano, o do reino vegetal o consumo varia de 400 a 500 kg/ano e, o do reino animal, de 300 a 350 kg/ano (HERRMANN, 2002).

O trabalho inicia-se considerando a produção de agregados que possui características típicas, como geração de grandes volumes produzidos, beneficiamento simples, baixo preço unitário e necessidade de proximidade das fontes de produção com o local de consumo, devido ao alto custo relativo do transporte.

Segundo CUCCHIERATO (2000), os agregados são os materiais de construção mais utilizados em todo o mundo. Em 16 países europeus é registrado o consumo médio de 511 t por habitante em toda a sua vida ou de 6 a 10 t/hab/ano. Nos EUA a taxa é de 8 t/hab/ano. No Brasil o consumo é de 2,1 t/hab/ano. Apesar do seu baixo valor unitário, o setor de agregados contribui com parcela importante do movimento financeiro da indústria mineral do país.

A Associação Nacional de Entidades de Produtores de Agregados para a Construção Civil (ANEPAC) tem registrado um significativo crescimento da produção dos agregados miúdos (SANTOS et al, 2005).

Excluindo os minerais energéticos, as pedras britadas ocupam atualmente no Brasil, o segundo lugar em valor de produção mineral e terceiro em quantidade produzida (84,8 milhões de m<sup>3</sup>). O agregado miúdo natural (AMN) ocupa o terceiro lugar em valor de produção e segundo em quantidade produzida (135,7 milhões de m<sup>3</sup>), conforme MINÉRIOS & MINERALES (2000).

Segundo ALMEIDA et al (2005), os recursos de agregados para a construção civil no Brasil são abundantes e em geral aos grandes centros consumidores, encontram-se em regiões geologicamente favoráveis a existência de reservas com qualidade adequada às aplicações na construção civil.

A qualidade dos agregados está diretamente ligada à qualidade do concreto, merecendo especial atenção os agregados miúdos, que sofrem com a escassez de reservas localizadas próximas dos grandes centros consumidores. Muitos fatores vêm contribuindo para esta escassez, entre eles o impacto de exploração.

A atividade de exploração é, por natureza, causadora de impactos ambientais.

Tais impactos são decorrentes da exploração, muitas vezes desordenada das jazidas e causam graves problemas ambientais, pois agredem as calhas naturais dos rios, levando a um aumento da vazão de água e acelerando o processo de erosão das margens.

A erosão acaba retirando a cobertura vegetal dessas áreas e tornando o solo estéril, sem crescimento de vegetação e sem possibilidade de recomposição do ambiente explorado. Neste sentido, a atual legislação vem obrigando os produtores a lançar mão de técnicas de gerenciamento e de extração ou até de interdição de jazidas que não atendem às suas exigências.

Com isso a busca, pelo meio técnico, de alternativas para a substituição total do agregado miúdo natural (AMN) tem aumentado significativamente, para fazer frente a esta escassez crescente de oferta e do decorrente aumento de preço do agregado miúdo no mercado.

Na produção dos agregados provenientes da britagem de rochas para a produção de agregados para concreto, ocorre a elevada geração de resíduos na

forma de “bica corrida<sup>1</sup>”, que ficam estocados nos pátios das pedreiras e são considerados rejeitos (FIGURA 1).



FIGURA 1 - Resíduo proveniente da britagem de rochas

A utilização desses rejeitos traz benefícios para o meio ambiente e maior lucratividade para as empresas produtoras uma vez que o material retirado das jazidas passa a ser mais bem aproveitado, reduzindo as perdas do processo e fornecendo alternativa para o mercado.

Esta alternativa de substituição do agregado miúdo natural (AMN) pelo agregado miúdo proveniente de britagem de rochas para a confecção de concreto, é denominado aqui de agregado miúdo britado (AMB).

Uma parcela significativa desta produção mundial de agregados é utilizada em concreto de cimento Portland. O concreto de cimento Portland é o segundo produto mais consumido no mundo, segundo dados da ABCP (2005), e o seu consumo atinge 2.700 kg/habitante/ano, enquanto que a água atinge 11.000 kg/habitante/ano. Suas propriedades como resistência à compressão e pouca permeabilidade, além da possibilidade de produção de peças de diferentes geometrias, são algumas das razões principais deste consumo.

---

<sup>1</sup> Material que passa por determinada peneira durante o processo de separação por tamanhos após a britagem, incluindo todos as partículas até as de mais finas dimensões.

Considerando que pelo menos três quartas partes do volume de concreto são ocupadas pelos agregados, sua qualidade apresenta considerável importância (NEVILLE, 1997). Assim, a necessidade de se buscar novas soluções torna-se importante. Este estudo analisa experimentos em concreto fresco e endurecido a fim de contribuir com o meio técnico quanto a informações referentes ao uso de agregados miúdos britados (AMB) para a produção de concreto.

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo Geral

Analisar experimentalmente a substituição integral do agregado miúdo natural por agregado miúdo britado proveniente de rocha calcária e basáltica em concretos de cimento portland.

## 1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho é composto por seis capítulos, desenvolvidos da seguinte maneira:

No Capítulo 1 é feita a introdução da pesquisa, destacando-se as justificativas e relevância, os objetivos, a estrutura do trabalho e suas limitações.

O Capítulo 2 fundamenta teoricamente o trabalho sobre a substituição dos agregados miúdos naturais por britados na fabricação do concreto.

O Capítulo 3 apresenta o programa experimental da pesquisa, os materiais e métodos utilizados, suas características e os ensaios realizados.

No Capítulo 4 é apresentada a análise dos resultados por meio dos dados obtidos no desenvolvimento experimental.

O Capítulo 5 finaliza este trabalho, trazendo as considerações finais, conclusões e sugestões para futuras pesquisas.

#### 1.4 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Esta pesquisa está concentrada no estudo experimental de concretos estruturais com substituição integral de agregados miúdos naturais (AMN) por agregados miúdos britados (AMB).

Para tanto se fez necessária a limitação do número de agregados utilizados no estudo, a saber: agregado miúdo natural, agregado miúdo de basalto, agregado miúdo de calcário, agregado graúdo de basalto e agregado graúdo de calcário. Esta limitação deve-se também a questões de transporte, estocagem e disponibilidade destes materiais para a realização dos ensaios.

A escolha dos experimentos foi determinada pela sua relevância, conforme a disponibilidade de laboratório, equipamentos, recursos materiais, humanos e financeiros destinados à pesquisa.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 GENERALIDADES

O desenvolvimento tecnológico dos agregados para concreto evolui, de uma certa forma, paralelamente ao desenvolvimento do concreto e de seus insumos que, em sua primeira fase evidenciava apenas as propriedades mecânicas (SBRIGHI NETO, 2005).

Para os agregados, bastava apresentar resistência mecânica adequada, por ser considerado um material inerte que servia como enchimento nas misturas e por ser abundante e de baixo custo era considerado um material secundário.

Com o incremento do uso do concreto, sua aplicação em larga escala logo colocou em evidência o seu verdadeiro papel e deu aos agregados a real importância técnica, econômica e social.

Nos últimos anos, o esgotamento das jazidas de agregado miúdo natural nas proximidades dos grandes centros consumidores, o aumento dos custos de transporte, o acirramento da competição comercial entre os produtores de concreto e a conscientização da sociedade, que demanda leis de proteção ambiental, vieram a contribuir para um melhor entendimento sobre a importância dos agregados (SBRIGHI NETO, 2005).

A constante preocupação com a preservação dos meios naturais tem incentivado à busca de alternativas para a substituição dos agregados miúdos naturais, e também, para que se encontre um destino para os volumes de rejeitos de britagem produzidos pelas pedreiras.

O estudo do aproveitamento dos resíduos de britagem não é um assunto novo, pois segundo NUGENT<sup>2</sup> (citado por MENOSSI, 2004), esse material já era utilizado em concretos há mais de um século em diversos países, como Estados Unidos e o Canadá.

---

<sup>2</sup> NUGENT F.R. Ensaio com areia artificial – Como melhorar seu concreto. In: Anais do Colóquio sobre “Agregados para Concreto”. IBRACON. p 1-29. São Paulo, 1979.p 1-29.

Os AMB são diferentes dos AMN porque suas partículas são angulosas e têm superfícies frescas, recém-criadas pela britagem, superfícies estas que não estão hidratadas ou oxidadas como as superfícies das partículas de AMN, que já passaram por um processo de intemperismo (CHAVES, 2005).

Na TABELA 1, a seguir SBRIGHI NETO (2003) relaciona algumas das características dos agregados às principais propriedades do concreto.

TABELA 1 - Propriedades do Concreto Influenciado pelas Características do Agregado

<b>Propriedades do Concreto</b>	<b>Características Relevantes do Agregado</b>
<b>Resistência Mecânica</b>	Resistência Mecânica Textura Superficial Limpeza Forma dos Grãos Dimensão Máxima
<b>Retração</b>	Módulo de Elasticidade Forma dos Grãos Textura Superficial Limpeza Dimensão Máxima
<b>Massa Unitária</b>	Massa Específica Forma dos Grãos Granulometria Dimensão Máxima
<b>Economia</b>	Forma dos Grãos Granulometria Dimensão Máxima Beneficiamento Requerido Disponibilidade

A NBR 7211/05 apresenta as características exigíveis para a recepção e produção de agregados miúdos e graúdos de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes de britagem de rochas. Esta norma define areia ou agregado miúdo como sendo areia de origem natural ou resultante da britagem de rochas estáveis, podendo também ser uma mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira 4,75 mm. O pó de pedra possui material pulverulento passante na peneira 200 e é considerada uma substância deletéria para o concreto, quando em

quantidades superiores às especificadas pela norma, com limites de 10% para concreto submetido a desgaste superficial e 12% para concreto protegido do desgaste superficial, desde que seja possível comprovar por apreciação petrográfica.

Um dos fatores que contribui para a substituição do AMN por AMB é a disponibilidade no mercado de novos equipamentos de britagem, como os impactadores de eixo vertical (FIGURA 2), que superam uma das principais restrições apresentadas pelos AMB: a dificuldade de trabalhabilidade do concreto, provocada pelo formato inadequado dos grãos, que geralmente se apresentam na forma lamelar ou alongado. Esse tipo de britador proporciona a fragmentação por meio de impacto, rocha contra rocha, utilizando um rotor de alta velocidade que lança um fluxo contínuo de pedras numa câmara de britagem recoberta pelo mesmo material que é britado. A velocidade de saída das partículas do britador varia de 50 a 150 m/s. Esse britador é adequado para a produção de AMB, onde o produto final é constituído por partículas equidimensionais (ALMEIDA e SAMPAIO, 2002).



FIGURA 2 - Britador de Eixo Vertical VSI (METSO, 2006)

## 2.2 CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Os agregados são materiais granulares, sem forma ou volumes definidos, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia civil, conforme OLIVEIRA e BRITO<sup>3</sup> (citado por FRAZÃO e PARAGUASSU, 1998). Estes podem ser classificados quanto à sua origem (naturais / artificiais), à densidade (leves / normais / pesados) e conforme o tamanho dos fragmentos (graúdos / miúdos).

Segundo a definição da NBR 7225/93, agregado é o material natural, de propriedades adequadas ou obtido por fragmentação artificial de pedra, de dimensão nominal máxima inferior a 152 mm e de dimensão nominal mínima igual ou superior a 0,075 mm.

A terminologia dos agregados é definida de acordo com a norma da ABNT NBR 9935/05. Esta norma define os termos relativos a agregados mais comumente empregados em concreto e argamassa de cimento.

Seguem abaixo as terminologias adotadas segundo a NBR 9935/07:

Termos relativos à natureza:

- agregado: material granular, geralmente inerte com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa e concreto.
- agregado natural: material pétreo que pode ser utilizado tal como é encontrado na natureza, podendo ser submetido à lavagem, classificação ou britagem.
- agregado artificial: material resultante de processo industrial, para uso como agregado em concreto e argamassa.
- agregado reciclado: material obtido de rejeitos, subprodutos da produção industrial, mineração, o processo de construção ou demolição da construção civil, incluindo agregados recuperados de

---

<sup>3</sup> OLIVEIRA, A.M.S. BRITO, S.N.A. Geologia de Engenharia. ABGE – Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. p 331-342. São Paulo 1998.

concreto fresco por lavagem.

- agregado especial: agregado cujas propriedades podem conferir ao concreto ou argamassa um desempenho que permita ou auxilia no atendimento de solicitações específicas em estruturas não usuais.
- areia: agregado miúdo originado através de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou proveniente de outros processos industriais. É chamado de areia natural se resultante de ação de agentes da natureza, de areia artificial quando proveniente de processos industriais, de areia reciclada, quando proveniente de processos de reciclagem, e de areia de britagem quando proveniente do processo de cominuição mecânica de rocha, conforme normas específicas.

Termos relativos a dimensões (NBR NM 248):

- pedrisco: material resultante da britagem de rocha cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 12,5 mm e ficam retidos na peneira de malha 4,75 mm.
- pedrisco misto; pedregulho misto: material resultante da britagem de rocha ou não que passa pela peneira com abertura de malha 12,5 mm.
- agregado miúdo: agregado cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha 150  $\mu$ m.
- pó de pedra: material resultante da britagem de rocha que passa na peneira de malha 6,3 mm.
- fíler: material granular que passa na peneira com abertura de malha 150  $\mu$ m.
- agregado misto: agregado natural ou resultante da britagem de rochas, cuja obtenção ou beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos.

Termos relativos a propriedades e características:

- materiais pulverulentos: partículas com dimensão inferior a 75  $\mu\text{m}$ , inclusive os materiais solúveis em água, presentes nos agregados.

Na FIGURA 3, é apresentado as faixas granulométricas recomendadas pela NBR 7211/04, para agregados miúdos.

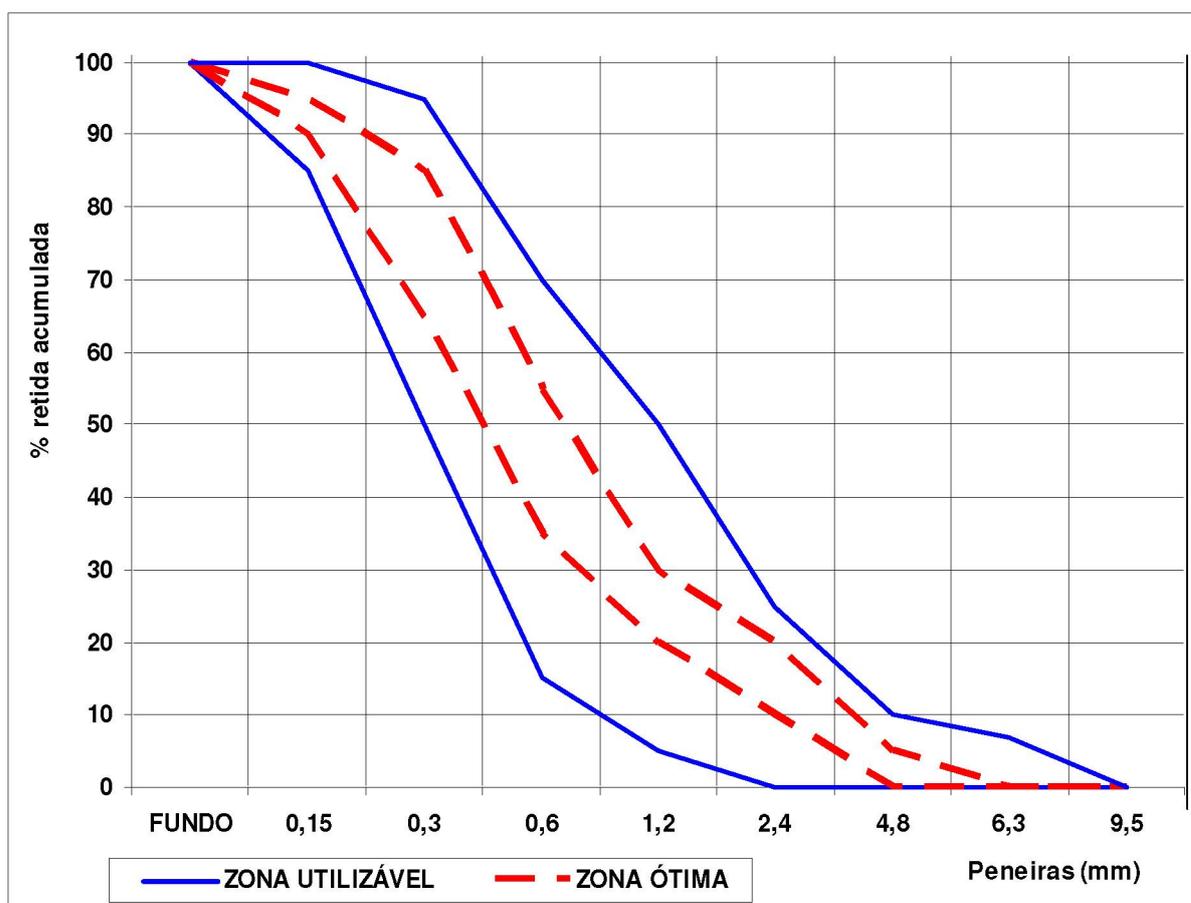


FIGURA 3 - Faixas granulométricas recomendadas pela NBR 7211/04

O AMN é um bem mineral constituído predominantemente por quartzo de granulação fina e pode ser obtido a partir de depósitos nos leitos de rios e planícies aluviais, rochas sedimentares e mantos de alteração de rochas cristalinas. De acordo com o tipo de depósito mineral, varia o processo de lavra, que pode ser por desmonte hidráulico, escarificação ou simplesmente por dragagem (SUGUIO, 1980).

O beneficiamento do AMN é bastante simples, baseado em classificação por peneiras, silos de decantação ou hidrociclones, que separam as frações granulométricas a diversos setores de aplicação e a comercialização do material mais graúdo, separado nas primeiras peneiras estáticas, que são os cascalhos, pedregulhos ou pedriscos (FRAZÃO, 2002).

O termo areia tem também a conotação granulométrica. Segundo CARUSO e SBRIGHI NETO (1983), areia é um material granular, não coesivo e constituído de partículas de dimensões que variam de 0,06 a 2,0 mm. Estes autores apresentam ainda a definição da ABNT para uso na engenharia civil, que apresenta a areia como um solo constituído por grãos minerais, cuja maioria aparente tem diâmetro entre 0,05 e 4,8 mm, caracterizando-se pela sua textura, compactidade e forma dos grãos.

Utilizam-se subdivisões granulométricas para classificar o AMN conforme a utilidade em grossa (2,0 mm / 1,2 mm), média (1,2 mm / 0,42 mm) e fina (0,42 mm / 0,075 mm), com limite inferior, portanto, de 0,075 mm.

Nos portos de areia, em leito de rio e cava submersa, praticamente todo o material extraído é comercializado, e os resíduos (predominantemente silicosos e de granulação menor que 0,075 mm) retornam ao local em lavra, para preenchimento da cava.

Na construção civil, o principal uso deste material é agregado para concreto, argamassa, filtros, abrasivos, bases de pavimentos de concreto e asfalto, dentre outros. O principal consumidor de AMN costuma ser o pequeno construtor, que responde por cerca de 80% do consumo total, ficando o empreiteiro em segundo lugar. O outro segmento que mais o utiliza é o de pavimentação de ruas e rodovias (FRAZÃO, 2002).

Já o agregado miúdo produzido no processo de cominuição e classificação da brita é denominado AMB, artificial ou industrial, segundo critérios de classificação pela origem e aplicação, respectivamente.

A brita é obtida a partir da exploração de maciços rochosos e caracteriza-se como um material que, depois de sofrer desmonte por explosivos, britagem e classificação, pode ser usada *in natura*, ou misturada com outros insumos (cimento, asfalto, areia, etc.) e utilizada na construção civil.

Segundo DNPM (2000) o uso de brita é distribuído no Brasil com 50 % destinados a produção de concreto de cimento *Portland*, 30 % para concretos betuminosos, 13 % para artefatos de cimento pré-moldados e 7 % destinados a outros usos.

Nas pedreiras, são bastante diversos os produtos classificados durante o beneficiamento da brita, variando conforme o processamento que ocorre a seco ou a úmido. Se a seco, costuma-se comercializar e ou estocar o pó de pedra, e se a úmido, separar a areia de brita e enviar a “lama” para bacias de decantação conforme apresentado na FIGURA 4.



FIGURA 4 - Bacia de decantação

Os finos de pedreira são caracterizados por apresentar material de granulometria com percentual abaixo de 0,075 mm, em suspensão na água. A produção dos finos, limitada a deslamagem da areia na produção de brita com processo de beneficiamento a úmido, apesar de não ser tão significativa em termos quantitativos, é um grande problema ambiental, quanto à sua disposição. Trata-se de um material gerado como uma polpa muito diluída que é disposta em bacias de decantação ou lagoas de captação (que abastecem o beneficiamento). Isto faz com que o assoreamento destes corpos d'água seja um agravante antieconômico ao processo produtivo.

O AMB acaba gerando problemas às pedreiras, com o seu armazenamento em pilhas estocagem expostas à ação dos ventos podendo liberar materiais particulados, que provocam poluição do ar e, sob a ação das chuvas, pode ocorrer deslocamento desse material para a rede de drenagem, provocando o entupimento das tubulações e assoreamento.

Estes fatores são agravados com a proximidade das comunidades instaladas nos arredores das mineradoras.

A porcentagem de finos gerados é da ordem de 10 a 15 % e é variável em função dos equipamentos de britagem e da natureza da rocha. Estima-se que a produção atual de finos de pedreira seja superior a 3 milhões de m<sup>3</sup> / ano e a porcentagem chega, em casos extremos, a corresponder a 40 % da produção total de pedras britadas, segundo estudo verificado no estado de São Paulo (CUCHIERATO, 2000).

## 2.3 CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DOS AGREGADOS

A correta utilização das rochas e demais materiais pétreos na construção civil requer o conhecimento prévio de suas propriedades e qualificar um material rochoso, é qualificar suas propriedades.

Segundo FRAZÃO (2002), as propriedades dos agregados que interessam à construção civil podem ser classificadas em geológicas, físicas e mecânicas.

As propriedades geológicas são, na verdade, propriedades químicas, mineralógicas e petrográficas e estão estreitamente ligadas à natureza da rocha, ou do agregado em foco. A natureza da rocha está refletida na composição mineralógica, resistência mecânica, textura, estrutura, bem como no grau (estado) e tipo de alteração mineralógica, além de propriedades daí decorrentes, como solubilidade, cristalinidade, alterabilidade, reatividade e forma das partículas na fragmentação.

As propriedades físicas e mecânicas são altamente influenciadas pelas propriedades geológicas. As físicas podem ser resumidas em: densidade, massa específica, porosidade, permeabilidade, capacidade de absorção d'água, dureza, calor específico, condutibilidade térmica, dilatação térmica, expansibilidade, adesividade, etc.

Todas estas propriedades podem ser convenientemente determinadas em laboratório e algumas também no campo, por técnicas apropriadas e conduzidas por procedimentos padronizados.

Para cada tipo de aplicação dos agregados é exigido o conhecimento de um conjunto de suas propriedades. A caracterização tecnológica de agregados para uso como material de construção é feita por meio de técnicas apropriadas que permitem conhecer as propriedades isoladamente ou em conjunto e de forma direta ou indireta.

Os agregados devem passar por uma caracterização tecnológica antes de serem utilizadas na construção. A caracterização deve, contudo, ser executada por procedimentos padronizados. A padronização de procedimentos é dito normalização e o produto é chamado de norma. A normalização permite tornar mais homogêneo e preciso o tratamento dado a um determinado assunto, tais como execução de ensaios e de análises, denominação adequada de materiais e processos, representação iconográfica e matemática das propriedades, especificação de qualidade requerida para materiais e serviços, dentre outros quesitos.

A qualidade de um agregado pode ser avaliada, também, a partir de informações sobre seu desempenho apresentado em obras e em condições de serviços semelhantes ao pretendido, além das informações fornecidas pelos ensaios tecnológicos.

Apresenta-se, a seguir, a TABELA 2 onde constam critérios de hierarquia de importância para caracterização de rochas e de agregados para construção, conforme FRAZÃO (2002).

TABELA 2 - Hierarquização dos diferentes graus de importância das propriedades das rochas e de agregados, conforme o tipo de aplicação destes.

Propriedades \ Aplicações	Concretos Hidráulicos (*)	Concretos Betuminosos (**)	Lastros Ferroviários
Características petrográficas	1	1	1
Índices físicos (x)	1	1	1
Distribuição granulométrica	1	1	1
Forma do agregado	1	1	1
Reatividade potencial	1	Na	Na
Adesividade	Na	1	Na
Alterabilidade	2	2	1
Resistência ao desgaste	1	1	1
Resistência ao impacto	2	2	1
Resistência ao esmagamento	1	2	1
Resistência à compressão	2	2	1
Resistência à flexão	3	3	3
Módulo de deformabilidade	2	3	3

Notas: (\*) Nos concretos hidráulicos, estão abrangidos os usos em edificações, pontes e pavimentos;

(\*\*) Nos concretos betuminosos, estão abrangidos os tipos usinados a quente e misturas *in loco*;

1 = muito importante; 2 = importante; 3 = pouco importante; na = não aplicável;

(x) = massa específica aparente, porosidade aparente e absorção.

Fonte: FRAZÃO, (2002).

A TABELA 3 apresenta as principais normas brasileiras para caracterizar as rochas e os agregados que delas provêm, conforme FRAZÃO (1998).

TABELA 3 - Normas utilizadas para avaliação das propriedades tecnológicas dos agregados.

Propriedades \ Usos	Concreto	Pavimentos	Lastro
Amostragem	NBR 7216/9941	nn	NBR 11541
Terminologia	NBR 7225/9935/9942	NBR 6502	nn
Petrografia	NBR 7389	IE 06	nn
Granulometria	NBR 7217	NBR 7217	nn
Materiais Pulverulentos	NBR 7219	np	NBR 7219
Impurezas Orgânicas	NBR 7220	np	np
Argila em torrões e materiais friáveis	NBR 7218	np	NBR 7218
Massa Específica, porosidade e absorção	NBR 6458	NBR 6458	NBR 6458
Forma	NBR 7809	ME 86	NBR 6954
Dilatação Térmica	Nn	nn	np
Massa unitária	NBR 7251/7810	np	nn
Adesividade	np	NBR 12583/12584	np
Reatividade	NBR 9773/9771/10340	np	np
Sais Solúveis	NBR 9917	np	np
Alterabilidade	NBR 12696/12697	ME 89	NBR 7702
Desgaste	nn	nn	np
Abrasão	NBR 6465	NBR 6465	NBR 6465
Impacto	nn	nn	NBR 8938
Esmagamento	NBR 9938	ME 42	nn
Compressão	nn	nn	NBR 6953
Flexão	np	np	np
Especificações	NBR 7211	NBR 7174/11803/ 11804/11806/ 12559/12564/12948	NBR 7914

Notas: NBR = Norma ABNT homologada pelo INMETRO; ME e IE = Norma DNER; nn = não normalizada, np = não pertinente. Fonte: FRAZÃO & PARAGUASSU (1998).

Com os resultados dos ensaios de caracterização dos agregados graúdos e miúdos, pode-se fazer uma avaliação da sua qualidade para atender o fim pretendido, conforme os limites apresentados nas normas do tipo especificações.

## 2.4 GRANULOMETRIA

A distribuição das partículas de um agregado segundo as suas dimensões é designada por granulometria e tem influência sobre as propriedades do concreto (SOUZA COUTINHO, 1999).

A granulometria é um parâmetro físico dos agregados utilizada tanto para a caracterização quanto para a sua classificação.

Se a granulometria é contínua (partículas distribuídas uniformemente por todas as dimensões da menor à maior) e se as partículas têm uma forma adequada, é possível obter-se um concreto compacto e resistente para um teor mínimo de cimento, reduzindo paralelamente, o risco de segregação (HEWLETT, 1998).

A área de superfície específica é a razão entre a área de superfície total e o volume das partículas de um agregado e é um dos fatores determinantes da quantidade de água necessária para a mistura. Portanto, em geral quanto maior a dimensão das partículas menor a área de superfície específica.

O agregado de maior dimensão, embora tenha uma área de superfície de aderência menor, relativamente ao agregado miúdo em concretos com as mesmas quantidades restantes componentes, leva à formação de uma zona de transição muito menos resistente, sendo este efeito ainda mais evidente em concretos com baixa relação água/cimento (ILLSTON e SPON, 1994).

Portanto, nestes casos para uma dada relação água/cimento, a resistência diminui com o aumento da dimensão máxima do agregado.

Segundo SOUZA COUTINHO (1999), estudos experimentais demonstram que o emprego de um agregado graúdo com DMC maior reduz a resistência do concreto com as mesmas quantidades dos demais componentes. Esta redução é

mais significativa em concretos com relações menores de água/cimento e para agregados com DMC superiores a 40,0 mm, conforme a FIGURA 5 a seguir.

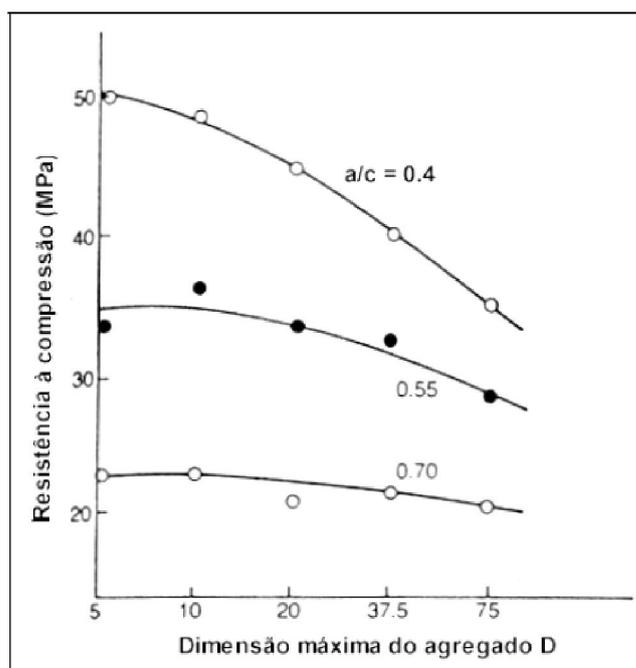


FIGURA 5 - Efeito da dimensão máxima do agregado graúdo e da relação água/cimento na resistência do concreto (ILLSTON e SPON, 1994).

Para partículas finas, de dimensão inferior a 150  $\mu\text{m}$  em que a área específica é grande, não é necessária uma quantidade de água proporcionalmente elevada, na medida que estas partículas parecem exibir efeitos de lubrificação sem estarem completamente molhadas (ILLSTON e SPON, 1994).

A influência do conteúdo de finos na trabalhabilidade varia de acordo com a quantidade de cimento. Em geral a influência da granulometria diminui com o aumento do teor de cimento, enquanto o aumento de finos pode afetar a coesão da mistura, podendo haver problemas de segregação (HEWLETT, 1998).

Em relação à quantidade de agregado usado num concreto, se este for aumentado com relação água/cimento constante, a resistência será superior, conforme apresentado na FIGURA 6 a seguir.

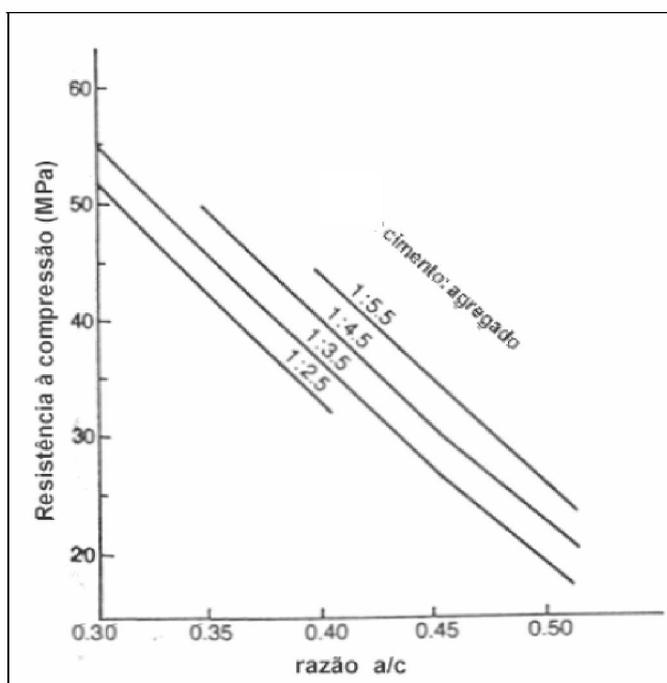


FIGURA 6 - O efeito da quantidade de agregado e da relação água/cimento na resistência do concreto (ILLSTON e SPON, 1994).

Este efeito é considerado válido apenas se a quantidade de pasta for suficiente para preencher os vazios do conjunto agregado graúdo/miúdo permitindo uma consolidação completa do concreto (ILLSTON e SPON, 1994).

## 2.5 FORMA DAS PARTÍCULAS

A forma das partículas dos agregados afeta o comportamento do concreto, pois tem influência na trabalhabilidade, no ângulo de atrito interno em estado fresco, compacidade, etc, isto é, nas propriedades que dependem da quantidade de água de amassamento (COUTINHO, 1973).

A forma das partículas do agregado pode ser descrita pelo uso de dois parâmetros designados por esfericidade e curvatura que tem sido usado para caracterização dos grãos conforme a FIGURA 7 (POOLE e SIMS, 1998).

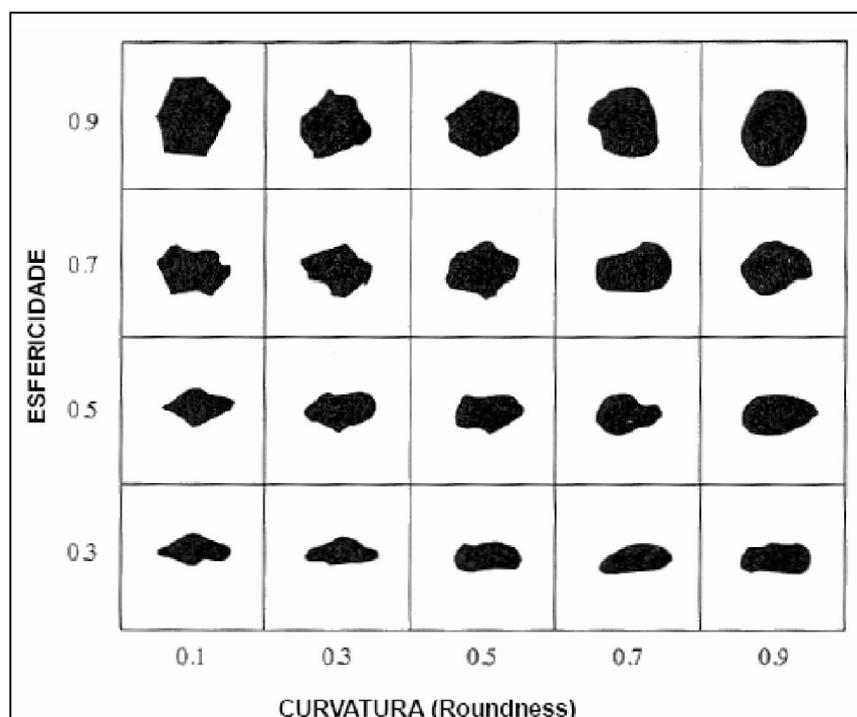


FIGURA 7 - Forma das partículas. (POOLE e SIMS, 1998).

A esfericidade é dada pelo diâmetro da partícula e pela DMC da mesma, enquanto a curvatura é o raio médio das extremidades e limites pelo raio de circunferência máxima inscrita de cada partícula.

De uma maneira geral considera-se que as partículas de elevada esfericidade, mas angulosas (com baixo valor do parâmetro curvatura) são as ideais para produção de concretos em comparação as partículas lamelares e alongadas (POOLE e SIMS, 1998), conforme a FIGURA 8 a seguir.



FIGURA 8 - Partícula alongada (indesejável) à esquerda e partícula desejável para concreto à direita (POOLE e SIMS, 1998).

### Índice de Lamelaridade

Segundo a norma *BSI 812 Section 105.1/89 Determination of particle shape - Flakiness index* e *EN 933-3/97 Tests for Flakiness properties of aggregates*, uma partícula é considerada lamelar quando a sua espessura é menor que 0,6 mm da sua dimensão nominal (média das aberturas das peneiras limites da fração da partícula). O índice corresponde à relação da massa das partículas lamelares pela massa da amostra.

### Índice de Alongamento

Uma partícula é considerada alongada quando o comprimento (maior dimensão) é igual ou superior a 1.8 da sua dimensão nominal. O índice corresponde ao quociente da massa das partículas alongadas pela massa da amostra (*BSI 812 Section 105.2/90 Elongation index of coarse aggregate*).

## Índice de Forma

Uma partícula é considerada não-cúbica se a razão entre o seu comprimento e largura (menor dimensão) é superior a 3. O índice corresponde ao quociente da massa das partículas não-cúbicas pela massa da amostra (*Final Draft EN 933-4/99 Test for geometrical properties of aggregates – part 4: Determination of particle shape*).

## 2.6 EMPACOTAMENTO DE PARTÍCULAS

Muitas propriedades dos materiais estão associadas ao empacotamento de partículas que os constituem.

Segundo McGEARY<sup>4</sup> (Apud PANDOLFELLI et al, 2000), o estudo do empacotamento de partículas pode ser definido como:

*“O problema da correta seleção da proporção e do tamanho adequado dos materiais particulados, de forma que os vazios maiores sejam preenchidos com partículas menores, cujos vazios serão novamente preenchidos com partículas ainda menores e assim sucessivamente”.*

Na FIGURA 9 a seguir, é apresentado segundo ROY<sup>5</sup> et al, (Apud PANDOLFELLI et al, 2000), o efeito da quantidade e do tamanho das partículas no empacotamento.

---

<sup>4</sup> McGEARY, R.K. Mechanical packing of spherical particles. Journal of the American Ceramic Society, v.44, p.513-522, 1961.

<sup>5</sup> ROY, D. M. SCHEETZ, B. E., SILSBEE, M. R. Processing of optimized cements and concretes via particle packing. Journal of Materials Education, v.15, p.1-16, 1993.

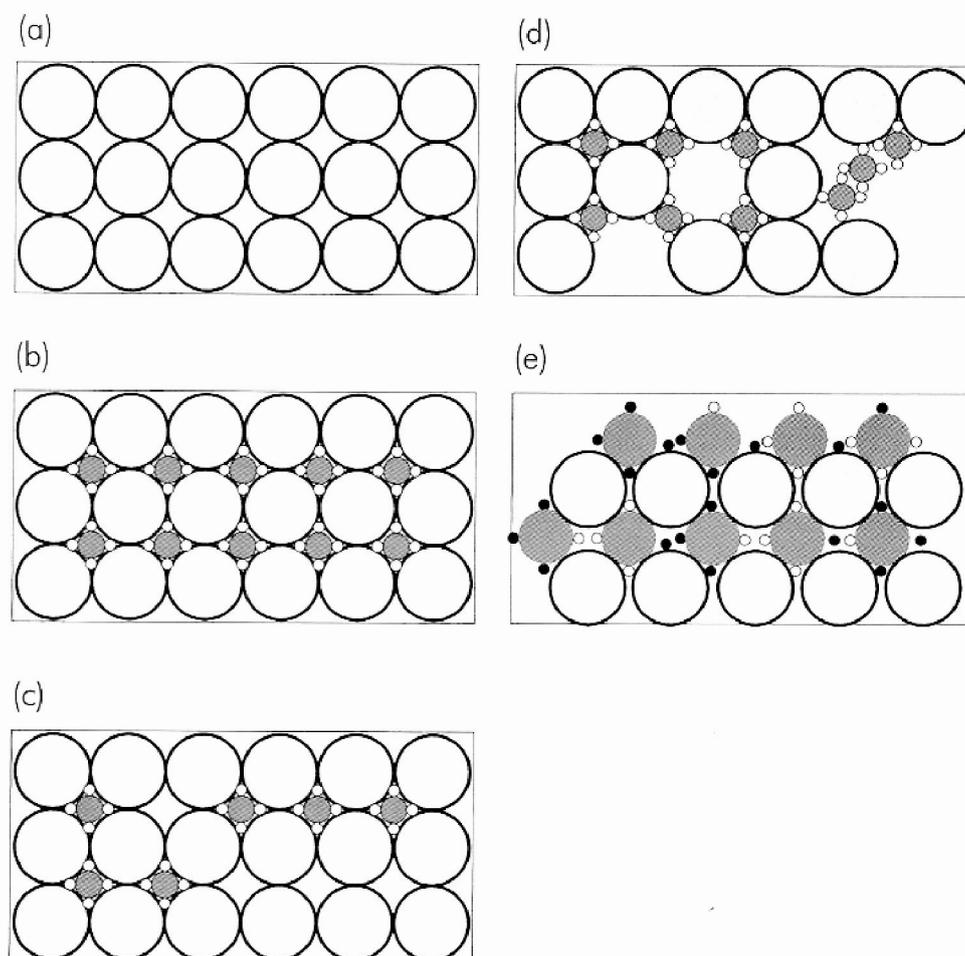


FIGURA 9 - Efeito da quantidade e do tamanho das partículas na eficiência de empacotamento: (a) sistema monodisperso, (b) máxima densidade de empacotamento teórico, (c) deficiência de partículas pequenas, (d) deficiência de partículas grandes, (e) distribuição inadequada de tamanhos de partículas. Fonte: PANDOLFELLI et al, (2000).

A morfologia é um fator que pode alterar a condição de empacotamento das partículas de uma mistura, pois quanto mais distante do formato esférico for a partícula, menor será o grau de empacotamento de uma distribuição e, a quantidade de superfícies irregulares de partículas, leva a uma fricção interparticular (PANDOLFELLI et al, 2000).

Através do controle da distribuição granulométrica é possível otimizar a densidade de empacotamento em sistemas compostos por partículas não esféricas.

## 2.7 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

### 2.7.1 Segregação

Segregação é a perda de uniformidade da distribuição dos componentes do concreto fresco. As diferenças nas massas específicas e nos tamanhos das partículas dos materiais constituintes do concreto são as causas primárias da segregação.

Segundo GUIMARÃES (2005), é possível identificar duas formas de segregação: uma é a tendência dos agregados maiores em se separarem por deslocamento ao longo de declives ou sedimentar mais do que as partículas menores. A outra é a tendência da pasta do concreto em se separar dos agregados. O primeiro caso ocorre em misturas pobres e secas, e o segundo caso ocorre na adição excessiva de água.

Segregação excessiva pode ocorrer em concretos pouco coesivos devido à facilidade de deslocamento dos agregados em relação à pasta fresca. A adição de finos aumenta a coesão do concreto, portanto o aumento do teor de cimento ou o uso de adições tornam o concreto menos sujeito à segregação. O ar incorporado atua como um material fino, diminuindo a segregação.

GUIMARÃES (2005), afirma que não existem ensaios para medir a segregação. A existência de segregação pode ser obtida por observações como o ensaio de abatimento do tronco de cone e o ensaio de espalhamento.

Os concretos de menor coesão apresentam maior tendência à segregação. Em concretos endurecidos podem-se realizar inspeções visuais na própria estrutura ou em testemunhos extraídos para verificação de existência da segregação.

## 2.7.2 Exsudação

Segundo NEVILLE (1997), a exsudação é uma forma de segregação, caracterizada pela separação da água do concreto, em que parte da mistura tende a subir para a superfície de um concreto recém aplicado. O seu resultado é proveniente da incapacidade dos constituintes sólidos da mistura reter a água presente, sendo ela o componente de menor massa específica.

A água de exsudação pode influenciar a qualidade do concreto. Quando a água exsudada é remisturada ao concreto durante a fase de acabamento, a sua superfície pode formar uma camada pouco resistente e de pouca aderência, caso ocorra evaporação de água da superfície do concreto com velocidade antes do fenômeno de exsudação, pode ocorrer fissuração por retração plástica.

GUIMARÃES (2005), explica que uma parcela da água que sobe à superfície fica aprisionada sob partículas de agregado graúdo e sob barras de armadura, criando regiões de aderência enfraquecida, deixando bolsas ou lentes, e como todos os vazios seguem a mesma orientação, aumentando a permeabilidade do concreto.

Exsudação não é um fenômeno necessariamente prejudicial, se não for perturbado e a água evaporar, a relação água/aglomerante efetiva pode ser diminuída aumentando-se a resistência, mas no caso da água que sobe trazer uma quantidade considerável de partículas finas como cimento, podem-se formar camadas fracas e porosas.

A tendência à exsudação depende muito das propriedades do cimento utilizado, podendo ser diminuída aumentando-se a finura do cimento, sendo que as partículas mais finas se hidratam mais cedo, devido à menor velocidade de sedimentação (GUIMARÃES, 2005).

A presença de uma proporção adequada de partículas muito finas de agregado, especialmente as menores de 150  $\mu\text{m}$ , reduz significativamente a exsudação. O uso de AMB não resulta necessariamente menor exsudação do concreto do que AMN com partículas arredondadas. Pode-se reduzir a exsudação quando o AMB conter excesso de material fino, até cerca de 15% passante na

peneira 150  $\mu\text{m}$ , mas o material muito fino deve consistir de pó de pedra e não de argilo-minerais (NEVILLE, 1997).

As misturas mais ricas com maior consumo de cimento tendem à menor exsudação do que as mais pobres.

Entre os componentes do concreto, a água é o material de menor densidade, tendendo a subir para a superfície. Um concreto com dosagem bem elaborada e com agregados de qualidade, minimiza o aparecimento da exsudação.

Segundo HEWLETT (1998), a exsudação, pode ter efeitos diversos no concreto. Cabe aqui citar:

- quando a água de exsudação encontra-se presa entre duas camadas de concreto, irá resultar num material poroso, fraco e com pouca durabilidade;
- se a água de exsudação for remisturada durante o processo de acabamento, o resultado será uma superfície pouco resistente à abrasão;
- se a evaporação da água de superfície for mais rápida que a exsudação, isto poderá levar a retração plástica;
- o processo de cura está diretamente relacionado com os problemas advindos ou não da exsudação.

### 2.7.3 Consistência

GORISSE (1981), apresenta o estudo do abatimento do concreto, para avaliar a consistência com diferentes tamanhos de troncos de cones, para que se possa realizar análise com e sem agregados graúdos, de forma a minimizar o efeito parede provocado pelo tronco de cone de tamanho 10x20x30,0 cm.

Apartir desta análise é possível fazer uma análise comparativa dos métodos usuais de medida de consistência em argamassas e concretos, sendo que

em argamassas o ensaio consiste em promover impactos em mesa metálica e medição do diâmetro em condições que promovem a viscosidade. Já no concreto, não ocorre os impactos na medida da consistência do tronco de cone, tornando visível a tendência de escoamento do concreto.

Neste trabalho é utilizado um tronco de cone segundo GORISSE (1981), no estudo complementar com argamassas visando obter informações referentes ao consumo de cimento das misturas com mesma consistência fixada.

Os tamanhos dos troncos de cone propostos por GORISSE (1981) possuem as seguintes dimensões: 25,0x50,0x75,0 cm; 20,0x40,0x60,0 cm; 10,0x20,0x30,0 cm (NBR NM 67/98); 5,0x10,0x15,0 cm e 2,5x5,0x7,5,0 cm, conforme apresentado na FIGURA 10.



FIGURA 10 - Troncos de Cone propostos por GORISSE (1981).

## 2.8 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

### 2.8.1 Resistência à Compressão Axial

A resistência à compressão é uma das propriedades mais importantes do concreto endurecido, sendo a principal referência utilizada para classificação de concretos, quanto as propriedades mecânicas.

Em comparação com outras propriedades, a resistência à compressão axial é o ensaio mais utilizado, sendo que no Brasil este ensaio é realizado de acordo com a norma NBR 5739/94.

A determinação da resistência à compressão pode ser uma medida de qualidade do concreto, por estar relacionada à estrutura interna do material (NEVILLE, 1997). Estas medidas permitem obter estimativas de desempenho do concreto em termos mecânicos e conseqüentemente em termos de durabilidade.

Segundo METHA e MONTEIRO (2005), a resistência à compressão do concreto não depende somente da solicitação à qual o corpo-de-prova estará sujeito, mas também da combinação de diversos fatores internos e externos, que podem afetar o resultado obtido dos ensaios, conforme ilustra a FIGURA 11.

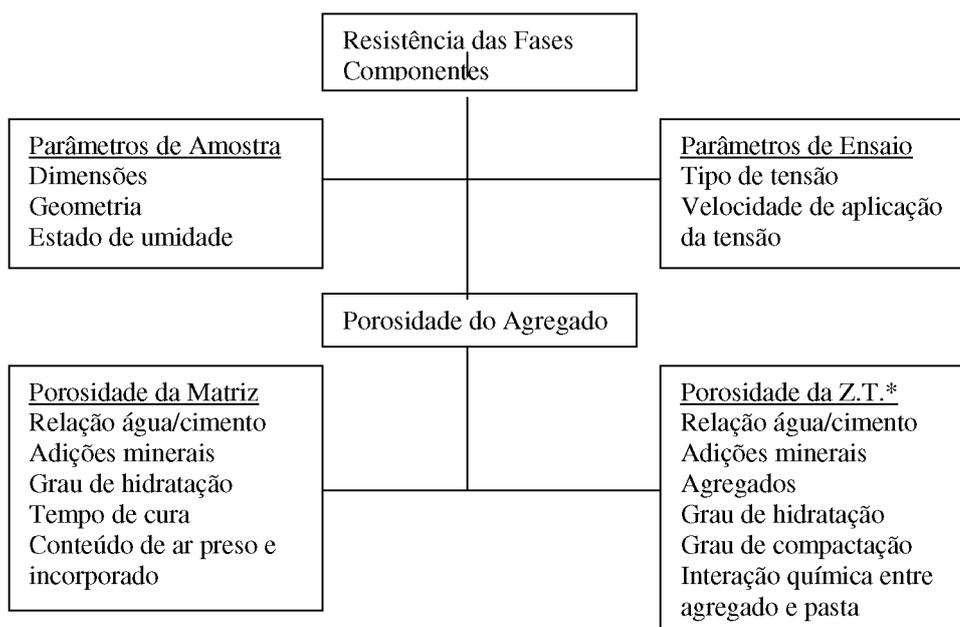


FIGURA 11 - Interação dos fatores que influenciam a resistência do concreto

\* ZT = zona de transição. (MEHTA e MONTEIRO, 2005).

Na prática, considera-se que o aumento da relação água/cimento, principal fator que influencia a resistência à compressão, ocasiona o aumento da porosidade da pasta de cimento e da zona de transição entre a pasta e o agregado (MEHTA e MONTEIRO, 2005).

O valor da resistência à compressão é obtido em ensaios de ruptura de corpos-de-prova de concreto para cada idade de controle, geralmente 1 dia, 3 dias, 7 dias, 21 dias e 28 dias após a moldagem. Este valor é influenciado diretamente pelo tamanho e formato dos corpos-de-prova. As dimensões padrão mais utilizadas em normas internacionais possuem a forma cúbica 15,0 x 15,0 x 15,0 cm e as cilíndricas de 10,0 x 20,0 cm e 15,0 x 30,0 cm (ALMEIDA, 1990). O formato cúbico é mais utilizado na Europa e o cilíndrico nos Estados Unidos e Brasil (MEHTA e MONTEIRO, 2005).

### 2.8.2 Resistência à Tração por Compressão Diametral

O ensaio de resistência à compressão diametral é conhecido internacionalmente como *“Brazilian Test”*, por ser desenvolvido pelo pesquisador brasileiro Lobo Carneiro (NBR 7222/94), conforme detalhe da FIGURA 12.



FIGURA 12 - Detalhe do ensaio de Tração por Compressão Diametral

Este ensaio consiste em submeter corpos-de-prova cilíndricos de concreto a cargas de compressão ao longo de duas linhas axiais, diametralmente opostas. A tensão de compressão produz uma tensão de tração quase uniforme normal ao plano de carregamento. O valor da resistência à tração é calculado pela equação  $T=2.P/\pi.l.d$ , onde  $T$  é a resistência de tração,  $P$  a carga de ruptura,  $l$  o comprimento e  $d$  o diâmetro do corpo-de-prova.

Segundo DE LARRARD (1992), a resistência à tração por compressão diametral atinge o seu valor máximo por volta dos 14 dias, ao contrário da resistência à compressão, que pode aumentar 10 a 20% de seu valor após os 14 dias. Estes percentuais podem sofrer alterações conforme o tipo de concreto analisado.

### 2.8.3 Resistência à Tração na Flexão

A determinação da resistência à tração na flexão segundo a NBR NM 55/96, é realizada em corpos-de-prova prismáticos com dimensões 15,0 x 15,0 x 50,0 cm, sendo que no ensaio, o vão livre possui 45,0 cm, conforme detalhe apresentado na FIGURA 13. São moldados em duas camadas quando adensados por haste de socamento com 60 golpes por camada ou em uma única camada quando adensado através de vibrador elétrico.



FIGURA 13 - Detalhe do ensaio de Tração por Flexão

#### 2.8.4 Módulo de Elasticidade

O módulo de elasticidade é importante para a análise das deformações ocorridas em estruturas de concreto, sendo que os elementos estruturais devem ser projetados de modo a sofrer apenas pequenas deformações (BEER e JOHNSTON, 1995). Contudo sabe-se também que qualquer tensão aplicada ao concreto é acompanhada de uma deformação ou o contrário, e que também podem surgir novas deformações por outros fatores (NEVILLE, 1997). Desta maneira, torna-se determinante para avaliar mais precisamente o comportamento das deformações de estruturas de concreto conhecer a influência de diferentes materiais constituintes no módulo de elasticidade dos concretos.

Segundo (MEHTA e MONTEIRO, 2005), o módulo de elasticidade pode ser definido como sendo a relação entre a tensão aplicada e a deformação instantânea dentro de um limite proporcional adotado. O módulo de elasticidade no concreto é dado pela declividade da curva de tensão-deformação sob carregamento uniaxial, segundo o que prescreve a NBR 8522/03. Esta norma determina três métodos de determinação dos módulos de deformação longitudinal, resumido segundo HELENE (2002):

- Módulo de deformação, estático e instantâneo, tangente à origem, também conhecido como módulo de elasticidade tangente inicial. Do ponto de vista prático de ensaio corresponde ao módulo de elasticidade cordal entre  $0,5$  e  $0,3f_c$ . Convenciona-se indicar este módulo de deformação por  $E_{ci}$ , geralmente expresso em GPa.
- Módulo de deformação, estático e instantâneo, secante a qualquer porcentagem de  $f_c$ . Em geral trabalha-se com o módulo cordal entre  $0,5$  e  $0,4 f_c$ , que é equivalente ao módulo de elasticidade secante a  $0,4f_c$ , pois esta é geralmente a tensão nas condições de serviço recomendadas nos códigos e normas de projeto de estruturas de concreto. Convenciona-se indicar este módulo de deformação  $E_c$ , geralmente expresso em GPa.
- Módulo de deformação, elástico e instantâneo, cordal entre quaisquer intervalos de tensão ou deformação específica. Do ponto de vista prático de projeto é pouco utilizado.

Na FIGURA 14, é verificado o comportamento do módulo para pasta de cimento, agregado e concreto, mostrando que concretos com maior quantidade de pasta tendem a obter menores módulos de deformação (MEHTA e MONTEIRO, 1994).

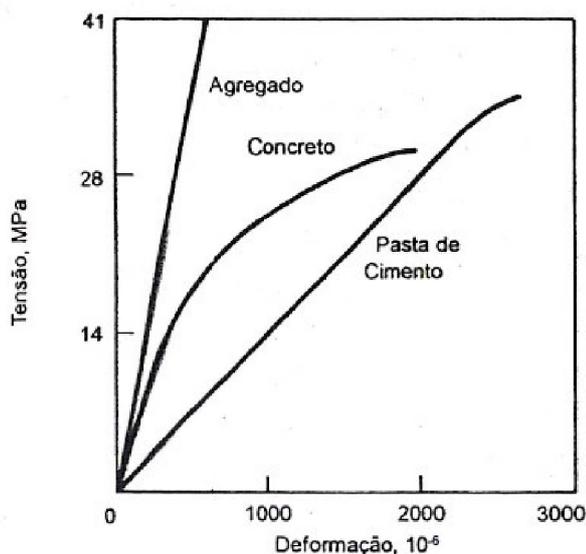


FIGURA 14 - Comportamentos típicos tensão-deformação de pasta de cimento, agregado e concreto. (Baseado em T.C. Hsu, ACI Monograph 6, 1971, p.100) MEHTA e MONTEIRO, 1994.

### 2.8.5 Retração por secagem

A retração, devido a sua complexidade e a multiplicidade de fatores que a influenciam, é um fenômeno não tão conhecido pelo meio técnico.

A secagem do concreto é o resultado da evaporação de uma parte da água contida dentro da rede de poros capilares, que estão ligados à superfície, devido a um desequilíbrio entre a umidade relativa do ar e dos vazios capilares (AÏTCIN, 2000; METHA e MONTEIRO, 2005).

Entretanto, à medida em que a água continua a deixar o concreto, meniscos se desenvolvem em capilares cada vez mais finos provocando um aumento das forças capilares geradas dentro do concreto (AÏTCIN, 2000).

As forças desenvolvidas dentro dos vazios capilares (tensões capilares) são inversamente proporcionais ao diâmetro desses capilares. Enquanto essas forças capilares forem menores que a resistência à tração do concreto, o concreto se contrai de maneira elástica (AÏCTIN, 2000).

Portanto, a retração por secagem é um fenômeno relacionado com a remoção de água adsorvida da pasta de cimento hidratada, que possui como força motriz a umidade relativa diferencial entre o meio ambiente e a pasta. Este fenômeno se inicia na superfície do concreto e progride para dentro do concreto com mais ou menos velocidade, dependendo da compacidade da mistura e umidade do ambiente, podendo esta retração diferencial originar restrições internas que podem ser causa de microfissuração (AÏCTIN, 2000).

O aumento da retração por secagem pode ocasionar maior microfissuração interna no material cimentício e caminhos preferenciais para acesso de água e agentes agressivos.

Diversos fatores podem influenciar a retração por secagem dos concretos, como os materiais constituintes e dosagem dos concretos, seu teor de água, a relação água/cimento, o tempo e a presença de adições minerais (METHA e MONTEIRO, 2005; NEVILLE, 1997).

A proporção e os tipos de materiais empregados na mistura de concreto determinam a fração volumétrica de pasta hidratada, a fração volumétrica de vazios e, conseqüentemente, influenciam na deformação por retração por secagem. O aumento do teor de agregado na mistura pode aumentar a restrição e reduzir a retração por secagem nos concretos (NEVILLE, 1997; METHA et al, 2005).

O aumento do teor de água influencia diretamente na quantidade de água a ser removida por secagem e, indiretamente reduzindo o volume de agregado que exerce restrição (NEVILLE, 1997).

A relação água/cimento influencia diretamente a retração por secagem, pois esta determina a quantidade de água evaporável na pasta de cimento e a velocidade à qual a água pode se deslocar para a superfície do concreto. A relação a/c determina também a estrutura de poros da pasta hidratada e, conseqüentemente, o grau de facilidade de remoção da água (NEVILLE, 1997).

A remoção de água dos poros capilares para o meio ambiente é um processo que depende do tempo de exposição e das condições do meio ambiente em que a estrutura está inserida.

Para as mesmas condições ambientais (temperatura e umidade relativa) ocorre um aumento na retração por secagem com o aumento do tempo. Para o mesmo intervalo de tempo, o aumento da umidade relativa provoca uma redução no fluxo de umidade do interior do concreto para a superfície e, conseqüentemente, ocorre uma redução na retração por secagem (METHA e MONTEIRO, 2005).

## 2.9 CONCRETO COM FINOS

Os agregados, subdivididos em graúdos e miúdos em função da DMC dos grãos, ocupam de 60% a 80% do volume do concreto, conforme SOBRAL (1990). Em se tratando de resistência à compressão dos concretos, ALMEIDA (1990) cita as características dos agregados que mais influenciam: sua própria resistência à compressão, módulo de deformação longitudinal da rocha mãe, granulometria, DMC, módulo de finura, forma, textura superficial, natureza mineralógica e absorção. Em relação aos agregados miúdos, tanto os AMN, em geral quartzosos, quanto os AMB, obtidos por britamento de rocha, podem ser utilizadas.

Segundo ALMEIDA (1990), é preferível que se use uma granulometria descontínua, devendo ainda o agregado miúdo apresentar preferivelmente um módulo de finura superior a 2,8, ou seja, classificado como grosso segundo a NBR-7211/05, isto para que haja uma menor demanda de água de amassamento e pelo fato de este tipo de concreto já apresentar uma grande quantidade de finos devido ao maior consumo de cimento e uso da sílica ativa.

### 2.9.1 Trabalhabilidade

Quando o concreto é lançado e adensado é importante que atinja a melhor compactação possível. Para que isso ocorra é necessário expulsar ao máximo o ar aprisionado durante as etapas de mistura, transporte e lançamento, adensando o concreto sem o desagregar. O concreto deve se manter nessa condição até o acabamento final da peça estrutural.

Mesmo para proporções pequenas de ar aprisionado, há uma considerável perda de resistência à compressão do concreto e maior facilidade de penetração de agentes agressivos, diminuindo a vida útil da estrutura (FIGURA 15).

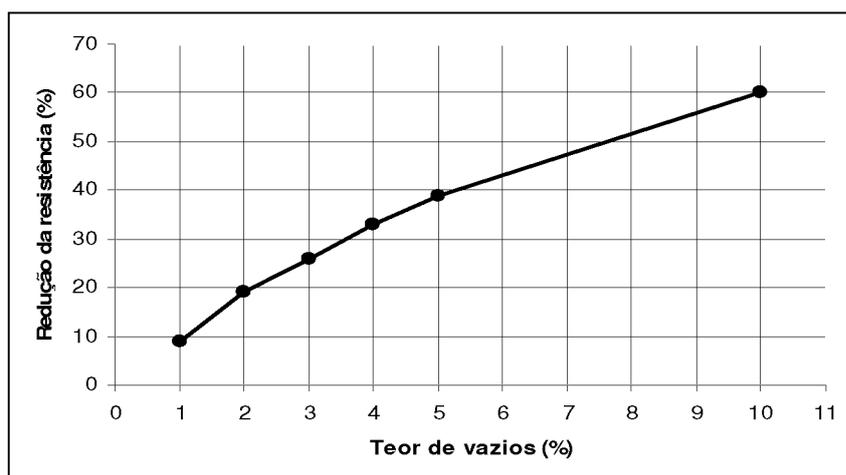


FIGURA 15 - Redução da resistência em relação ao teor de vazios (dados de GIAMMUSSO, 1992, p.33).

A ASTM C 125-93 define trabalhabilidade como a energia necessária para manipular o concreto fresco sem perda da homogeneidade; já o ACI 116R-90 descreve como a facilidade e homogeneidade com que o concreto fresco pode ser manipulado desde a mistura até o acabamento.

As variações da dimensão máxima característica do agregado, a razão entre agregado graúdo e miúdo e o conteúdo de finos, influenciam a quantidade de água necessária para a obtenção da trabalhabilidade.

Todos os concretos requerem uma certa trabalhabilidade adequada a cada situação particular. Os condicionantes vêm definidos pelos projetos arquitetônicos e estruturais (fôrmas, taxas de armadura, detalhes geométricos), pelos equipamentos a serem utilizados (bombas, caçambas, projeção), pelas necessidades de acabamento (sarrafeado, polido, lixado, aparente, desempenado) e pelas condições ambientais (temperatura, vento, umidade relativa).

O formato dos grãos tem influência direta na trabalhabilidade e, conseqüentemente, na resistência à compressão do concreto. A resistência à compressão do concreto é um parâmetro do projeto estrutural e é indispensável que ela seja comprovada, de modo a se poder avaliar a segurança estrutural. A NBR 6118/03 estabelece o conceito de resistência característica ( $f_{ck}$ ), que incorpora técnicas de estatística ao dimensionamento e ao controle da qualidade do concreto.

Um concreto com um agregado muito lamelar apresenta menor trabalhabilidade, o que não acontece com um agregado mais cúbico ou “arredondado”; este faz com que o concreto fique mais trabalhável, pois seus grãos irão ter melhor interação, e conseqüentemente, apresentarão menor porcentagem de vazios no concreto. A conseqüência desse fenômeno é que as pilhas de areia natural têm um ângulo de repouso da ordem de  $37^\circ$ , enquanto que as pilhas de britas e de areia de britagem (pó de pedra) alcançam mais de  $45^\circ$  (MENOSSI, 2004).

Os materiais com maior área específica necessitam de maior quantidade de água para envolver sua superfície.

Segundo BONAVETTI e IRASSAR, (1994), resultados de ensaios experimentais demonstraram que a demanda de água cresce com a proporção dos finos de AMB, em conseqüência do aumento da área de superfície a ser umedecida, acarretando uma redução na trabalhabilidade.

A manutenção da consistência com o tempo também é importante, devido à capacidade de manter a tendência à deformação, durante o período de manuseio e aplicação. O tipo e a proporção dos aglomerantes da mistura influem na consistência, além da área específica dos materiais empregados (RILEM, 1982).

## Ensaio de Abatimento do Tronco de Cone

Este ensaio segundo a NBR NM 67/98, consiste na obtenção da análise da medida da consistência, para a verificação da quantidade de água adicionada ao concreto. O aparelho de ensaio é uma forma tronco-cônica de diâmetro inferior com 20,0 cm e superior com 10,0 cm e altura de 30,0 cm, dentro do qual, é colocada a massa de concreto em três camadas iguais, adensadas, cada uma com 25 golpes de uma haste de 16,0 mm de diâmetro e 60,0 cm de comprimento. Após a moldagem retira-se lentamente o molde na posição vertical e determina-se a diferença entre a altura do molde e da massa de concreto, após o abatimento, conforme a FIGURA 16 a seguir.



FIGURA 16 - Ensaio de abatimento do tronco de cone

## Fatores que afetam a Trabalhabilidade

Os fatores descritos a seguir afetam a trabalhabilidade do concreto fresco, modificando-os. Haverá mudanças na fluidez, na coesão ou em ambas características (GUIMARÃES, 2005).

O consumo de água, considerando o volume de água por volume de concreto ( $l/m^3$ ), é um dos principais fatores que afetam a trabalhabilidade. Quanto maior o consumo de água mais fluído é o concreto. Entretanto, mantendo-se a

quantidade dos demais materiais e aumentando o consumo de água, aumentando-se a relação água/cimento. Nesse caso perde-se a resistência e vida útil da estrutura do concreto, pois aumenta a porosidade da pasta endurecida. Para manter praticamente inalterada a resistência do concreto e a vida útil da estrutura, é necessário, quando aumentar o consumo de água, aumentar também o consumo de cimento, mantendo a relação água/cimento. O maior consumo de água apresenta o inconveniente de diminuir a coesão do concreto.

Os agregados através de sua granulometria e formato influenciam na trabalhabilidade. Um agregado com DMC menor necessita de maior quantidade de água para um mesmo abatimento de tronco de cone. O mesmo acontece com um concreto executado com agregado anguloso em relação a outro agregado arredondado. Para que um concreto seja trabalhável e tenha coesão, é necessário um percentual mínimo de material passante na peneira 0,3 mm. Para concretos com alto consumo de cimento, podem-se utilizar agregados com menos finos que outros executados com menores consumos de cimento.

O baixo consumo de cimento no concreto, normalmente torna-o áspero, dificultando a etapa de acabamento e prejudicando o aspecto final da superfície. Já concreto com alto teor de cimento, embora seja muito coesivo, tende a ser viscoso.

São três os fatores a serem considerados na definição da trabalhabilidade do concreto: relação água/cimento, a relação agregado/cimento e o consumo de água. Somente dois desses fatores são independentes. Assim, aumentando-se a relação agregado/cimento e mantendo-se constante a relação água/cimento, haverá a diminuição do consumo de água, reduzindo-se a trabalhabilidade.

Mantendo-se o consumo de água e reduzindo-se a relação agregado/cimento, haverá a diminuição da relação água/cimento. Entretanto a trabalhabilidade será praticamente a mesma.

Mantendo-se o consumo de água e reduzindo-se significativamente o consumo de cimento, obtém-se concreto com baixa trabalhabilidade. Se, ao contrário, aumentar-se o consumo de cimento, obtém-se concreto com maior trabalhabilidade e maior coesão.

A trabalhabilidade do concreto é uma variável complexa que depende de fatores intrínsecos e extrínsecos ao material, conforme alerta o “*Guide for Selecting Proportions for No-Slump Concrete*” (ACI 211.3R) e o “*Behavior of Fresh Concrete*

*During Vibration*” (ACI 309.1R), do “*American Concrete Institute*”. Ao considerarem-se exclusivamente fatores intrínsecos ao concreto adota-se, no Brasil, a consistência do concreto fresco pelo ensaio segundo a NBR 7223 equivalente à ASTM C143M “*Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*”, e NBR 9606.

No estudo da avaliação da trabalhabilidade, TATTERSAL(1991) ressalta que existe dificuldade na terminologia a ser empregada, bem como nas definições apresentadas por diferentes autores ou no emprego corrente e propõe uma classificação destes termos para o material concreto, conforme a TABELA 4 a seguir.

TABELA 4 - Classes de termos empregados no estudo das propriedades do estado fresco.

<b>Termo</b>	<b>Classe</b>	<b>Observações</b>
Trabalhabilidade	I – Qualitativo	Empregado somente de forma descritiva, sem quantificação.
Espalhamento Fator de penetração Escoamento	II – Quantitativo empírico	Empregado de forma a descrever o comportamento do material, em circunstâncias particulares.
Viscosidade Fluidez Limite de escoamento	III – Quantitativo conceitual*	Empregado em conformidade com as definições do glossário da British Standard**.

\* Definidos em função de grandezas físicas fundamentais.

\*\* Glossary of rheological terms – BS 5168 (BSI, 1975).

A dissociação e avaliação das características da viscosidade, coesão e atrito interno é uma prática difícil; devido a isso, boa parte dos ensaios empíricos avalia o conjunto, sob o termo genérico chamado de consistência (RAGO, 1999). Foi proposta uma classificação destes métodos de ensaio pela RILEM (1982):

#### Perda da Trabalhabilidade

Com a hidratação dos compostos do cimento, a adsorção e a evaporação da água, o concreto perde sua consistência e a capacidade de fluir, por conseqüência a sua trabalhabilidade (GUIMARÃES, 2005).

Segundo GUIMARÃES (2005), as causas para a perda de trabalhabilidade podem ser cimento de alta resistência inicial, tempo excessivo entre a mistura e o acabamento e alta temperatura do concreto devido ao calor de hidratação do cimento ou material com alta temperatura devido à exposição ao sol. A velocidade de perda de trabalhabilidade é maior em concretos com maior consistência inicial, assim como para misturas com maior consumo de cimento.

Se a perda da consistência do concreto for muito rápida, pode dificultar sua mistura, lançamento, adensamento e acabamento e comprometer a resistência e a durabilidade da estrutura.

### 2.9.2 Coesão

A coesão pode ser definida como união e aglutinação (RAGO, 1999). Está diretamente ligada aos constituintes mais finos, cuja área específica é responsável pela coesão. Segundo BOMBLED (1967), a coesão pode ser alterada variando-se:

- a área específica dos sólidos;
- a quantidade de água presente na mistura.

Segundo CAMPITELI (2004), os componentes da mistura são aglutinados graças a coesão, determinada pela presença de finos, sendo que a sua quantidade deve proporcionar argamassamento suficiente para a obtenção de acabamento superficial.

Na verificação da coesão de um concreto, deve-se analisar o argamassamento no sentido de um bom travamento da mistura (FIGURA 17).

Segundo CAMPITELI (2004), deve-se verificar no ensaio de abatimento o travamento da mistura e a coesão. Com a coesão adequada encontra-se o abatimento verdadeiro, caso contrário, pode ocorrer desmoronamento por cisalhamento ou desagregação.

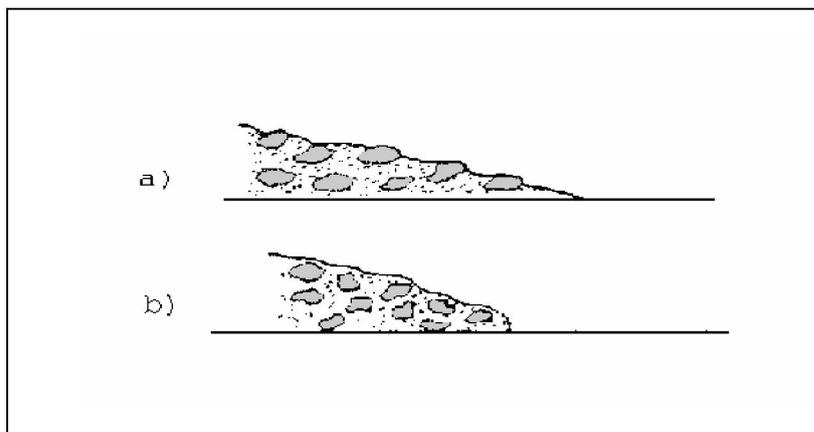


FIGURA 17 - a) Concreto com tendência a segregação, b) Concreto coeso.  
CAMPITELI( 2004) adaptado de GIAMMUSSO, (1992).

No caso de abatimento verdadeiro, a coesão ainda poderá não ser a ideal, para verificar esta ocorrência, deve-se golpear nas laterais do concreto com a haste, próximo a base. Em caso de não ocorrer o desmoronamento, a coesão será ideal, se desmoronar deve-se promover a correção do traço, no sentido de aumentar a coesão, aumentando o teor de argamassa seca.

### 2.9.3 Atrito Interno

Segundo BOMBLED (1967), o atrito interno, ao contrário da coesão, está ligado a:

- grãos mais grossos (agregados) e à sua distribuição na mistura, variando com a forma, o estado da superfície (lisa ou rugosa) e, principalmente à dimensão do grão;
- volume de pasta intersticial e seu teor de água.

Devido aos efeitos de massa e a baixa área superficial, os agregados graúdos influenciam o comportamento da mistura pela dificuldade de movimentação.

Essa dificuldade é dada pela proporção matriz/agregado do concreto e com o atrito interno entre as partículas maiores, representado pelo coeficiente de atrito  $k$ , apresentado na FIGURA 18 (SOBRAL, 1990).

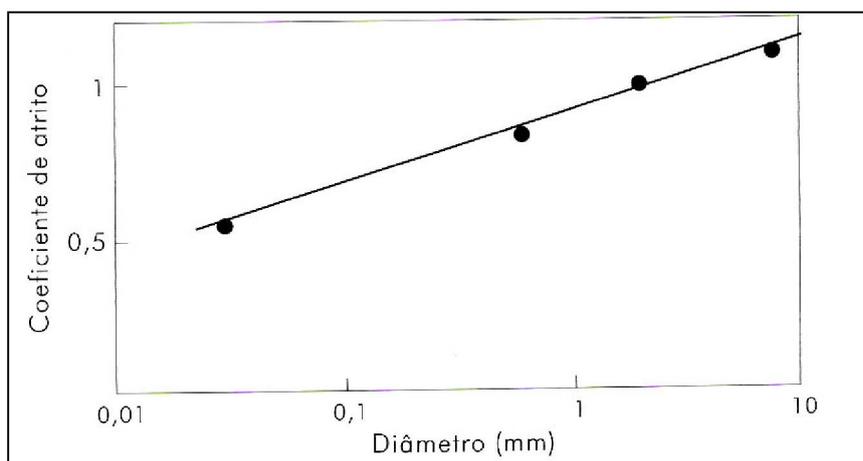


FIGURA 18 - Influência do diâmetro do agregado no atrito interno do concreto.

Observa-se que esse coeficiente aumenta com o diâmetro do agregado, sendo que contribui para diminuir a trabalhabilidade do concreto.

O concreto ganha trabalhabilidade, quando a tensão de escoamento for suficiente para suprir simultaneamente os efeitos de superfície dos agregados finos (tensão de escoamento) e os efeitos de massa dos agregados graúdos (atrito).

#### 2.9.4 Viscosidade

Nos concretos e argamassas a viscosidade está ligada à pasta e conseqüentemente ao teor de água, aos agregados com relação à sua origem mineralógica, dimensão e forma dos grãos, e ao efeito lubrificante das partículas finas. A relação entre a viscosidade e a consistência é direta, quanto maior a viscosidade, maior a consistência.

A viscosidade dos materiais cimentícios é diminuída por agitação, que provoca uma diminuição na coesão entre as partículas, bem como no atrito interno do volume envolvido. Portanto, quanto maior a agitação, menor a viscosidade, menor a coesão e menor a consistência.

Entre os métodos para a determinação das propriedades reológicas de argamassas estão os viscosímetros rotacionais, os viscosímetros de cilindros coaxiais, de haste e de cone-placa, que avaliam ao mesmo tempo viscosidade e limite de escoamento.

BOMBLED (1967), apresenta em resumo as propriedades e características físicas quanto as questões reológicas de argamassas, apresentado na TABELA 5, a seguir.

TABELA 5 - Resumo das Propriedades e Características Físicas Quanto as Questões Reológicas.

<b>Propriedades</b>	<b>Viscosidade</b>	<b>Atrito Interno</b>	<b>Coesão</b>
Comportamento físico	Dinâmico	Quase estático	
Efeito	Velocidade de deformação	Formação de um esqueleto interno (visível por microscopia óptica)	Indeformabilidade, estabilidade, retenção de água e adesão
Fatores influentes	Teor de água, forma e estado da superfície do grão, elementos finos e teor de ar	Granulometria, grãos maiores, forma e estado da superfície dos grãos	Área específica dos finos, teor de água, floculação e ações mecânicas (mistura e vibração)
Métodos de medidas	Viscosímetros rotacionais, cones de escoamento com e sem vibração, teste de moldagem e mistura	Ângulo de abatimento, aparelho de Casagrande e testes mecânicos	Espalhamento com ou sem golpes e vibração, penetração, tração e cisalhamento diversos

Estas características refletem-se diretamente nas propriedades da pasta ou argamassa em relação à trabalhabilidade, limite de escoamento e pega.

A coesão e o atrito interno são expressos pelo limite de escoamento, que representa a resistência ao cisalhamento. Como o atrito interno é principalmente gerado pelos grãos mais grossos, o limite de escoamento das argamassas reduz-se à coesão.

A evolução do limite de escoamento, com o tempo é representada pela pega que é o efeito mecânico decorrente dos fenômenos de hidratação que ocorrem nos materiais cimentícios.

## 2.10 DOSAGEM DO CONCRETO

HELENE (2005) entende por estudo de dosagem dos concretos, os procedimentos necessários à obtenção da melhor proporção entre os materiais constituintes do concreto.

A seleção dos materiais componentes dos concretos é o primeiro passo na busca da obtenção de concretos, com certas e desejadas características de desempenho, considerando que a proporção de materiais componentes, tem grande influência no custo e nas propriedades do concreto.

Dentre os vários métodos de dosagem disponíveis na literatura especializada o método de dosagem IPT/EPUSP (Instituto de Pesquisas Tecnológica do estado de São Paulo) é considerado um método versátil capaz de atender os requisitos exigidos de um concreto e atender as exigências técnicas, econômicas e de produtividade (HELENE, 2005).

Este método obtém o comportamento mecânico e reológico do concreto e considera a relação a/c como o seu principal parâmetro.

Segundo HELENE (2005), o método adota como leis de comportamento os seguintes modelos que governam a interação das principais variáveis analisadas:

a) lei de ABRAMS (1918) apud HELENE, (2005):

$$f_{cj} = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \dots\dots\dots(1)$$

A lei de Abrams, através da equação 1, admite que a resistência do concreto é inversamente proporcional à sua relação água/cimento. A curva gerada por esta relação indica as tendências para a realização de futuras dosagens de concreto.

b) Lei de LYSE (1932) apud HELENE, (2005) :

$$m = k_3 + k_4 \cdot \frac{a}{c} \dots\dots\dots(2)$$

A Lei de Lyse enuncia que a consistência de um concreto, medida pelo abatimento do tronco de cone (*slump-test*), permanece constante independentemente da mistura ser mais rica ou mais pobre, caso sejam mantidos constantes o tipo e a graduação dos agregados, o teor de argamassa e a relação água/materiais secos (H). A partir desta consideração, o método admite que a relação entre a variação do traço (m) em função da relação água/cimento é linear, apresentando uma reta para cada valor de H.

c) Lei de MOLINARI (1974) apud HELENE, (2005) :

$$C = \frac{1000}{k_5 + k_6 \cdot m} \dots\dots\dots(3)$$

A Lei de Molinari relaciona o consumo de cimento por metro cúbico com o traço utilizado para o concreto.

Onde:

- $f_{cj}$  = resistência média à compressão do concreto a j dias de idade, em MPa;
- $m$  = relação em massa seca de agregados/cimento, em kg/kg;
- $a/c$  = relação em massa de água/cimento, em kg/kg;
- $C$  = consumo de cimento por  $m^3$  de concreto adensado, em  $kg/m^3$ ;
- $k_1; k_2; k_3; k_4; k_5$  e  $k_6$  = são constantes particulares de cada conjunto de mesmos materiais.

Em resumo, este método indica que a melhor proporção entre os agregados disponíveis é aquela que venha a consumir a menor quantidade de água para obter uma certa consistência requerida, considerando a interferência do aglomerante na proporção total dos materiais (HELENE, 2005).

## 2.11 CONSUMO DE CIMENTO

Segundo O'REILLY (1998), as limitações tecnológicas na produção dos concretos, de muitos países, levam a um consumo excessivo de cimento, questão que se reflete não somente nos indicadores de produção, mas também, nas propriedades mecânicas desses indicadores. Além de outros fatores, essa situação desfavorável é originada pela granulometria lamelar e pela forma irregular dos agregados graúdos utilizados que contêm uma grande quantidade de partículas lamelares (com forma inadequada), e do ponto de vista dos regulamentos tecnológicos gerais, podem ser considerados como altamente negativos.

Do ponto de vista da composição ótima dos agregados, não se dá toda a atenção à influência da forma das partículas e parte-se somente de sua composição granulométrica. Essa verificação possibilita uma nova forma de combinar os agregados para a produção dos concretos, que na prática representa uma significativa economia de cimento e uma melhoria de suas propriedades.

### 3 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Este capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados no programa experimental, considerando o embasamento teórico realizado pela revisão da literatura já apresentada.

O propósito do estudo é obter parâmetros que caracterizem os concretos produzidos integralmente com agregados britados, possibilitando dessa maneira a comparação com o concreto produzido com AMN. Assim, procedeu-se às seguintes determinações:

- Caracterização dos materiais;
- Ensaios para verificação das propriedades do concreto no estado fresco:
  - consistência (NBR NM 67:98);
  - massa específica e teor de ar incorporado (NBR 9833/87);
  - exsudação (NBR NM 102/96);
- Ensaios para analisar as propriedades do concreto no estado endurecido:
  - resistência à compressão axial (NBR 5739/94);
  - resistência à tração por compressão diametral (NBR 7222/94);
  - resistência à tração na flexão (NBR NM 55/96) ;
  - módulo de elasticidade (NBR 8522/03);
  - absorção e porcentagem de vazios (NBR 9778/87);
- Ensaios complementares com argamassas:
  - mini-abatimento (GORISSE, 1981).
  - retração por secagem (ASTM C 490/97).

Os resultados obtidos na análise dos ensaios acima foram comparados para determinar as diferenças de propriedade entre os concretos com AMN e AMB.

### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 3.1.1 Cimento

Para o estudo experimental foi utilizado o cimento Portland CP II Z 32 com os seus dados físicos e químicos apresentados na TABELA 6.

TABELA 6 - Caracterização física e química do cimento CII Z 32

ENSAIOS FÍSICOS									
Ensaio					Método		Resultado médio		
Massa unitária no estado solto (kg/m <sup>3</sup> )					NBR 7251		1.197		
Massa específica (kg/m <sup>3</sup> )					NBR 6474		2.946		
ANÁLISE QUÍMICA (%)									
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	CaO Livre	Equivalente Alcalino	SO <sub>3</sub>	Perda ao fogo	Resíduo insolúvel
22,94	7,25	3,12	51,9	5,26	1,22	0,78	2,99	5,61	14,80

#### 3.1.2 Agregado Miúdo e Graúdo

Foram utilizados três agregados miúdos: o primeiro, um agregado miúdo natural de quartzo proveniente do Rio Tibagi, no município de Ponta Grossa, o segundo, um agregado miúdo britado<sup>6</sup> de “bica corrida”, de origem basáltica proveniente do município de Ponta Grossa/PR, o terceiro, um agregado miúdo britado de origem calcária proveniente da pedreira Itambé, unidade localizada nas proximidades do município de Balsa Nova/PR.

Foram utilizados dois agregados graúdos: um de rocha basáltica, proveniente do município de Ponta Grossa e outro de origem calcária, proveniente da pedreira Itambé do município de Balsa Nova/PR.

<sup>6</sup> Foi denominado neste trabalho como agregado miúdo, mas trata-se de material com DMC = 9,5 mm.

Para a utilização dos agregados miúdos utilizados neste estudo uma análise química foi realizada e encontra-se disponível no ANEXO A.

Após a caracterização dos materiais a serem estudados, foi realizada em laboratório a separação dos agregados miúdos analisados em duas frações. A separação foi realizada por peneiramento manual em peneira comercial denominada “Cal 55”, com abertura média da malha de 1,87 mm, conforme a FIGURA 19 a seguir.



FIGURA 19 - Peneira com abertura média de malha 1,87 mm

Com o uso desta peneira foi possível obter o material fino passante, facilitando a classificação dos agregados miúdos utilizados, permanecendo a fração menor com o seu material pulverulento.

O material retido nesta peneira foi denominado granilha e o material passante foi denominado areia. O material retido, granilha, foi lavado em betoneira para a eliminação do material pulverulento e seco ao ar, à sombra. Com a areia foi feita a determinação do teor de material pulverulento (NBR 7219/05).

Os agregados graúdos passaram pelo mesmo processo de eliminação do material pulverulento que os materiais retidos.

A granulometria dos agregados utilizados é apresentada na TABELA 7, segundo a NBR 7217/87, a seguir.

TABELA 7 - Granulometria dos agregados miúdos e graúdos

Materiais		Porcentagens retidas acumuladas nas peneiras (mm)										
		25	19	12,5	9,5	4,8	2,4	1,2	0,6	0,3	0,15	Fundo
Brita 1	Calcário	0,0	1,0	55,0	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Basalto	0,0	4,0	47,0	75,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Granilha	Natural	0,0	0,0	0,0	0,2	23,8	95,7	98,6	99,1	99,3	100,0	100,0
	Calcário	0,0	0,0	0,0	0,6	40,1	75,1	97,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	Basalto	0,0	0,0	0,0	0,0	34,8	80,9	99,4	100,0	100,0	100,0	100,0
Areia	Natural	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	11,5	46,6	90,1	100,0
	Calcário	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,1	30,0	47,7	65,9	100,0
	Basalto	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	38,1	56,5	70,4	100,0

Na FIGURA 20, é apresentado o gráfico da porcentagem retida individual dos agregados utilizados neste trabalho.

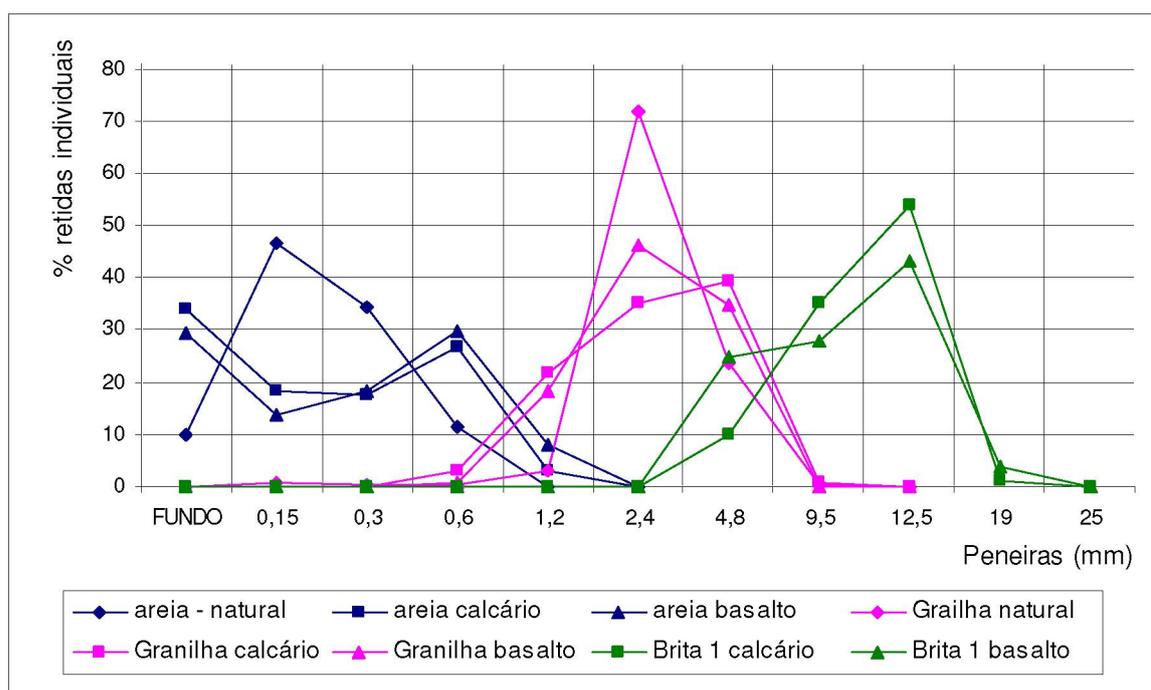


FIGURA 20 - Porcentagens retidas individuais dos agregados

Observando-se as FIGURAS 19 e 20, vale destacar a diferença de granulometrias das areias e granilhas britadas em relação as areias e granilhas naturais.

Na FIGURA 21, é apresentado o gráfico da porcentagem retida acumulada dos agregados utilizados.

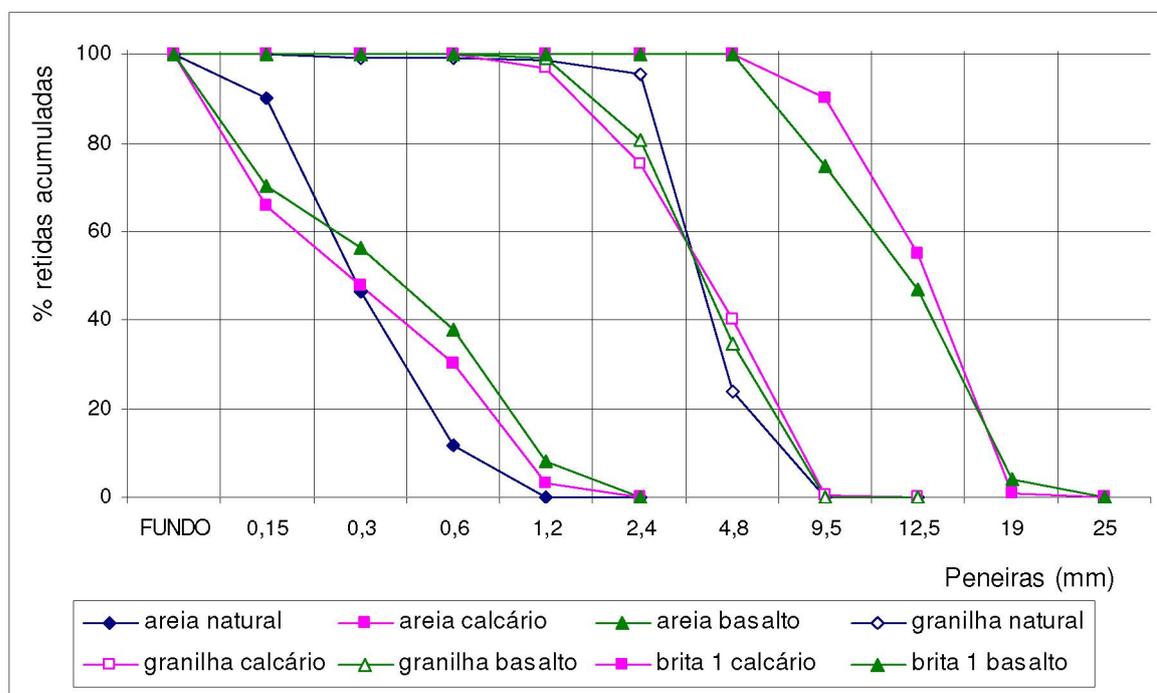


FIGURA 21 - Porcentagens retidas acumuladas dos agregados

A caracterização física dos agregados miúdos e graúdos é apresentada na TABELA 8.

TABELA 8 - Caracterização física dos agregados

Características	Areia Natural	Areia Basalto	Areia Calcário	Granilha Agregado Natural	Granilha Calcário	Granilha Basalto	Brita 1 Calcário	Brita 1 Basalto
Dimensão Máxima Carac. DMC (mm)	1,2	2,4	1,2	9,5	9,5	4,8	19,0	19,0
Módulo de Finura MF	1,483	1,467	1,732	5,185	5,128	5,151	6,910	6,789
Teor de material Pulverulento (%)*	3,44	27,65	35,20	0	0	0	0	0
Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )	2,618	3,045	2,703	2,618	2,703	3,045	2,703	3,045

\*teor relativo à areia.

## 3.2 MÉTODOLOGIA

A metodologia empregada na realização deste trabalho foi experimental e comparativa. Para tanto, foram realizados ensaios de caracterização dos agregados, a dosagem e análise do concreto fresco e endurecido com o uso de AMB de origem calcária e basáltica em substituição integral ao AMN.

### 3.2.1 Método de Dosagem do Concreto

Para a realização da dosagem dos concretos a serem analisados, inicialmente realizou-se uma otimização granulométrica dos agregados feita em duas etapas: uma que considerou a obtenção da proporção ótima entre a granilha e a brita nº1, através da massa unitária compacta (NBR 7810/83) máxima e a outra que tem relação com a mistura de areia com granilha em concretos, na fase de estado fresco, pelo ajuste da coesão e abatimento do tronco de cone.

BUEST et al (2005), comentam que para a dosagem de concreto utilizando agregado total britado, há necessidade de se dosar os filers (dimensões menores do que 0,15 mm), em geral com excessiva quantidade de material pulverulento, para garantir a trabalhabilidade adequada ao concreto, especialmente no que se refere à coesão e a bombeabilidade.

Para isso, dispondo-se de AMB, a simples dosagem do concreto, considerando o agregado miúdo como um todo, fica prejudicada, pois não é possível definir o teor ideal da fração filer (< 0,15 mm).

Por esta razão optou-se pela separação do agregado miúdo disponível (“bica corrida” – DMC = 9,5 mm) em duas partes como descrito anteriormente, dando destaque especial ao material passante pela peneira de 1,87 mm.

A situação ideal seria separar o material passante pela peneira de 0,15 mm e não pela peneira de 1,87 mm. Entretanto a adoção da peneira de 1,87mm considerou a facilidade operacional para separar uma fração, com menor DMC

(dimensão máxima característica) possível, que contivesse o pulverulento, em escala de laboratório.

Com isto, obteve-se a dosagem de concreto com três agregados: brita 1, granilha e areia (<1,87 mm).

Segundo CAMPITELI (2001), os procedimentos para dosagem são adotados em função das propriedades desejadas para uma determinada aplicação com materiais disponíveis. A dosagem se baseia em regras e procedimentos práticos para obtenção do traço, sendo testado em laboratório, portanto a dosagem não é apenas teórica, empírica, mas experimental. O método experimental de dosagem do concreto adotado neste trabalho se baseia no método do IPT, que se subdivide em três fases: caracterização dos materiais, determinação de um traço piloto e ajuste do traço piloto. O ajuste do traço piloto se baseou no trabalho de CAMPITELI (2004).

Antes do ajuste do concreto com estes três agregados, é interessante obter um traço piloto o mais próximo possível do traço ajustado, para que as operações de ajuste sejam rápidas. Para se obter esta aproximação, o método de dosagem foi dividido em duas etapas: em argamassa e em concreto.

A otimização granulométrica do agregado total, obtida pela dosagem do concreto, consiste em otimizar granulometricamente a granilha e a brita 1 através da obtenção da massa unitária compacta máxima, cuja percentagem ótima permanece invariável até o final da dosagem e a otimização da areia com a granilha.

A otimização entre a brita 1 e a granilha, para cada um dos traços foi feita por meio da massa unitária compacta máxima – MUC - (NBR 7810/82). Misturam-se diferentes proporções de cada agregado, determinando-se para cada caso, a MUC. À proporção que apresentar maior MUC, será considerada ótima. A FIGURA 22 a seguir apresenta detalhe do ensaio.



FIGURA 22 - Detalhe do ensaio de Massa Unitária Compacta Máxima

A última etapa da otimização granulométrica é obtida com a conclusão da dosagem do concreto, mas é aproximada preliminarmente através de estudos com argamassas de cimento, areia e granilha, para facilitar as operações de ajuste do concreto.

### 3.2.2 Estudos com Argamassas

Conforme explicado no item anterior, para encontrar os parâmetros de relação água/cimento em função dos teores de areia de cada material produziram-se três argamassas com traços em massa 1:1,5; 1:2,5; 1:3,5 e para cada um deles fez-se a variação dos finos nos teores de 0, 2,5, 5,0, 7,5 e 10% em relação ao total de areia mais granilha, limitando em 10% estes teores. No decorrer do experimento verificou-se a necessidade de se utilizar um maior teor percentual de areia para as misturas com AMB de origem basáltica.

Para cada caso determinou-se a água para obtenção do Índice de Consistência na mesa (NBR 7215/82) constante de  $230 \pm 5$  mm, conforme as FIGURAS 23 e 24 a seguir.



FIGURA 23 - Detalhe da Mesa de Consistência



FIGURA 24 - Ensaio para Determinação do Índice de Consistência

Este estudo (APÊNDICE A) permitiu encontrar a menor relação água/cimento, determinada com o mesmo índice de consistência (IC) na mesa “*flow table*” (NBR 7215/82) constante de  $230 \pm 5$  mm. Relacionando-se água/cimento com os respectivos teores de areia, constata-se que o teor ótimo de areia para cada traço fica determinado pelo consumo mínimo de água para a obtenção do IC padrão.

Com os resultados da consistência na mesa, foram geradas as curvas da relação água/cimento, determinando-se as equações de ajuste pelo método dos mínimos quadrados, cujos pontos de teores de *finos x relações água/cimento* para cada traço ficaram definidos por pares ordenados.

A partir destes pontos, traçou-se o gráfico da reta ajustada definindo as relações ótimas entre água/cimento e os correspondentes teores de areia (relações areia/granilha).

### 3.2.3 Estudos com Concretos

Esta etapa se refere ao estabelecimento dos traços iniciais e dos ajustes do concreto nos estados fresco e endurecido. O estabelecimento dos traços iniciais se baseia na relação entre a brita 1 e a granilha e nas relações entre areia e a granilha, definidas pela equação da reta gerada no estudo preliminar com argamassas.

Na seqüência é apresentado o procedimento para o cálculo dos três traços (rico, médio e pobre), para a obtenção dos traços ajustados:

a) Definição dos materiais constituintes dos traços a serem estudados;

Foram definidos os seguintes traços para análise neste estudo:

Traço 1 – Agregado miúdo e graúdo calcário (T1)

Traço 2 – Agregado miúdo e graúdo basalto (T2)

Traço 3 – Agregado miúdo natural com brita 1 basalto (T3)

Traço 4 – Agregado miúdo natural com brita 1 calcário (T4)

No ensaio de massa unitária compacta máxima, foi determinado o ponto de máximo, obtendo os seguintes teores ótimos entre a granilha e a brita 1 para os respectivos traços (APÊNDICE B):

- T1 - Granilha Agregado Miúdo Calcário 34,2% x Brita 1 Calcário 65,8%  
 T2 - Granilha Agregado Miúdo Basalto 59,0% x Brita 1 Basalto 41,0%  
 T3 - Granilha Agregado Miúdo Natural 45,0% x Brita 1 Basalto 55,0%  
 T4 - Granilha Agregado Miúdo Natural 46,0% x Brita 1 Calcário 54,0%

Determinando o ponto de máximo a partir das equações de ajuste, obtêm-se os teores ótimos entre a brita 1 e a granilha, com a sua correspondente *relação brita 1 x granilha*.

- b) definição das três relações água/cimento - baseando-se em experiência anterior<sup>7</sup> ;
- c) definição das relações areia/granilha - através da equação da reta do estudo em argamassas, onde "y" é a relação água/cimento em l/kg e "x" é a relação areia/granilha em % na argamassa;
- d) cálculo dos traços considerando a relação fixa *Brita 1 x Granilha* , adotando valores de relação água/materiais secos (H), supondo-a constante para os três traços, para um dado abatimento do tronco de cone, como por exemplo, a partir da expressão de CAMPITELI (1994):

$$H = \frac{783.(148 - DMC) + (163 - DMC).S}{4419.MEp} \dots\dots\dots (4)$$

onde:

- DMC = Dimensão Máxima Característica do agregado graúdo (mm);  
 S = Abatimento do tronco de cone (mm);  
 ME<sub>p</sub> = Massa específica do agregado graúdo (kg/dm<sup>3</sup>).

---

<sup>7</sup> Em geral as relações água/cimento de 0,45 - 0,55 - 0,65 cobrem a maioria das possibilidades para as resistências à compressão de concretos para fins estruturais em edificações usuais para os cimento nacionais.

Com isto, os três traços a serem submetidos ao ajuste da trabalhabilidade são os determinados a seguir:

- Relações água/cimento selecionadas = 0,45 - 0,55 - 0,65 l/kg;
- Relações finos x granilha (T):
  - para a/c = 0,45 l/kg
  - para a/c = 0,55 l/kg
  - para a/c = 0,65 l/kg
- Traços, para relação constante brita 1 / granilha = k

Sabendo que  $H = \frac{a/c}{1+m} \cdot 100$ ,  $m = \frac{100}{H}(a/c) - 1$  e sendo o traço do concreto em massa dado por 1: A: G: B: a/c onde A = areia; G = Granilha; B = Brita 1 e sabendo que  $m=1+A+G+B$ , utilizando os dados são gerados os traços iniciais: ricos, médios e pobre.

Após a determinação dos traços iniciais, inicia-se o ajuste do concreto, analisando a consistência dos mesmos a partir do ensaio de abatimento do tronco de cone definido com consistência  $70,0 \pm 10,0$  mm. Foi definido este parâmetro por ser uma prática usualmente utilizada na nossa região.

Com a obtenção dos ajustes dos concretos, busca-se encontrar os teores de areia proporcionais às relações água/cimento, para todos os traços estudados. Com estes dados é gerado o gráfico da reta do teor ótimo de areia no concreto, com os dados obtidos do ensaio de resistência à compressão axial, foram confeccionados os respectivos diagramas de dosagem segundo o padrão do método IPT/EPUSP, contendo as curvas de Abrams, de Lyse e de Molinari.

#### Ajuste da Trabalhabilidade do Concreto

Os ajustes experimentais dos traços iniciais calculados são feitos no estado fresco para garantir a consistência, a coesão e a facilidade de acabamento superficial e no estado endurecido, para garantir alguma propriedade de interesse, em geral a resistência à compressão (HELENE e TERZIAN, 1992). Estes ajustes, neste trabalho, se basearam em CAMPITELI (2004), levando-se em conta o teor de

areia em vez do teor de argamassa seca como preconiza o método do IPT. Para este estudo manteve-se o abatimento do tronco de cone em  $70 \pm 10$  mm.

#### Procedimento de Cálculo dos Traços Iniciais

O procedimento de cálculo baseado nas informações do item anterior apresenta como elemento variável no ajuste da coesão do concreto, o Teor de Finos (P), dado pela relação:

$$P = \frac{A}{G + B1} \times 100 \quad (\%) \dots\dots\dots(5)$$

onde,  $A = \frac{P}{100} \cdot (G + B1)$ ,  $k = \frac{B1}{G}$ , portanto,  $B1 = k \cdot G$

com isso,  $A = \frac{P}{100} \cdot (G + k \cdot G)$ , o que leva a  $A = \frac{P}{100} \cdot G \cdot (1 + k)$

Mas  $m = A + G + B1$  e considerando que  $B1 = k \cdot G$ ,

tem-se que  $G \cdot (1 + k) = m - A$

conseqüentemente  $A = \frac{P}{100} \cdot (m - A)$  e finalmente

$$A = \frac{P}{100 + P} \cdot m \dots\dots\dots(6)$$

Substituindo a expressão (6) em  $m = A + G + k \cdot G$ , obtém-se

$$G = \frac{m}{1 + k} \cdot \left( \frac{100}{100 + P} \right) \dots\dots\dots(7)$$

Considerando que  $k = \frac{B1}{G}$ , tem-se

$$B1 = k.G \dots\dots\dots(8)$$

Com a utilização das equações apresentadas foi possível verificar para cada um dos traços a definição do traço inicial, produzindo-se o concreto em laboratório e verificando-se a consistência, a coesão e a capacidade de acabamento superficial. Se o valor de P adotado inicialmente não for suficiente para atender à coesão e ao acabamento, aumenta-se este valor por tentativa e faz-se nova verificação com outro traço recalculado com as expressões (5) a (8) acima. Da mesma maneira, se a consistência não for adequada, aumenta-se ou diminui-se o valor de H, conforme o "slump" tenha sido insuficiente ou excessivo. Para auxiliar nesta operação de ajuste de H, pode-se utilizar a expressão (9) a seguir (CAMPITELI, 1994):

$$H_{novo} = H_{anterior} \cdot \left( \frac{S_{procurado}}{S_{obtido}} \right)^{0,1} \dots\dots\dots(9)$$

Para a primeira mistura em cada traço utilizou-se 7,00 kg de cimento e as correspondentes quantidades para os demais materiais. No caso da necessidade de alterações do traço inicial para o ajuste da consistência e/ou da coesão, o acréscimo de cimento à betoneira é de 1,00 kg para cada alteração e os correspondentes acréscimos dos demais materiais varia de acordo com o novo traço.

Segundo CAMPITELI (2004), se para um acréscimo de 1,00 kg de cimento em uma dada alteração, corresponder um número negativo para acréscimo em alguns dos demais materiais, refaz-se os cálculos adotando-se acréscimo de 2,00 kg de cimento.

Após os ajustes dos três concretos, os teores de areia foram relacionados com as correspondentes relações água/cimento, de acordo com os seus respectivos pares ordenados para o traço pobre (a/c=0,650); traço médio (a/c=0,550); e traço rico (a/c=0,450), obtendo-se a reta ajustada e definindo as relações ótimas entre água/cimento e os correspondentes teores de areia ajustados.

## Moldagem de Corpos-de-Prova

Para cada traço, nesta etapa do experimento, foram moldados corpos-de-prova com dimensões 10,0 x 20,0 cm, para o ensaio de resistência á compressão axial, segundo a NBR 5738/94.

### 3.3 CONCRETOS ESTRUTURAIS

Para a continuação deste estudo após a verificação dos traços ajustados, foram produzidos concretos com três resistências estruturais segundo a NBR 6118/03, utilizando os mesmos agregados definidos para cada um dos traços de concreto.

As resistências utilizadas foram: 25,0 MPa, 35,0 MPa e 45,0 MPa, todas atendendo as especificações da NBR 6118/03.

Para a determinação das dosagens dos traços, foram utilizados as respectivas equações de Abrams ajustadas na etapa anterior do desenvolvimento experimental, que atende aos novos teores de areia calculados através das equações definidas anteriormente.

### 3.4 PRODUÇÃO DOS CONCRETOS

A produção dos concretos ocorreu em duas etapas. Na primeira etapa foram confeccionados concretos baseados nos traços iniciais para a obtenção do ajuste, segundo o parâmetro de consistência (abatimento do tronco de cone) fixado em  $70,0 \pm 10,0$  mm. Numa segunda etapa, com a definição dos parâmetros de

resistência fixados, foram preparados os concretos ajustados para a análise comparativa de suas propriedades no concreto endurecido.

Nas duas etapas, os concretos foram produzidos em betoneira de eixo inclinado com capacidade de 120 litros e o processo de mistura obedeceu a seguinte seqüência: (i) colocação da água de amassamento, (ii) agregado graúdo, (iii) cimento, (vi) granilha e (v) agregado miúdo. O tempo de mistura foi de cinco minutos, a partir da colocação de todos os componentes.

Na TABELA 9 a seguir, é apresentada a quantidade de corpos-de-prova para cada ensaio realizado.

TABELA 9 - Quantidade de corpos-de-prova utilizados nos ensaios de concreto endurecido

ETAPAS	TRAÇOS	Compressão Axial (10x20 cm)	Módulo de Elasticidade (10x20 cm)	Absorção e índice de vazios (10x20 cm)	Tração na Flexão (15x15x50 cm)	Tração por Compressão por Diametral (15x30 cm)	
1º. ETAPA	AMB Calcário T1	3	-	-	-	-	
	AMN B1 Calcário T2	3	-	-	-	-	
	AMB Basalto T3	3	-	-	-	-	
	AMN B1 Basalto T4	3	-	-	-	-	
2º. ETAPA	AMB Calcário T1	25,0 MPa	3	6	3	2	2
		35,0 MPa	3	6	3	2	2
		45,0 MPa	3	6	3	2	2
	AMN B1 Calcário T2	25,0 MPa	3	6	3	2	2
		35,0 MPa	3	6	3	2	2
		45,0 MPa	3	6	3	2	2
	AMB Basalto T3	25,0 MPa	3	6	3	2	2
		35,0 MPa	3	6	3	2	2
		45,0 MPa	3	6	3	2	2
	AMN B1 Basalto T4	25,0 MPa	3	6	3	2	2
		35,0 MPa	3	6	3	2	2
		45,0 MPa	3	6	3	2	2
TOTAL		48	72	36	24	24	

T1 – Traço agregado total calcário; T2 – Traço agregado miúdo natural e brita 1 calcário; T3 – Traço agregado total basalto e T4 – Traço agregado miúdo natural e brita 1 basalto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ESTUDO COM CONCRETOS

No APÊNDICE B são apresentados os resultados obtidos no estudo com concretos, levando em consideração os gráficos de massa unitária compacta máxima, o ponto de máximo, os respectivos teores ótimos de areia dos traços ajustados com o diagrama de dosagem padrão IPT/EPUSP, finalizando a primeira etapa do estudo.

Após a obtenção do diagrama de dosagem dos traços iniciais, foram estabelecidas as resistências de 25,0; 35,0 e 45,0 MPa, para a realização de análise das propriedades no concreto fresco e endurecido. Os respectivos traços gerados visam abranger as principais resistências utilizadas para concretos estruturais. Na TABELA 10, são apresentados os traços ajustados.

TABELA 10 - Traços ajustados

Material	Traços	Cimento	Areia*	Granilha	Brita 1	a/c	m	Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Material Pulverulento (1)
AMB CALCÁRIO	25 MPa	1	0,71	1,66	3,18	0,57	5,552	337,5	0,2499
	35 MPa	1	0,36	1,29	2,48	0,45	4,138	431,5	0,1267
	45 MPa	1	0,19	0,99	1,90	0,38	3,069	546,8	0,0669
AMN - B1 CALCÁRIO	25 MPa	1	1,87	2,51	3,06	0,63	7,439	273,3	0,0643
	35 MPa	1	1,36	2,05	2,51	0,51	5,918	334,2	0,0468
	45 MPa	1	1,01	1,70	2,08	0,43	4,787	400,4	0,0347
AMB BASALTO	25 MPa	1	1,15	1,62	2,33	0,58	5,095	385,9	0,3180
	35 MPa	1	0,67	1,31	1,89	0,46	3,874	482,0	0,1853
	45 MPa	1	0,39	1,05	1,52	0,38	2,958	592,8	0,1078
AMN - B1 BASALTO	25 MPa	1	1,84	2,48	3,03	0,62	7,358	276,0	0,0633
	35 MPa	1	1,23	1,93	2,36	0,48	5,514	355,2	0,0423
	45 MPa	1	0,83	1,49	1,82	0,38	4,141	451,5	0,0285

\*material que passa pela peneira # 1,87 mm.

(1) quantidade unitária de material pulverulento em relação ao cimento. Obtido pelo produto do teor de material pulverulento pelo traço de areia. Estes números estão incluídos nos traços de areia.

Observando os dados da TABELA 10, constata-se que os concretos com AMN demandam maiores quantidades de agregados (m) do que os concretos com AMB, para concretos com mesma resistência à compressão axial. Constata-se também que as quantidades de materiais pulverulentos são menores para os mesmos casos. Esta informação mostra que no ajuste dos concretos na fase de dosagem, para se conseguir coesão adequada, foram necessárias maiores quantidades de AMB do que AMN. Isto se deve, ao que parece, à maior necessidade de material fino (pulverulento) para suprir as diferenças granulométricas constatadas.

As peneiras onde se registram as diferenças granulométricas mais acentuadas são as de 0,30 e 0,15 mm.

Na TABELA 11, encontra-se a granulometria dos agregados totais dos traços analisados.

TABELA 11 - Porcentagens retidas individuais e acumuladas dos agregados que compõem os concretos ajustados

Peneiras	AMB CALCÁRIO		AMN B1 CALCÁRIO		AMB BASALTO		AMN B1 BASALTO	
	% retida individual	% retida acumulada						
25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12,5	0,6	0,6	0,4	0,4	1,8	1,8	1,6	1,6
9,5	30,9	31,5	22,2	22,6	19,7	21,5	17,9	19,5
4,8	27,0	58,5	21,3	43,9	23,7	45,2	18,2	37,7
2,4	14,1	72,6	28,0	71,9	26,1	71,3	34,4	72,1
1,2	13,8	86,4	2,5	74,4	7,7	79,0	2,4	74,5
0,6	4,6	91,0	3,0	77,5	7,0	86,0	3,1	77,6
0,3	2,3	93,3	8,9	86,4	4,1	90,1	8,8	86,4
0,15	2,3	95,6	11,1	97,5	3,2	93,3	11,1	97,5
fundo	4,4	100	2,5	100	6,7	100	2,5	100

A FIGURA 25 apresenta o gráfico com as porcentagens retidas individuais dos agregados totais para os concretos ajustados com as resistências estruturais.

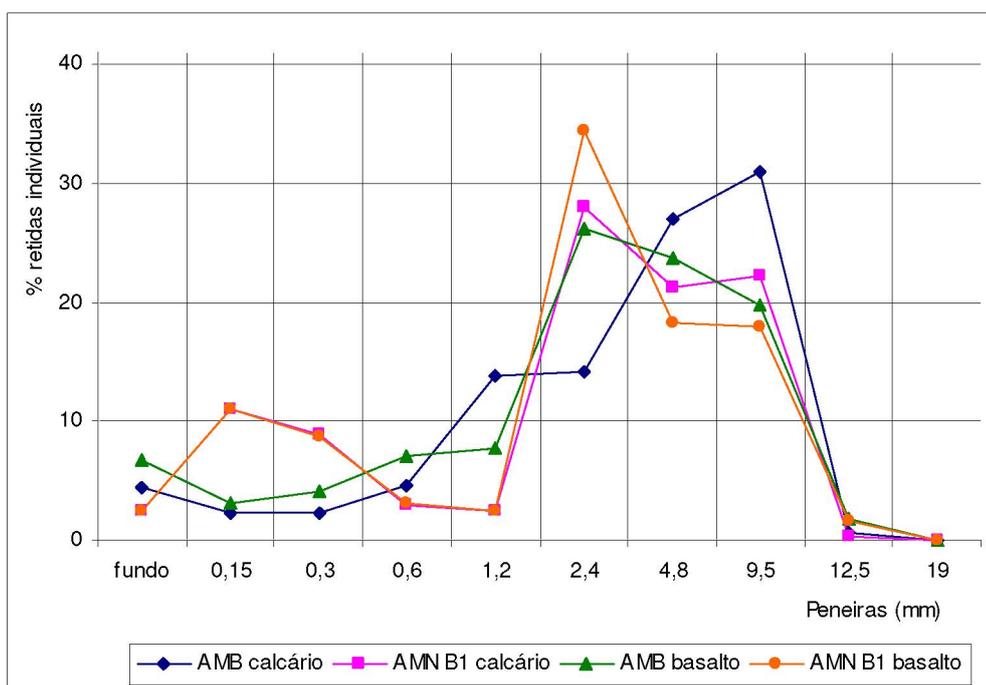


FIGURA 25 - Porcentagens retidas individuais dos agregados totais

A FIGURA 26, apresenta o gráfico com as porcentagens retidas acumuladas dos agregados totais para os concretos ajustados.

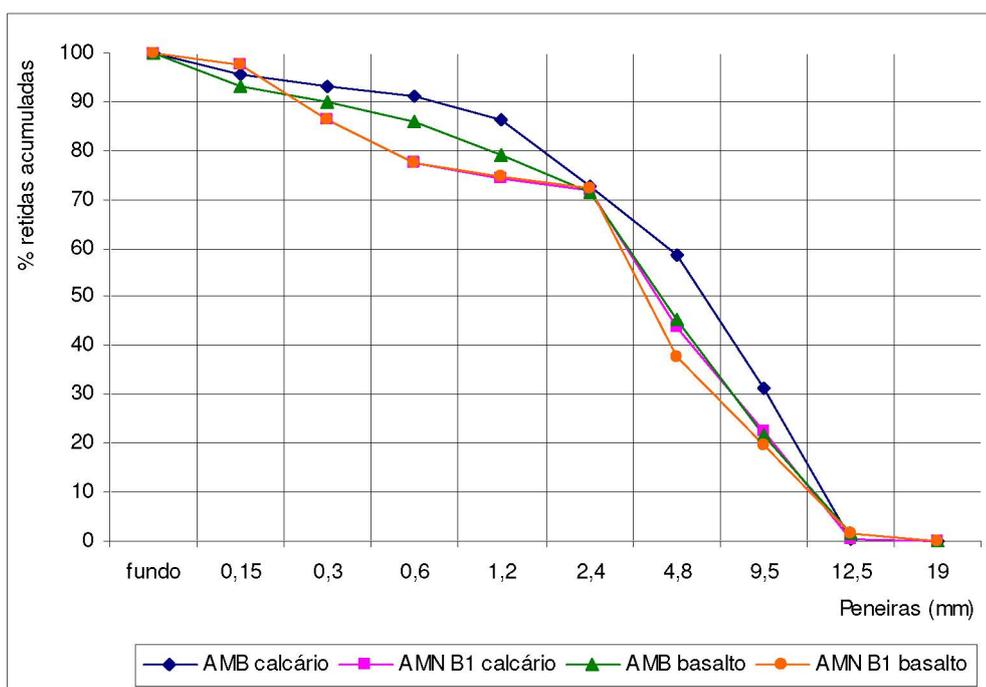


FIGURA 26 - Porcentagens retidas acumuladas dos agregados totais

O gráfico da FIGURA 26 demonstra que, abaixo da peneira de 0,3 mm, os traços com AMN apresentam diferenças expressivas em relação aos concretos com AMB e acima da peneira de 0,3 mm, destaca-se a diferença do concreto AMB calcário. Isto reforça as observações feitas anteriormente quanto as granulometrias dos AMN e AMB.

Com relação à influência do agregado graúdo (brita 1) nas demandas de agregados (traços), constata-se que as diferenças granulométricas entre calcário e basalto parecem ter sido muito pequenas em relação as dos agregados miúdos.

## 4.2 CONCRETO NO ESTADO FRESCO

### 4.2.1 Massa Específica e Ar Incorporado

No cálculo da massa específica do concreto fresco segundo a NBR 9833/87, o resultado é expresso em  $\text{kg/dm}^3$ , com aproximação de  $0,001 \text{ kg/dm}^3$ , dividindo a massa de concreto no recipiente pelo seu volume, conforme a equação (10).

$$\gamma_{cf} = \frac{m_c}{V} \dots\dots\dots(10)$$

Onde:

- $\gamma_{cf}$  = massa específica aparentado concreto;
- $m_c$  = massa do concreto no recipiente;
- V = volume do concreto.

O teor de ar incorporado ou aprisionado do concreto fresco pelo método gravimétrico é expresso em porcentagem com aproximação de 0,1%, através da equação (11).

$$\text{Teor de ar (\%)} = \left(1 - \frac{\gamma_{cf}}{\gamma_{ca}}\right) \cdot 100 \dots\dots\dots(11)$$

Onde:

$\gamma_{ca}$  = massa específica do concreto fresco, expressa em kg/dm<sup>3</sup>, com aproximação de 0,001 kg/dm<sup>3</sup>, sem considerar o volume de ar incorporado, calculada pela expressão 12:

$$\gamma_{ca} = \frac{Mc + Mm + Mg + Ma}{\frac{Mc}{\gamma_c} + \frac{Mm}{\gamma_m} + \frac{Mg}{\gamma_g} + Ma} \dots\dots\dots(12)$$

Onde:

- Mc = massa de cimento (kg);
- Mm = massa de agregado miúdo seco (kg);
- Mg = massa de agregado graúdo seco (kg);
- Ma = massa de água (kg);
- $\gamma_c$  = massa específica do cimento (kg/dm<sup>3</sup>);
- $\gamma_m$  = massa específica do agregado miúdo (kg/dm<sup>3</sup>);
- $\gamma_g$  = massa específica do agregado graúdo (kg/dm<sup>3</sup>).

Na TABELA 12, são apresentados os resultados dos ensaios de massa específica aparente e ar incorporado pelo método gravimétrico para cada um dos quatro traços.

TABELA 12 - Massa específica aparente e teor de ar incorporado pelo método gravimétrico

AGREGADOS	25 MPa		35 MPa		45 MPa	
	ME (kg/dm <sup>3</sup> )	AR (%)	ME (kg/dm <sup>3</sup> )	AR (%)	ME (kg/dm <sup>3</sup> )	AR (%)
<b>AMB CALCÁRIO</b>	2,429	2,9	2,447	2,4	2,462	2,2
<b>AMN B1 CALCÁRIO</b>	2,374	0,7	2,431	0,4	2,442	0,3
<b>AMB BASALTO</b>	2,548	3,5	2,540	2,6	2,542	2,3
<b>AMN B1 BASALTO</b>	2,464	0,7	2,470	0,4	2,496	0,3

Os resultados demonstram as maiores massas específicas dos concretos com AMB, do que os concretos com AMN. A maior massa específica dos concretos com AMB, justifica-se pela presença de maior quantidade de material pulverulento e pela diferença da massa específica dos agregados no estado solto, tendo os agregados de origem basáltica maior massa específica que os de origem calcária e do que os de origem natural.

No ensaio de teor de ar incorporado nos concretos, pelo método gravimétrico apresentaram maiores teores de ar incorporado para os traços que contém AMB, em relação aos traços com AMN. Nos concretos com AMB de basalto o ar incorporado é maior que o AMB de calcário. Entre as causas prováveis para estes resultados está a forma dos AMB, visualmente identificados como mais angulosos que os AMN, além de apresentarem maiores quantidades de finos totais (cimento + material pulverulento), já que nestes casos a fase matriz (cimento + material pulverulento + água) é mais viscosa, tendendo a reter mais ar durante o adensamento.

## 4.2.2 Exsudação

Para avaliar a exsudação do concreto de forma comparativa em relação aos concretos com AMN e AMB, foram utilizados os concretos com parâmetro de resistência à compressão axial de 25,0 MPa. Foi utilizado este parâmetro de resistência por ser um parâmetro que pode apresentar maior tendência à exsudação diante dos outros concretos confeccionados para este trabalho.

No ensaio de exsudação do concreto fresco, utilizou-se o método A, segundo a NBR NM 102/96, para concretos depois de adensados não sujeitos a vibração intermitente.

O cálculo da exsudação do concreto foi realizado utilizando-se as equações (13) e (14).

$$m_{ar} = \frac{m_{am}}{m_t} \cdot m_e \dots\dots\dots(13)$$

$$E = \frac{m_{ae}}{m_{ar}} \cdot 100 \dots\dots\dots(14)$$

Onde:

- E = quantidade de água exsudada em porcentagem;
- $m_{ar}$  = massa de água do concreto do recipiente em gramas;
- $m_t$  = massa total do traço em gramas;
- $m_{am}$  = massa de água da mistura do traço em gramas;
- $m_e$  = massa da amostra ensaiada em gramas;
- $m_{ae}$  = massa de água exsudada em gramas.

Os resultados do ensaio de exsudação do concreto são apresentados no gráfico da FIGURA 27 a seguir.

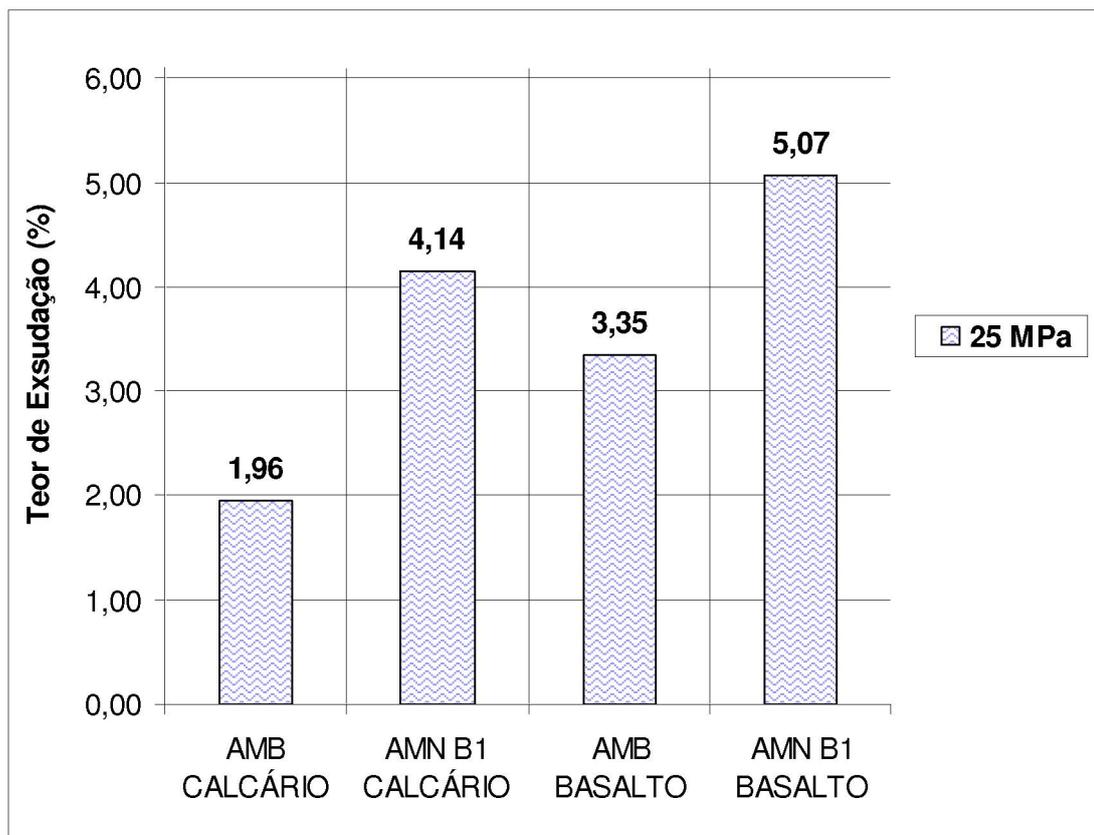


FIGURA 27 - Teor de Exsudação do concreto com 190 minutos

O gráfico da FIGURA 27 demonstra que o impedimento da exsudação dos concretos com AMB se dá pela presença dos grãos finos, ou seja, pela presença de grãos de cimento e dos grãos menores que 0,075 mm (material pulverulento) dos agregados. Estes resultados acompanham o que foi observado quanto ao teor de ar incorporado (TABELA 9), em que os menores valores de exsudação ocorreram nos concretos com maiores teores de ar incorporado. Isto mostra a influência dos finos totais do concreto, tanto no impedimento à saída do ar (viscosidade maior) quanto na maior capacidade de retenção de água (por adsorção de água às partículas menores).

Analisando os dados obtidos, constata-se que o teor de material pulverulento influencia de maneira significativa à exsudação do concreto, demonstrando que quanto menor o percentual de material fino presente no concreto maior o percentual de exsudação. É importante ressaltar que os finos totais são

fatores também observados para esta análise, pois os traços com AMB além de material fino apresentam quantidades relativas de cimento maiores que nos concretos com AMN, como se verifica pelos menores valores de  $m$  (TABELA 7).

Na FIGURA 28 a seguir, é apresentado detalhe da exsudação do concreto durante a realização do ensaio conforme a NBR NM 102/96.



FIGURA 28 - Detalhe da retirada de água exsudada do concreto durante o ensaio de exsudação

O APÊNDICE C apresenta o procedimento completo do ensaio realizado, com fotos e detalhamento.

O desenvolvimento da exsudação para os traços analisados é mostrado na FIGURA 29, apresentando o volume de água exsudada pelo tempo para cada concreto. Para o cálculo o volume específico de água exsudada, segundo a NBR NM 102/96, utiliza-se a equação (15).

$$V = \frac{V_1}{A} \dots\dots\dots(15)$$

Onde:

$V_1$  = volume de água exsudada medida durante os intervalos de tempo segundo a NBR NM 102/96 (intervalos de 10 em 10 minutos nos primeiros 40 minutos de ensaio e intervalos de 30 em 30 minutos até o final da exsudação).

$A$  = área exposta do concreto do recipiente em centímetros quadrados ( $\text{cm}^2$ ).

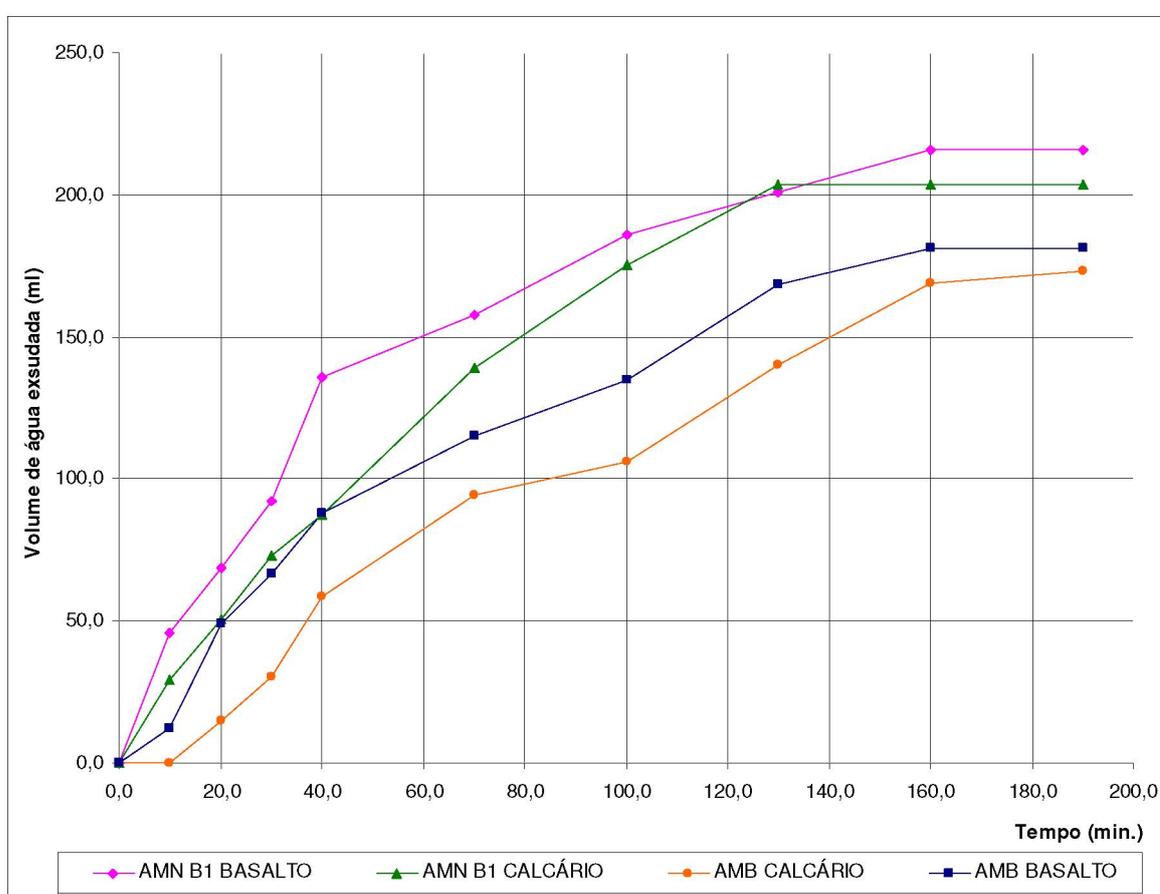


FIGURA 29 - Volume de água exsudada durante o ensaio de exsudação

Na evolução da exsudação constata-se que em todos os traços analisados, o volume de água exsudada a partir de 160 minutos começa a se estabilizar indicando que o ensaio será finalizado. Para todos os concretos analisados, 190 minutos foi o limite de tempo utilizado na medição da exsudação.

### 4.3 CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

#### 4.3.1 Absorção e porcentagem de vazios

A seguir será discutida a influência dos AMN e AMB em relação à absorção e índice de vazios do concreto. Este ensaio foi realizado para os concretos com resistência à compressão de 25,0 MPa, para cada um dos traços analisados, apresentados na TABELA 13.

TABELA 13 - Absorção e índice de vazios do concreto

Ensaio	Idade (dias)	CONCRETOS			
		AMB CALCÁRIO	AMN B1 CALCÁRIO	AMB BASALTO	AMN B1 BASALTO
Relação água/cimento	-	0,57	0,63	0,58	0,62
Absorção (%)	28	3,19	4,14	3,80	4,54
Índice de vazios (%)	28	9,06	10,82	7,49	10,15
Massa específica do concreto fresco (kg/dm <sup>3</sup> )	-	2,429	2,374	2,548	2,484

De acordo com a TABELA 13, constata-se que os concretos com AMN apresentam maiores relações água/cimento e em decorrência desse fator, são estes concretos que têm maiores valores de absorção de água e porcentagens de vazios. Na FIGURA 30, é apresentado gráfico para análise destes resultados.

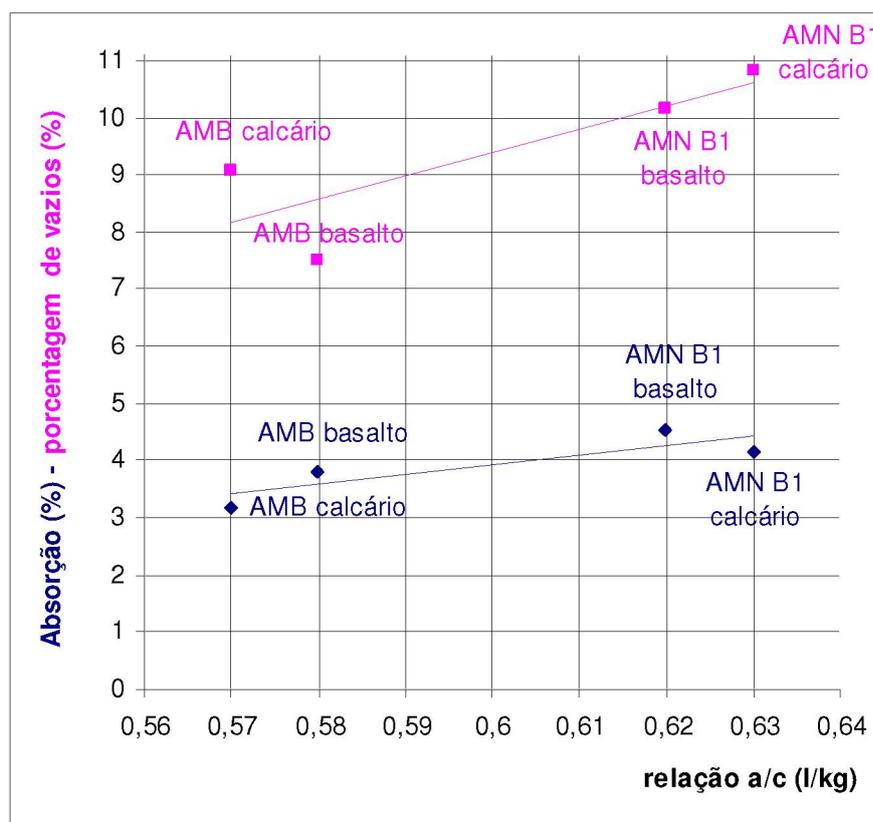


FIGURA 30 - Absorção e porcentagem de vazios dos concretos

A absorção de água, bem como as correspondentes porcentagens de vazios aumenta com a relação água/cimento, confirmando as observações de MEHTA e MONTEIRO (2005).

Analisando os resultados de absorção de água para concretos de mesma resistência à compressão axial, observa-se que uma menor quantidade relativa de cimento (m maior) nos concretos com AMN e conseqüentemente, menor quantidade de produtos hidratados, conduzem à formação de uma maior quantidade de vazios capilares, sendo responsável pela maior absorção nos concretos com AMN.

Os concretos com AMB, em relação aos concretos com AMN, de acordo com os resultados, apresentam um melhor preenchimento de vazios dos concretos, devido a maior quantidade de cimento. Isso possibilita um menor índice de vazios e conseqüentemente, menor volume total de poros acessíveis à água nos concretos, além de terem menores relações água/cimento e portanto menos poros capilares.

### 4.3.2 Tração por compressão diametral

O ensaio de tração por compressão diametral foi realizado em corpos de prova cilíndricos de dimensões 15 x 30 cm, sendo analisados dois corpos de prova por traço. Neste ensaio foram confeccionados todos os traços analisados no trabalho com resistências à compressão axial de 25,0 MPa, 35,0 MPa e 45,0 MPa, com idade de 28 dias.

A FIGURA 31 apresenta os resultados obtidos neste ensaio.

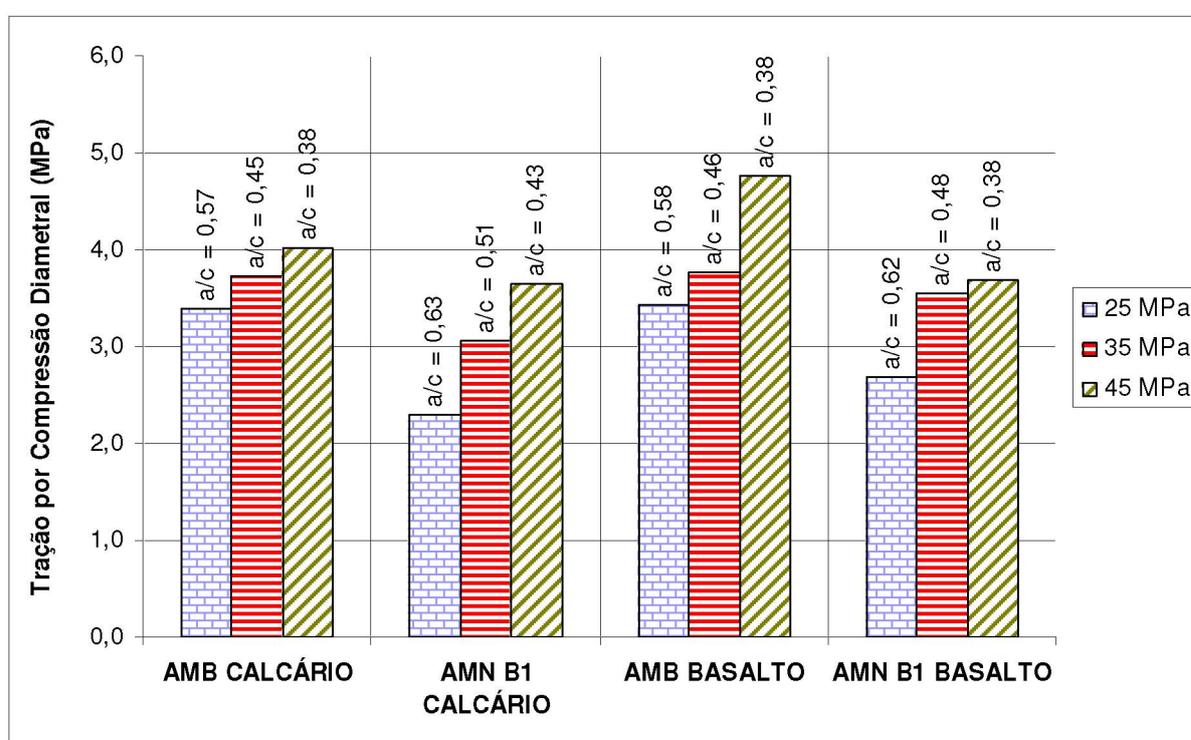


FIGURA 31 - Tração por Compressão Diametral do concreto para os quatro traços analisados

No ensaio de tração por compressão diametral foi possível identificar que os traços contendo agregados miúdos britados atingiram maiores resistências, conforme os resultados apresentados, por causa das suas relações água/cimento menores.

A partir dos resultados obtidos é possível afirmar que tanto o tipo de agregado miúdo quanto a relação água/cimento influenciam na resistência à tração por compressão diametral das misturas. Os concretos produzidos com AMB

apresentaram maiores resistências à tração por compressão diametral, sendo que se destaca o concreto com AMB basalto, com maiores resistências em relação aos outros concretos.

A causa para a obtenção destes resultados pode ser entendida por meio da menor angulosidade do AMN, o que possibilita uma mobilidade relativa<sup>9</sup> entre a pasta hidratada e o agregado durante o ensaio. A mobilidade maior para os AMN se deve ao fato de serem mais arredondados, além de possuírem textura superficial mais lisa que os britados.

Segundo NEVILLE (1997) quando ocorre um aumento na resistência à compressão, também ocorre um aumento na resistência à tração, porém numa taxa menor. A relação entre resistência à tração uniaxial e resistência à compressão gira em torno de 7 a 11% (METHA e MONTEIRO, 2005). Para os concretos avaliados neste trabalho, a relação entre resistência à tração por compressão diametral e resistência à compressão axial variou de 9 a 13,8%, nos traços com resistência à compressão fixada em 25,0 MPa. Nos traços com a resistência à compressão fixada em 35,0 MPa, a compressão axial variou entre 8,7 e 10,8% e a variação foi de 8,1 a 10,6% nos traços com a resistência à compressão fixada em 45,0 MPa, conforme apresentado na FIGURA 32, estando dentro da faixa compreendida entre 7 e 11%.

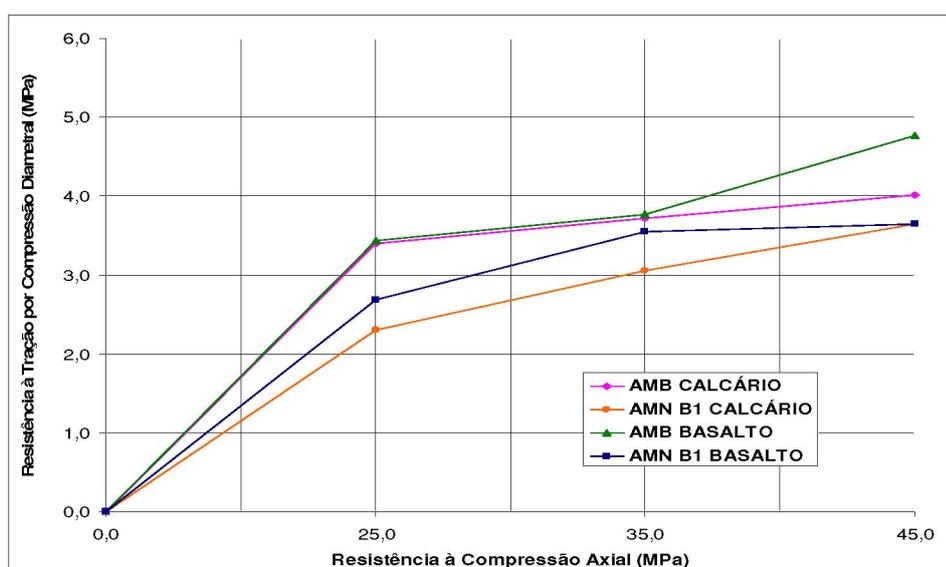


FIGURA 32 - Resistência à Tração por Compressão Diametral pela Resistência à Compressão

<sup>9</sup> Devido à aderência pasta-agregado, afetando a micro-fissuração na interface durante o ensaio e também devido ao imbricamento da fase agregado com a fase pasta hidratada.

### 4.3.3 Tração na flexão

Tanto no ensaio de tração na flexão, como no ensaio de tração na compressão diametral, foram moldados todos os traços analisados com as diferentes resistências à compressão axial. Foram utilizados corpos de prova prismáticos com dimensões 15 x 15 x 50 cm, ensaiados na idade de 28 dias. A FIGURA 33 apresenta os resultados da resistência á tração na flexão para os traços analisados.

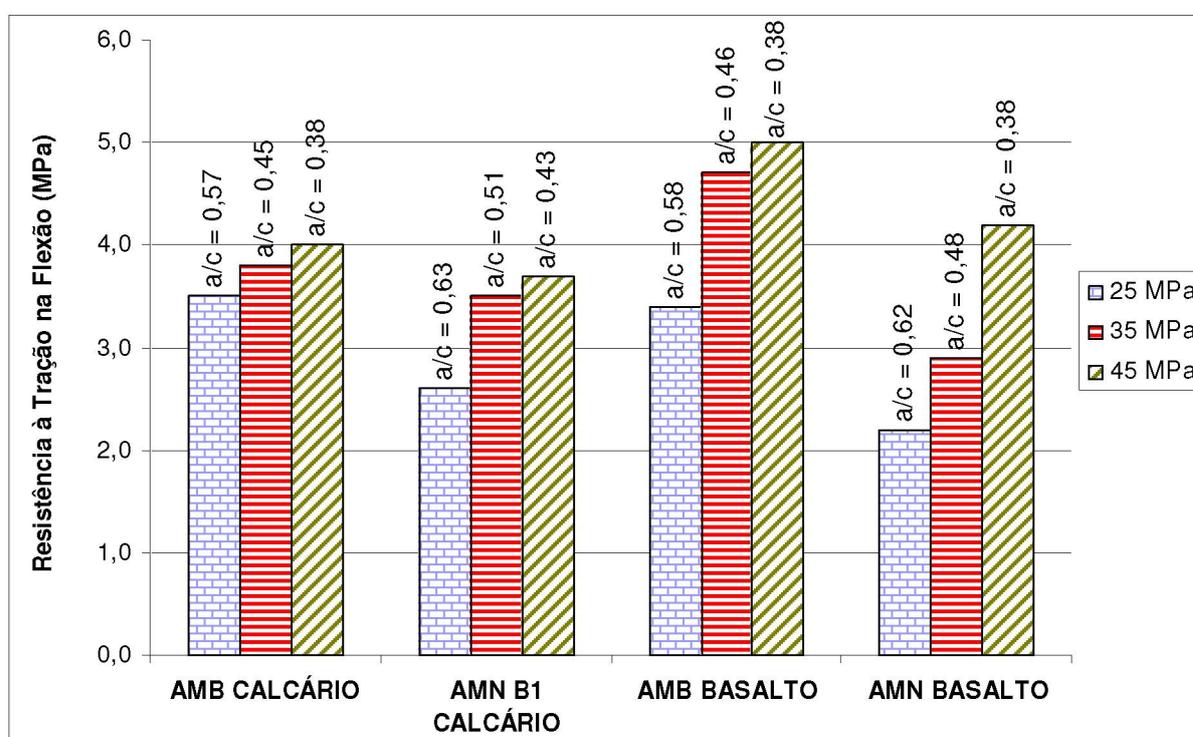


FIGURA 33 - Tração na Flexão dos concretos.

Analisando os resultados, é possível observar que diante de todos os concretos produzidos, obtêm-se melhores resultados à resistência à tração na flexão nos concretos com AMB, sendo que se destacam os concretos contendo AMB basalto, especialmente nos traços com resistência à compressão axial elevada.

A relação entre resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial variou de 9 a 14% nos traços com resistência à compressão fixada em 25,0

MPa, entre 8,3 a 13,4% nos traços com a resistência à compressão fixada em 35,0 MPa e de 8,2 a 11,1% nos traços com a resistência à compressão fixada em 45,0 MPa.

Da mesma forma como ocorrido com a resistência à tração por compressão diametral, os concretos contendo AMB apresentaram maiores valores de tração na flexão, independente da relação água/cimento e das resistências fixadas.

O ensaio de flexão admite uma relação linear de tensão-deformação em toda a seção do corpo de prova, sendo que apenas uma parte da seção abaixo da linha neutra é submetida à tensão de tração. Para o ensaio de tração por compressão diametral a ruptura ocorre devido a uma tensão transversal ao longo do diâmetro vertical derivada da tensão de compressão (METHA e MONTEIRO, 2005); e NEVILLE, (1997).

Observa-se que tanto a tração por compressão diametral quanto a tração por flexão apresenta o mesmo comportamento em relação à resistência à compressão. Verifica-se que à medida que ocorre um incremento na resistência à tração por compressão diametral ocorre também um incremento na tração na flexão.

Uma possível causa para os resultados de resistência à tração obtidos, está no formato dos grãos, pois os mesmos podem provocar um travamento melhor das partículas nos concretos com AMB, que são mais angulosos, melhorando as suas resistências.

#### 4.3.4 Módulo de elasticidade

O ensaio de módulo de elasticidade foi realizado de acordo com a NBR 8522/03, sendo que antes da realização do ensaio de três corpos-de-prova para a determinação do módulo de elasticidade, dois corpos de prova do mesmo concreto devem ser ensaiados para obter a resistência à compressão.

Foram utilizados corpos-de-prova cilíndricos com dimensão 10 x 20 cm, num total de cinco exemplares por traço.

A FIGURA 34 a seguir apresenta os resultados médios do ensaio de módulo de elasticidade individual para cada traço.

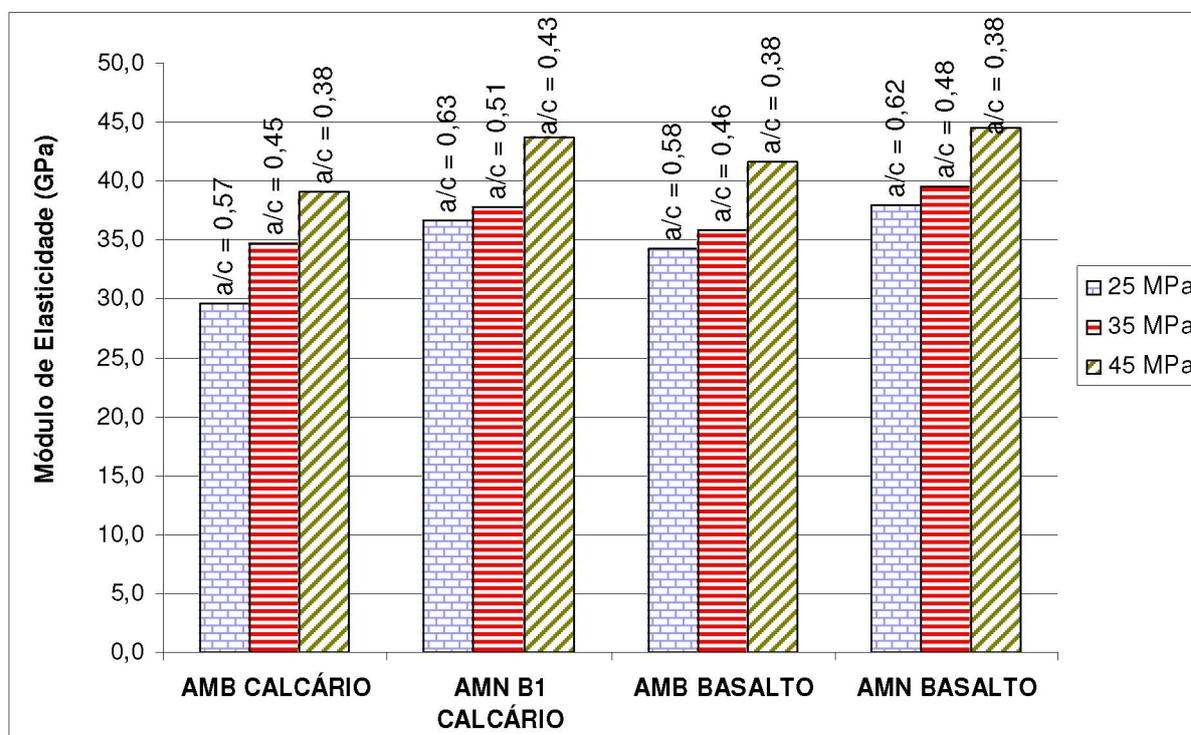


FIGURA 34 - Módulo de Elasticidade dos concretos

Analisando os resultados observa-se que os AMN apresentam maior módulo de elasticidade que os AMB, mesmo com quantidade relativa de cimento inferior (traço total m maior) para as mesmas resistências.

O módulo de elasticidade é uma expressão de rigidez do concreto no estado endurecido que é proporcionado pela hidratação do cimento presente. Os AMN apresentam partículas com formas visualmente mais arredondadas e também com textura mais lisa que os AMB. Isso tende a proporcionar maior formação de microfissuras entre agregado e pasta do que os AMB durante o ensaio, reduzindo os valores do módulo de elasticidade, porém este fenômeno, neste caso, não foi preponderante nos resultados do ensaio, pois os concretos com AMN, apresentam menores quantidades relativas de cimento (maiores valores de m) em relação aos concretos com AMB e, no entanto, apresentam maiores módulos de elasticidade. Ocorre que os AMB propiciam maior volume de pasta devido a maior presença de

material pulverulento e cimento do que os AMN, o que favorece a porosidade da zona de transição, com maior índice de vazios, apesar da mesma resistência à compressão, favorecendo a ocorrência de microfissuras na interface pasta-agregado, reduzindo o módulo de elasticidade.

Foi realizado o cálculo da área específica através da equação (16):

$$AE = \frac{6}{ME.Mt} \cdot \sum_{\#1}^k \frac{M\#}{\phi\#} \dots\dots\dots(16)$$

onde:

AE = área específica do agregado (cm<sup>2</sup>/g),

ME = massa específica (g/cm<sup>3</sup>),

Mt = massa total de agregado (g),

M# = massa retida na peneira considerada (g),

φ# = diâmetro médio das partículas retidas na peneira (cm).

Os resultados obtidos no cálculo da área específica dos concretos<sup>10</sup> são apresentados na TABELA 14.

TABELA 14 - Área específica dos concretos

CONCRETOS	fc28 (MPa)	Área Específica (cm <sup>2</sup> /g)	m	a/c (l/kg)	Módulo de Elasticidade (GPa)
AMB Calcário	25	143,3	5,552	0,57	29,6
	35	143,3	4,138	0,45	34,8
	45	143,3	3,069	0,38	39,0
AMN B1 Calcário	25	105,0	7,439	0,63	36,6
	35	105,0	5,918	0,51	37,8
	45	105,0	4,787	0,43	43,8
AMB Basalto	25	110,2	5,095	0,58	34,3
	35	110,2	3,874	0,46	35,8
	45	110,2	2,958	0,38	41,7
AMN B1 Basalto	25	104,9	7,358	0,62	37,9
	35	104,9	5,514	0,48	39,6
	45	104,9	4,141	0,38	44,5

<sup>10</sup> A designação “área específica dos concretos” se refere à área específica do agregado total que compõem o concreto.

Na FIGURA 35, é apresentada a relação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão para observar as influências das respectivas áreas específicas dos concretos no módulo.

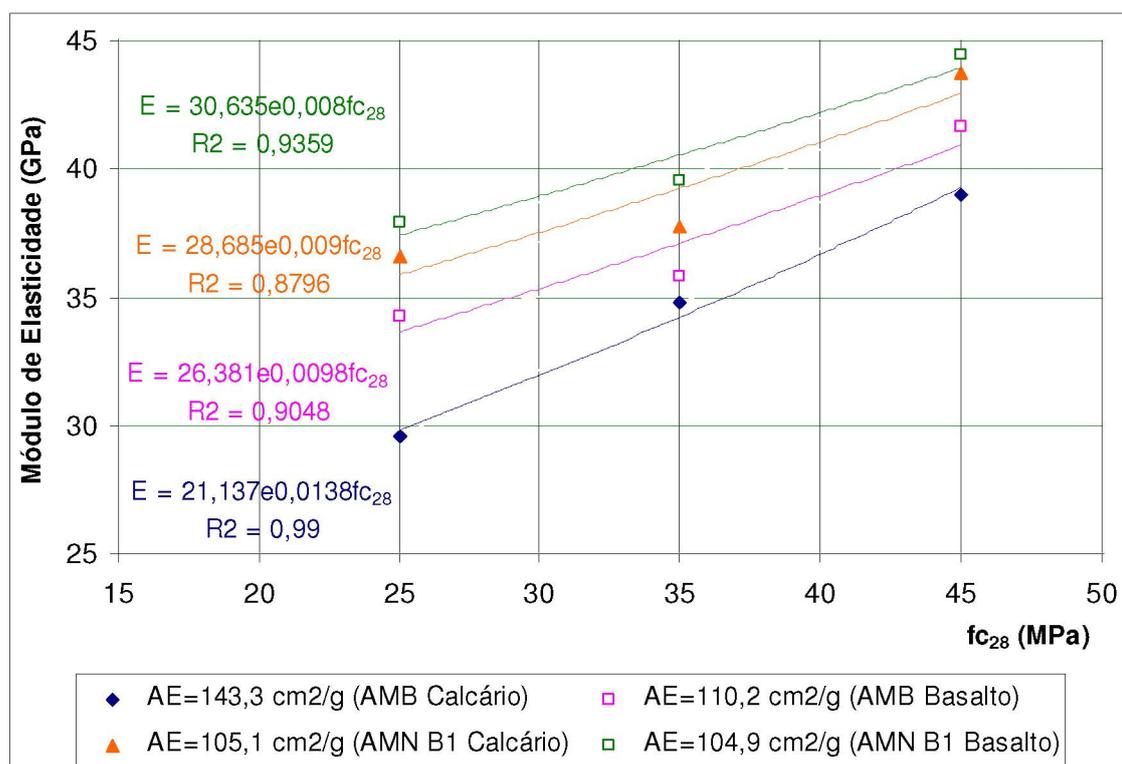


FIGURA 35 - Relação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão para análise da influência da área específica

Constata-se que quanto maior for a resistência à compressão axial, maior será o módulo de elasticidade, como o esperado. Verifica-se também que quanto maior for a área específica do agregado total, menor será o módulo de elasticidade, também de acordo com o esperado. Isto comprova o que foi afirmado anteriormente, que se supõe que a maior presença de material pulverulento compondo a matriz aglomerante (cimento + material pulverulento + água), prejudica a aderência “pasta-agregado” e proporciona maior formação de vazios, reduzindo o módulo de elasticidade.

Segundo HELENE (2002), para uma relação água/cimento aproximada em concretos, com o aumento do consumo de cimento e conseqüente diminuição do

teor de agregados, é possível observar uma redução do módulo de elasticidade, pois os agregados de uma maneira geral, possuem módulo de elasticidade maior do que o da pasta de cimento. A diminuição do teor de agregados provoca redução do módulo de elasticidade. Nos concretos com AMN, observa-se a maior quantidade de agregados para relações água/cimento aproximadas, confirmando esta verificação.

#### 4.4 CONSUMO DO CIMENTO

Após a realização das etapas iniciais, foram observadas as diferenças entre os traços estudados e entre elas um aspecto importante surgiu na questão da viabilidade do uso de concretos com AMB, o consumo de cimento.

Para uma melhor visualização dos concretos estudados neste trabalho, foram confeccionados diagramas de dosagem separados para cada uma das resistências à compressão fixadas: 25,0 MPa; 35,0 MPa e 45,0 MPa. Os resultados assim dispostos permitiram associar as características de cada um dos quatro concretos produzidos.

Nas FIGURAS 36, 37 e 38 são apresentados os diagramas de dosagem para os concretos deste trabalho.

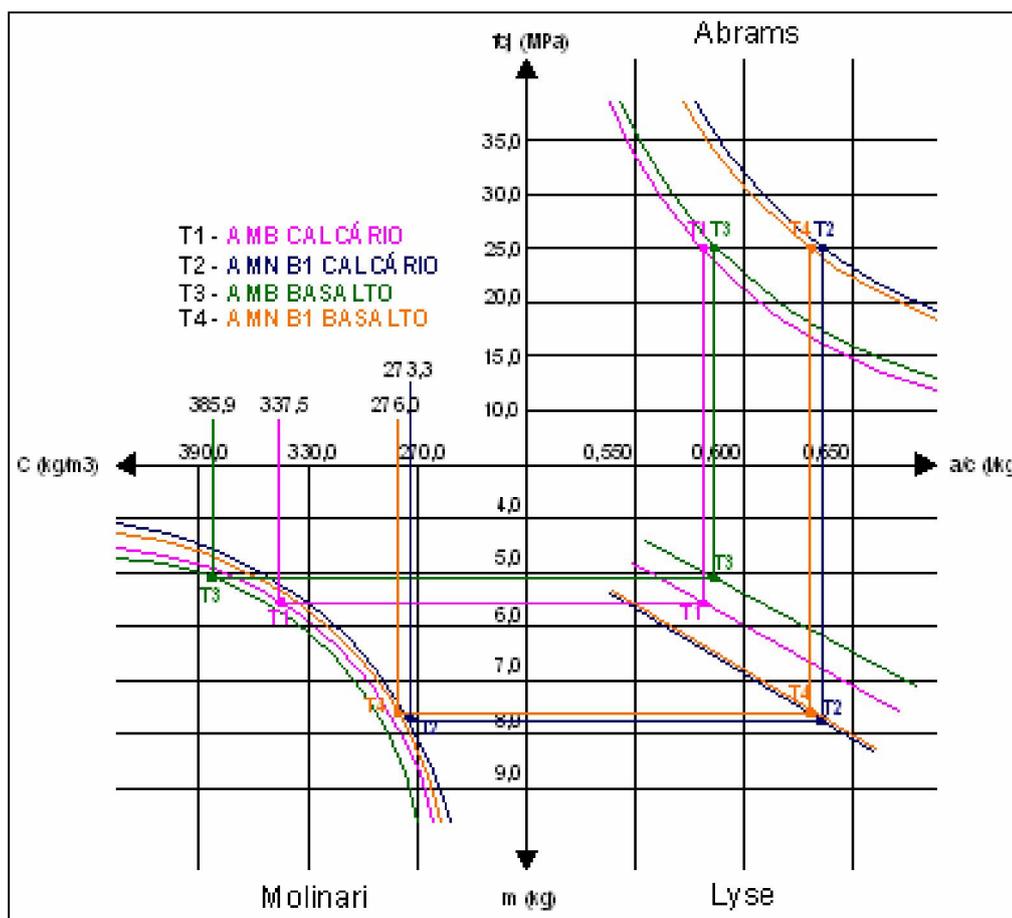


FIGURA 36 - Diagrama de dosagem concretos com resistência à compressão 25,0 MPa

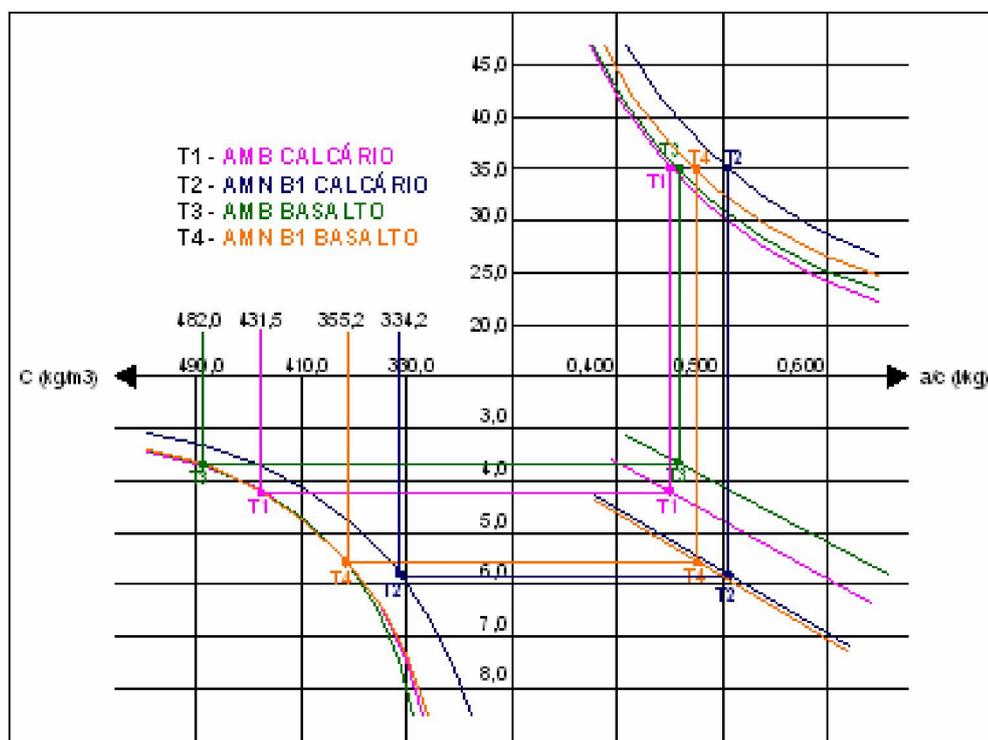


FIGURA 37 - Diagrama de dosagem concretos com resistência à compressão 35,0 MPa

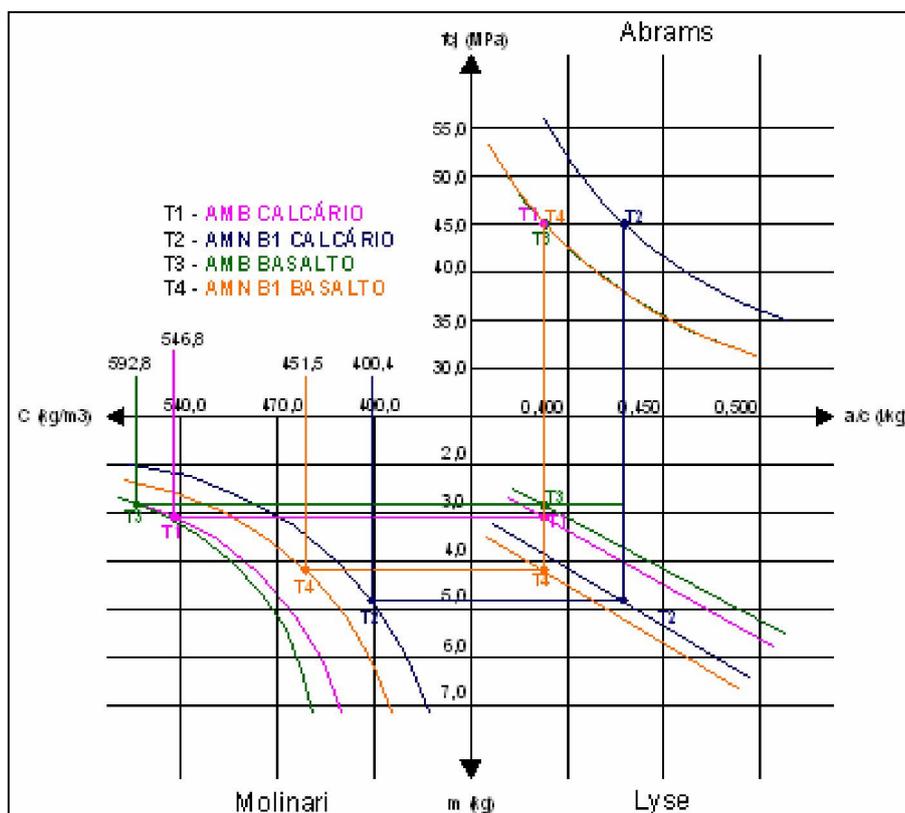


FIGURA 38 - Diagrama de dosagem concretos com resistência à compressão 45,0 MPa

TABELA 15 - Resumo dos diagramas de dosagem

CONCRETOS		a/c	m	Consumo (kg/m³)	Abrams	Lyse	Molinari
AMB CALCÁRIO	25,0 MPa	0,57	5,552	337,5	$f_{c28} = \frac{115,11}{11,695^x}$	$m = 13,46 * x - 1,0$	$C_1 = \frac{10.000}{4,02 + 4,378 * m}$
	35,0 MPa	0,45	4,138	431,5			
	45,0 MPa	0,38	3,069	546,8			
AMN B1 CALCÁRIO	25,0 MPa	0,63	7,439	273,3	$f_{c28} = \frac{162,27}{19,75^x}$	$m = 13,46 * x - 1,0$	$C_2 = \frac{10.000}{4,01 + 4,380 * m}$
	35,0 MPa	0,51	5,918	334,2			
	45,0 MPa	0,43	4,787	400,4			
AMB BASALTO	25,0 MPa	0,58	5,095	385,9	$f_{c28} = \frac{118,03}{15,21^x}$	$m = 11,50 * x - 1,0$	$C_3 = \frac{10.000}{4,27 + 4,567 * m}$
	35,0 MPa	0,46	3,874	482,0			
	45,0 MPa	0,38	2,958	592,8			
AMN B1 BASALTO	25,0 MPa	0,62	7,358	276,0	$f_{c28} = \frac{133,71}{18,10^x}$	$m = 10,53 * x - 1,0$	$C_4 = \frac{10.000}{4,35 + 4,232 * m}$
	35,0 MPa	0,48	5,514	355,2			
	45,0 MPa	0,38	4,141	451,5			

Analisando as informações dos diagramas de dosagem e da TABELA 15, é possível verificar que, como a consistência do concreto é constante ( $70 \pm 10$  mm) para todos os concretos analisados, os concretos com AMN exigem maiores incrementos na relação água/cimento, quando ocorre aumento da relação agregado/cimento (m).

Nos diagramas é possível destacar as diferenças de consumo entre os concretos com AMB em relação aos AMN. É possível ainda verificar nos concretos mais ricos com resistência a compressão axial de 45,0 MPa, grandes diferenças de consumo, como ocorrido no concreto com AMB basalto que apresenta consumo de  $592,8 \text{ kg/m}^3$ . Por outro lado, os concretos com mesma resistência utilizando AMN atingiram 400,4 e  $451,5 \text{ kg/m}^3$ , chegando a uma diferença maior que 30% em relação aos concretos com AMB.

Nas FIGURAS 39 e 40, a seguir é apresentado o gráfico com os consumos de cimento e os respectivos concretos com os diferentes tipos de agregados.

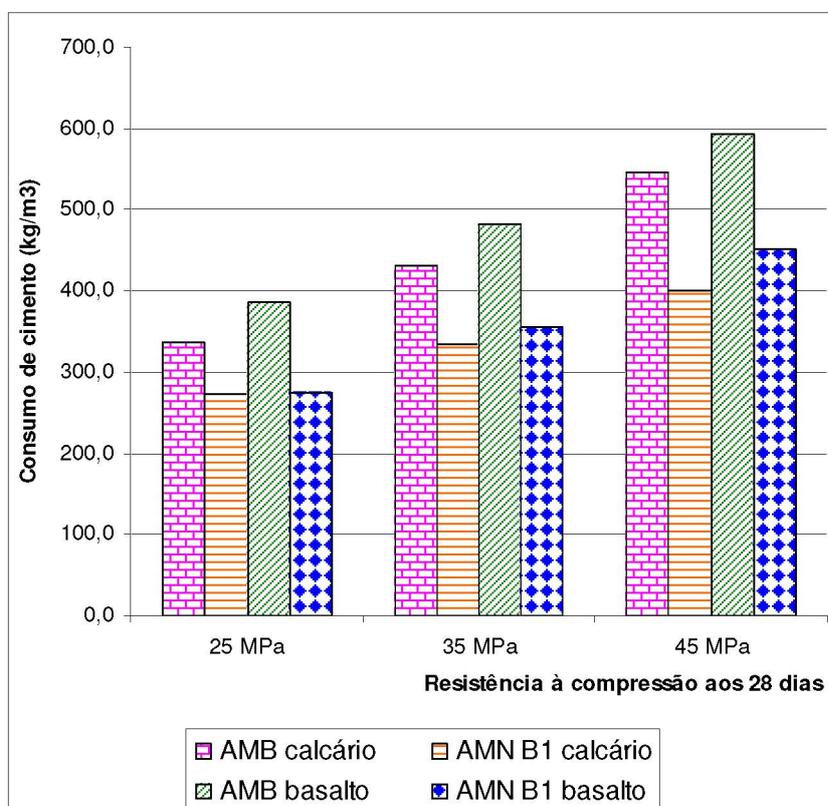


FIGURA 39 - Consumo de cimento nos concretos analisados

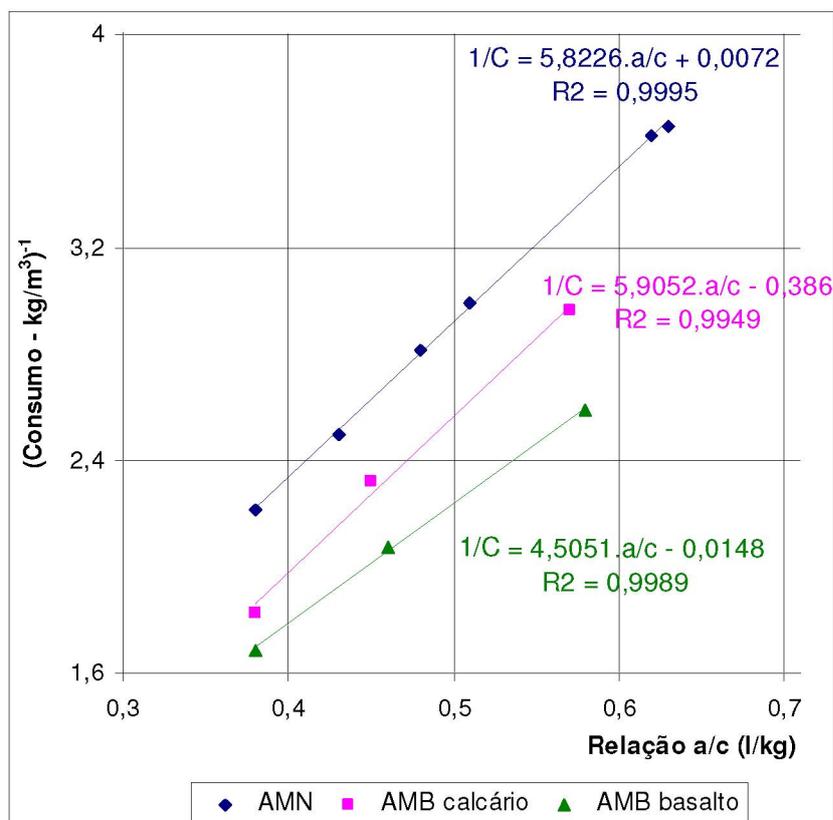


FIGURA 40 - Consumo de cimento pela relação água/cimento

Analisando as FIGURAS 39 e 40, constata-se que os concretos com AMB apresentam maiores consumos de cimento que os concretos com AMN. Na produção de concretos com a utilização de AMN, o consumo de cimento não é afetado pelas diferentes características dos agregados graúdos:

- massa específica;
- forma;
- textura superficial;

Por outro lado, os concretos com AMB, aparentemente são influenciados pelas características citadas acima além das características da rocha de origem e do teor do material pulverulento em relação ao consumo de cimento.

## 4.5 ESTUDOS COMPLEMENTARES COM ARGAMASSAS

### 4.5.1 Consistência

Devido aos elevados consumos de cimento apresentados pelos concretos produzidos com AMB em relação aos concretos produzidos com AMN, foram realizados ensaios de consistência com argamassas de abatimento constante e com mesmos traços de materiais secos, produzidas com os três agregados miúdos utilizados neste trabalho. Para estes ensaios foram produzidos então dois agregados miúdos britados com granulometrias iguais à do agregado miúdo natural, inclusive com mesmo teor de material pulverulento.

Este estudo teve por objetivo verificar a influência dos três tipos de agregados sobre os consumos de cimento e, em decorrência, sobre as suas propriedades.

Os três agregados miúdos foram preparados fazendo-se o peneiramento com a peneira 1,87 mm. Fez-se o peneiramento do AMN assim obtido, resultando os dados da TABELA 14. Os outros dois agregados miúdos, de calcário e de basalto foram compostos com a mesma granulometria do AMN (TABELA 14), separando as frações retidas nas peneiras 1,2 ; 0,6 ; 0,3 ; 0,15 mm ; fundo e comendo as areias AMB com quantidades iguais em cada peneira. O material pulverulento foi corrigido na fração fundo.

O traço utilizado no estudo foi 1:2,25 (cimento:areia) em massa, conforme apresentado na TABELA 16.

TABELA 16 - Granulometria do AMN

Peneiras (mm)	Massas (g)	Porcentagens retidas	
		individuais	acumuladas
2,4	0,0	0,0	0,0
1,2	0,9	0,1	0,1
0,6	113,5	11,4	11,5
0,3	351,3	35,2	46,6
0,15	433,8	43,4	90,0
Fundo	98,8	9,9	100
$\Sigma$	998,3	100	-
MF	1,483		

Foi adotado um ensaio de consistência utilizando o tronco de cone proposto por GORISSE (1981), com dimensões 5,0 x 10,0 x 15,0 cm conforme a FIGURA 41 a seguir, fixando-se a consistência em  $4,0 \pm 1,0$  cm.



FIGURA 41 - Tronco de cone proposto por GORISSE (1981).

A consistência foi determinada, seguindo os parâmetros do ensaio de abatimento de tronco de cone NBR NM 67/98, sendo que foram aplicados para cada uma das três camadas, 12 golpes com haste de dimensão 8,0 mm, conforme detalhes apresentados nas FIGURAS 42 e 43 a seguir.



FIGURA 42 - Detalhe do adensamento da argamassa no tronco de cone



FIGURA 43 - Detalhe da medição do abatimento da argamassa

A definição do ensaio com estas características deve-se aos seguintes fatores:

- a) reduzir a quantidade de agregados produzidos por peneiramento manual;
- b) evitar-se o uso da mesa de consistência (NBR 7215/82), que introduz esforço dinâmico, tornando difícil a comparação com os resultados do concreto;
- a) avaliar a validade deste ensaio para estudos parciais do concreto.

Inicialmente foi realizado o traço contendo o AMN, para se obter a consistência fixada em  $4,0 \pm 1,0$  cm, e estabelecer a referência para o ensaio. A seguir foram realizadas as demais misturas. Os traços ajustados encontram-se na TABELA 17.

TABELA 17 - Traços ajustados para iguais granulometrias e diferentes teores de material pulverulento, com abatimento fixado em  $4,0 \pm 1,0$  cm

Traços	Cimento (g)	Areia (g)	Água (g)	a/c	Teor de Pulverulento (%)
AMN	440,0	990,0	222,0	0,505	3,44
AMB Basalto	440,0	990,0	250,0	0,568	27,65
AMB Calcário	440,0	990,0	282,0	0,641	35,20

Verificou-se que a relação água/cimento aumenta, com o aumento do teor de material pulverulento presente nas argamassas com AMB, confirmando o que foi constatado no estudo com os concretos.

Analisando os resultados obtidos, observou-se que para obter a mesma consistência do traço com AMN, foram necessários aproximadamente 13,0 % e 27,0% de acréscimo de água para os traços com AMB basalto e calcário respectivamente.

Como estes agregados miúdos analisados apresentam teores diferentes de material pulverulento (AMN 3,44%, AMB basalto 27,65% e AMB calcário 35,2%), foram realizadas novas misturas com as faixas granulométricas do AMN, considerando para as misturas AMB o teor de material pulverulento de 3,44% ou seja, o mesmo do AMN. Os resultados obtidos são apresentados na TABELA 18.

TABELA 18 - Traços ajustados de iguais granulometrias e teores de material pulverulento, com abatimento fixado em  $4,0 \pm 1,0$  cm

Traços	Cimento (g)	Areia (g)	Água (g)	a/c	Teor de Pulverulento (%)
AMN	440,0	990,0	222,0	0,505	3,44
AMB Basalto	440,0	990,0	230,0	0,523	3,44
AMB Calcário	440,0	990,0	237,2	0,539	3,44

Para argamassas com o mesmo teor de material pulverulento, a relação água/cimento para uma consistência constante aumenta. A maior exigência de água para argamassas com mesma consistência se deve principalmente ao teor de material pulverulento, mas também a outros fatores, como sugerem os resultados da TABELA 16, tais como:

- a) forma e textura superficial;
- b) massa específica;
- c) granulometria entre peneiras correspondentes;

O fator apresentado no item c) fica evidenciado com as diferenças nas distribuições granulométricas da fração abaixo da peneira de 0,075 mm (material pulverulento), conforme mostram as FIGURAS 44, 45 e 46 a seguir:

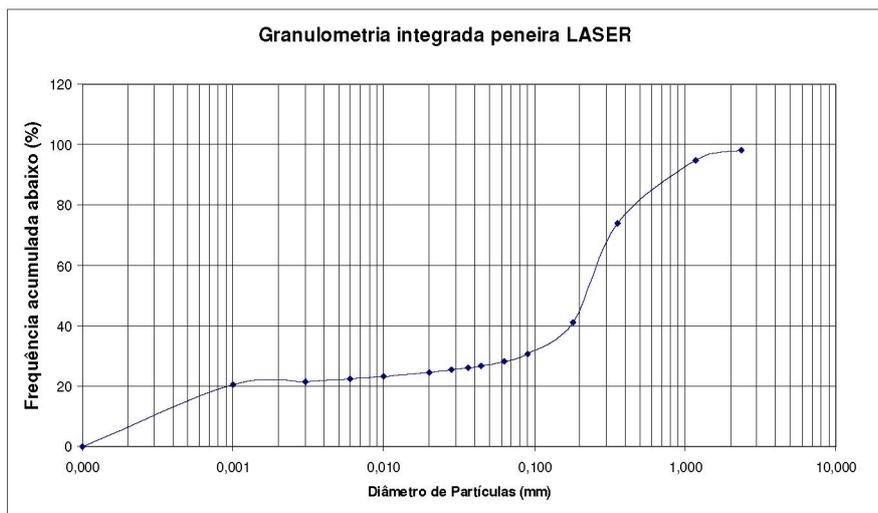


FIGURA 44 - Granulometria a Laser do agregado miúdo natural

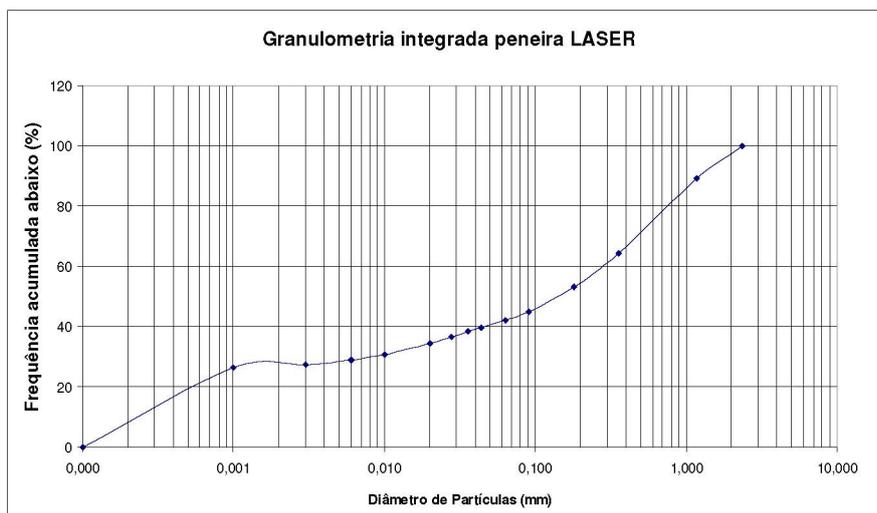


FIGURA 45 - Granulometria a Laser do agregado miúdo calcário

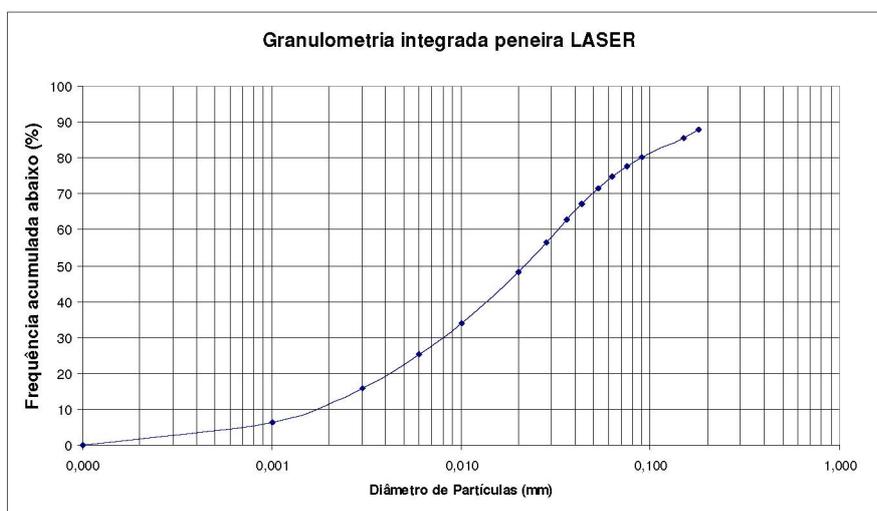


FIGURA 46 - Granulometria a Laser do agregado miúdo basalto

Como no ensaio de abatimento de tronco de cone atuam forças de gravidade, então as maiores massas específicas tendem a apresentar menores exigências de água para abatimentos iguais, como se constata nos resultados da TABELA 18. Ou seja, para a mesma consistência, as argamassas com AMB basalto exigem menos água.

Foram obtidos, conforme a TABELA 18, um acréscimo mínimo de consumo de água nas misturas com AMB, de 3,6 % para AMB basalto e 6,8 % para AMB calcário.

TABELA 19 - Consumo de cimento para os traços analisados

Traços	Cimento (g)	Areia (g)	Água (g)	a/c	Consumo (kg/m <sup>3</sup> )
AMN	440,0	990,0	222,0	0,505	586,9
AMB Basalto	440,0	990,0	230,0	0,523	624,5
AMB Calcário	440,0	990,0	237,2	0,539	584,5

Analisando os resultados obtidos na TABELA 19, constata-se que o ajuste granulométrico apresenta uma aproximação dos consumos de água entre os traços, possibilitando conseqüentemente uma aproximação dos consumos de cimento entre os traços com diferentes tipos de agregados miúdos, permitindo a viabilidade de concretos com AMB.

#### 4.5.2 Retração por secagem

Segundo CINCOTTO et al (2003), no Brasil não existe normalização específica de ensaio para a determinação da retração por secagem em concretos e argamassas.

A norma ASTM 490/97, foi empregada neste estudo. O traço utilizado foi 1:2,25 (cimento:areia), a água de amassamento foi determinada segundo o ensaio de mini-abatimento utilizando o tronco de cone segundo GORISSE (1981), com consistência de  $4,0 \pm 1,0$  cm.

Para cada mistura foram moldados três corpos-de-prova prismáticos de dimensões: 25,0 x 25,0 x 285,0 mm. Além das misturas com os três agregados miúdos analisados, foram realizado mais duas misturas nas mesmas condições das anteriores, só que com AMB de calcário e AMB de basalto, ambos com a mesma granulometria do AMN, inclusive com o mesmo teor de material pulverulento, denominado respectivamente de AMB calcário otim e AMB basalto otim. Nas formas foi usado um desmoldante químico e posicionados os pinos de medida, mantendo-os isentos de desmoldante, que poderia interferir na aderência do mesmo à massa de mistura. Os corpos de prova foram armazenados em câmara seca com umidade relativa de 50%. Foram realizadas leituras da variação linear de comprimento nas idades 1, 3, 7, 14, 21 e 28 dias. As leituras da retração por secagem foram realizadas nas respectivas datas, sendo que os corpos-de-prova prismáticos foram desformados com 24 horas e a primeira leitura realizada. Para o procedimento de leitura o corpo-de-prova foi encaixado verticalmente no pórtico metálico dotado de um relógio comparador digital, conforme a FIGURA 47.



FIGURA 47 - Pórtico metálico com relógio comparador

O micrômetro digital é zerado com a barra padrão. O corpo-de-prova é posicionado sempre no mesmo sentido durante o procedimento de aferição, ou seja, com a marca de referência para cima, sendo que este procedimento foi realizado em todas as séries de leituras realizadas.

Para as medidas realizadas, os corpos-de-prova foram posicionados sempre em um mesmo sentido, indicado por meio de uma seta no mesmo. Antes da realização da leitura as barras foram giradas sobre o seu eixo. O giro do corpo-de-prova é essencial para minimizar erros.

A partir de cada leitura foi calculada a retração por secagem conforme a equação (17), segundo PACELLI et al (1997). A retração por secagem final de cada mistura é a média dos quatro corpos-de-prova avaliados.

$$\varepsilon_s = \frac{(L_1 - L_2)}{L_1} \cdot 100 \dots\dots\dots(17)$$

Onde  $\varepsilon_s$  é a retração por secagem no corpo-de-prova em determinada idade (%),  $L_1$  é o comprimento do corpo de prova em determinada idade (mm),  $L_2$  é o comprimento da barra de referência (mm).

Na FIGURA 48 são apresentados os resultados do ensaio de retração por secagem.

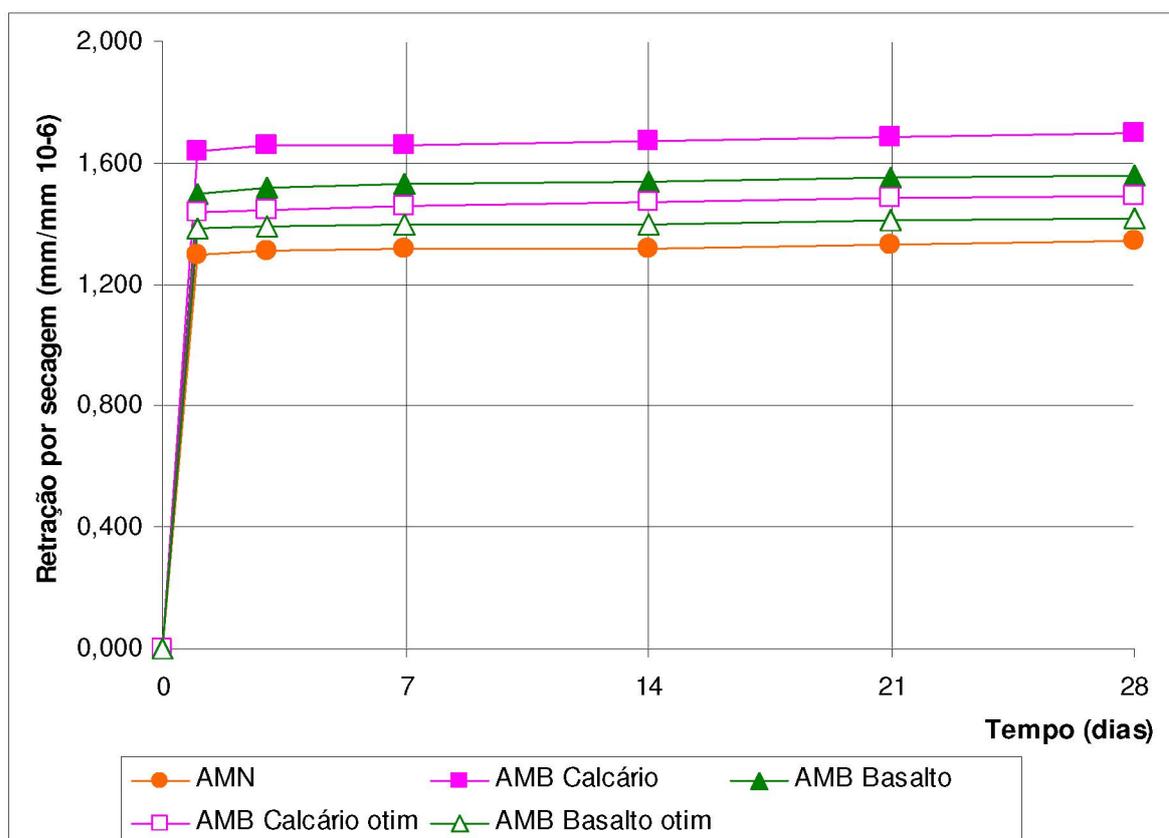


FIGURA 48 - Resultados do ensaio de retração por secagem

É possível constatar por meio dos resultados obtidos neste ensaio que ao se comparar as argamassas com AMN e as com AMB, as últimas apresentam maior retração por secagem, sendo que nas primeiras idades obtiveram-se os maiores valores.

Esta comparação indicou que o AMB de calcário proporcionou a maior retração por secagem aos 28 dias, sendo que o traço foi confeccionado com a mesma faixa granulométrica que o AMN. Na FIGURA 48, também são apresentados

os AMB otimizados, conforme a TABELA 18, com o mesmo teor de material pulverulento.

Na preparação das misturas considerando a mesma faixa granulométrica e o mesmo teor de finos, foram obtidos valores com acréscimo de retração por secagem nas argamassas com AMB, evidenciando o fator de forma como principal influência.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Após a realização de todas as etapas propostas no programa experimental, foi possível constatar que a utilização de AMB proveniente de britagem como agregado miúdo em concretos estruturais, apresentam indicadores para a busca de alternativas técnicas, necessárias devido às restrições ambientais na exploração dos AMN (TERRA, 2005).

O estudo indicou ainda que o uso de AMB requer a necessidade cada vez maior no controle da qualidade na produção dos agregados utilizados, destacando-se a influência dos tipos de rocha, equipamentos de britagem e a forma do agregado resultante.

Por fim, a análise permitiu verificar a viabilidade do uso de AMB em substituição dos AMN para concretos de cimento Portland.

### 5.1 CONCLUSÕES DO ESTUDO EXPERIMENTAL

O desenvolvimento do método de dosagem aplicado neste trabalho e iniciado a partir dos estudos com argamassas, utilizando os AMB, foi considerado eficaz, após a obtenção do índice de consistência das argamassas e de suas respectivas relações água/cimento. A partir destes resultados foram geradas as equações de ajuste pelo método dos mínimos quadrados, cujos pontos de teores de *finos x relações água/cimento* para cada traço ficaram definidos pelos pares ordenados. O gráfico da reta ajustada possibilitou a definição das relações ótimas entre água/cimento e os correspondentes teores de finos (relações finos/granilha) nas argamassas.

Assim sendo, nesta etapa do estudo, concluiu-se que o método de dosagem desenvolvido para este trabalho a partir dos dados obtidos nas argamassas, facilitou a obtenção dos teores de finos iniciais para ajustes dos concretos.

Após a obtenção dos teores de finos iniciais obtendo-se os traços calculados, foram ajustados os concretos com os teores de finos necessários para obter consistência de  $70,0 \pm 10,0$  mm, coesão e acabamento superficial, permitindo encontrar os teores de finos necessários para cada concreto ajustado.

Foram realizadas moldagens de corpos-de-prova para o ensaio de compressão axial e posteriormente com os resultados obtiveram-se as equações de Abrams e o diagrama de dosagem para os concretos analisados.

Determinou-se a partir deste momento o uso de resistências estruturais para a continuação deste estudo visando abranger as resistências mais usualmente utilizadas.

A análise experimental possibilitou assim adquirir as informações necessárias para a caracterização e verificação dos ensaios nos concretos frescos e endurecidos conforme o programa experimental desenvolvido, cumprindo a expectativa inicial de analisar o uso de AMB como alternativa ao AMN.

#### a) Concreto no estado fresco

Segundo NEVILLE (1997), as propriedades do concreto fresco sofrem mais influências desfavoráveis que no estado endurecido com agregados britados devido a forma das partículas, sendo que formas menos esféricas e arredondadas exigem mais água para uma mesma consistência.

Os ensaios realizados com os concretos no estado fresco apresentaram uma maior massa específica para os concretos contendo AMB.

No ensaio de ar incorporado pelo método gravimétrico os resultados mostraram maiores teores para os concretos com AMB, em relação aos AMN, pois os AMB possuem menos porcentagens de vazios no concreto, possivelmente devido à presença de grande quantidade de material fino e mais o cimento.

O ensaio de exsudação dos concretos com AMN demonstrou que os finos totais compostos do material pulverulento (passante na peneira # 200 de 0,0075 mm) e a quantidade de cimento menor dos concretos em relação aos AMB interferem nas propriedades de segregação do concreto, proporcionando uma maior exsudação aos concretos contendo AMN.

#### b) Concreto no estado endurecido

Os ensaios mecânicos demonstraram que os concretos contendo AMB possuem maior resistência à tração por compressão diametral e a tração na flexão do que os concretos contendo AMN, comprovando que os concretos com consumos mais elevados de cimento e maior quantidade de material pulverulento influenciam nestes resultados, aliado ao melhor travamento dos AMB, devido à presença de agregados mais angulosos.

No ensaio de módulo de elasticidade, os AMN obtiveram maior módulo que os concretos com AMB, apesar de apresentarem menores quantidades de finos totais compostos nestes concretos com menor quantidade de cimento e material pulverulento, além de possuírem forma de partículas arredondadas e de textura lisa o que facilita a formação de microfissuras na interface agregado/pasta e que pode provocar deformação. Neste caso ficou evidenciado que a maior área específica dos AMB equivale a um menor módulo de elasticidade em relação aos AMN.

Na retração por secagem em argamassas, observou-se que a presença dos finos totais proporcionou maior retração nas argamassas com AMB, possibilitando assim a constatação da influência dos agregados miúdos nas misturas.

#### c) consumo de cimento

O consumo de cimento nos concretos confeccionados com AMB é elevado em relação aos concretos com AMN.

Na análise do consumo de cimento, constata-se que é possível utilizar concretos com AMB, desde que seja realizado controle dos materiais finos, diminuindo o teor de material pulverulento.

No experimento obtiveram-se aproximações dos consumos entre AMN e AMB, ao se ajustar à quantidade de material fino para uma mesma consistência determinada. Nesta análise concluiu-se que o fato de não ocorrer exatamente a mesma exigência de água entre os agregados para uma mesma consistência acontece devido ao formato dos mesmos, parâmetro que este trabalho optou por não avaliar.

Os resultados obtidos neste estudo apresentam a grande influência dos agregados miúdos nos concretos. Utilizando agregado miúdo de calcário e de basalto que possuem diferentes massas específicas, o estudo concluiu que para a utilização o AMB em relação ao AMN, deve-se observar e controlar principalmente a quantidade de finos do agregado para que assim seja possível a confecção de concretos com consumos de cimentos compatíveis aos concretos com AMN, viabilizando dessa forma a sua utilização.

#### d) Granulometria

A granulometria foi de fundamental importância no estudo dos AMB, para a substituição integral de AMN, pois influencia as propriedades e características dos concretos. Para os AMB as características geométricas dos grãos dependem da natureza mineral da rocha de origem e do tipo de britador utilizado. Os agregados graúdos apesar de terem sido produzidos de maneira diferente, apresentaram granulometrias parecidas, não influenciando os concretos confeccionados.

Analisando os ensaios mecânicos realizados, concluiu-se que a granulometria teve papel fundamental quanto à aplicabilidade dos AMB, pois apenas por meio de uma otimização granulométrica realizada nas peneiras menores que 0,60 mm, é possível a obtenção das características desejáveis para utilização de concretos com AMB.

#### e) Material pulverulento

O estudo experimental constatou que os teores elevados de material pulverulento (material passante na peneira 0,0075 mm) nos AMB provocam grande influência nas propriedades do concreto, tanto no estado fresco como no estado endurecido, concluindo-se que:

- O material pulverulento possui influência na consistência dos concretos e argamassas;
- Quanto maior o teor de material pulverulento, maior a área específica e conseqüentemente maior consumo de cimento e maior quantidade de água na mistura;
- Concretos com mesma resistência à compressão axial, com teor elevado de material pulverulento proporcionam menor exsudação;
- A presença de material pulverulento proporciona melhores resistências mecânicas aos concretos com AMB;
- A retração por secagem dos concretos com teor elevado de material pulverulento é elevada.

## 5.2 SUGESTÕES PARA ESTUDOS FUTUROS

A partir do estudo realizado verificou-se a possibilidade de realização de futuras pesquisas indicadas abaixo, de forma a contemplar e aprofundar temas que não eram o foco deste trabalho:

- Estudo da textura, forma e grau de arredondamento dos agregados miúdos britados;
- Análise da menor compactação possível em concretos contendo agregado miúdo britado através de modelos matemáticos;
- Avaliar diferentes tipos de agregados miúdos britados com diferentes massas específicas para obtenção de parâmetros quanto a sua utilização como granito, riolito, etc;
- Verificar a abrasão e desgaste de concretos utilizando agregados miúdos britados;
- Analisar a durabilidade dos concretos confeccionados com agregados miúdos britados quanto à porosidade e carbonatação;
- Estudo da análise de custos simulando construções reais.

## **ANEXOS**

## LAUDO TÉCNICO

Laudo integrado de análise de material “in natura”  
Análise comparativa de resultados químicos e mineralógicos

### 1. INTERESSADO:

**Guilherme Buest**

### 2. IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:

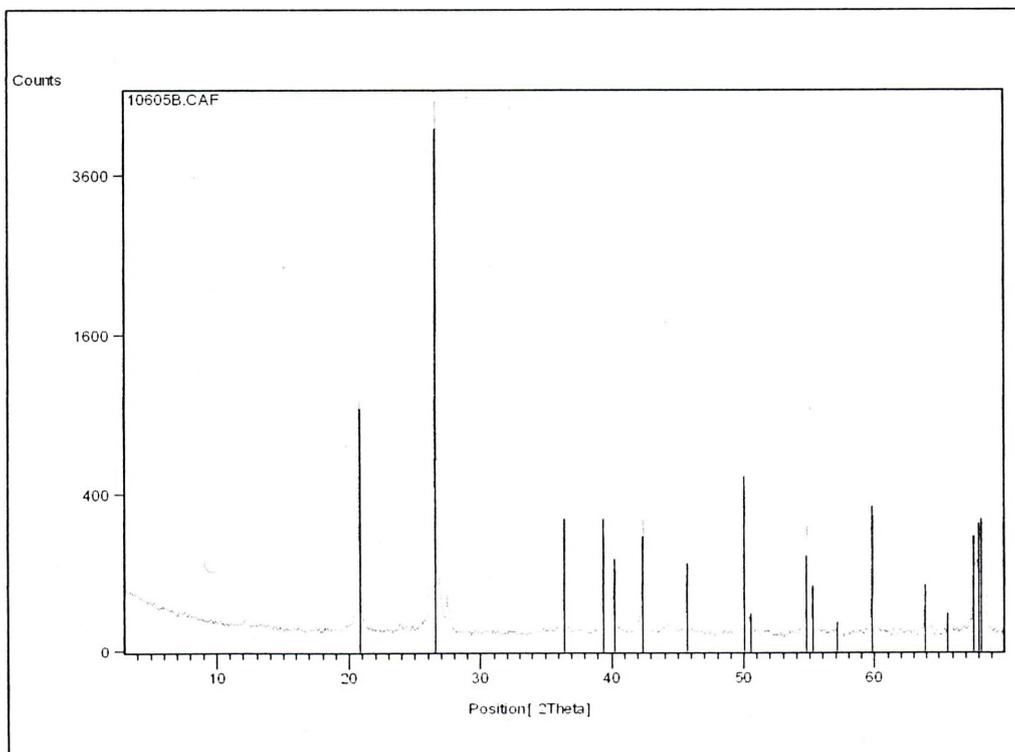
**Amostra 106B/05: Areia natural Tibagi**

### 3. METODOLOGIA:

- ❖ As amostras recebidas “in natura” são quarteadas, pulverizadas, homogeneizadas e secas a 100°C;
- ❖ A determinação mineralógica (medição dos parâmetros cristalinos) é realizada por meio da Difração de raios X pelo método do Pó, utilizando o difratômetro Philips modelo PW 1830. Na interpretação dos resultados aplica-se o software X Pert High Score, da Philips;
- ❖ A análise química é executada a partir de pérola fundida e analisada através do método de fluorescência de raios x em equipamento da Philips, modelo PW2400;
- ❖ A análise da perda ao fogo foi realizada em mufla, ficando a amostra exposta por três horas a 1000°C;
- ❖ Análise integrada dos resultados.

### 4. RESULTADOS:

a) Difratoograma de raios X:



b) Minerais:

Referência	Mineral	Fórmula
83-0539	Quartzo	Si O <sub>2</sub>

c) Teores Químicos:

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
106B/05	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Areia	97,84	0,87<LL	0,13	0,55	0,01<LL	0,01<LL	0,12<LL	0,01<LL	0,01	0,02
									<b>Perda ao Fogo</b>	<b>SOMA</b>
									(%)	(%)
									0,20	99,32

5. ANÁLISE INTEGRADA:

O material analisado é constituído por quartzo.

Curitiba, 08 de agosto de 2005.

Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto  
Coordenador do LAMIR

## LAUDO TÉCNICO

Laudo integrado de análise de material "in natura"  
Análise comparativa de resultados químicos e mineralógicos

### 1. INTERESSADO:

**Guilherme Buest**

### 2. IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:

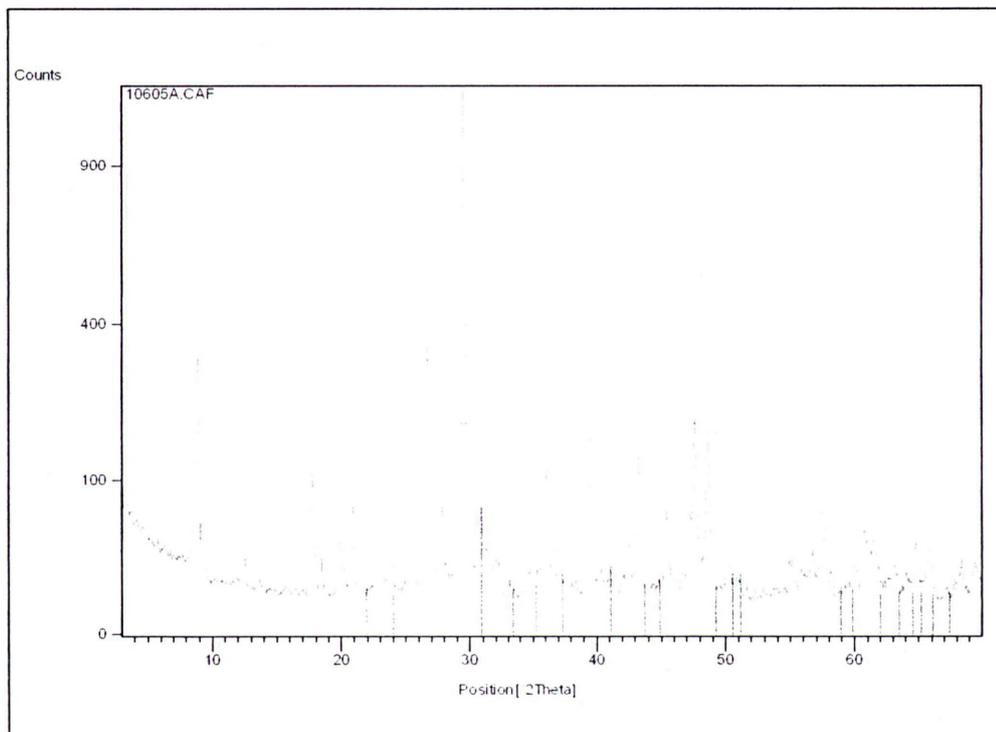
**Amostra 106A/05: Agregado miúdo Calcário**

### 3. METODOLOGIA:

- ❖ As amostras recebidas "in natura" são quarteadas, pulverizadas, homogeneizadas e secas a 100°C;
- ❖ A determinação mineralógica (medição dos parâmetros cristalinos) é realizada por meio da Difração de raios X pelo método do Pó, utilizando o difratômetro Philips modelo PW 1830. Na interpretação dos resultados aplica-se o software X Pert High Score, da Philips;
- ❖ A análise química é executada a partir de pérola fundida e analisada através do método de fluorescência de raios x em equipamento da Philips, modelo PW2400;
- ❖ A análise da perda ao fogo foi realizada em mufla, ficando a amostra exposta por três horas a 1000°C;
- ❖ Análise integrada dos resultados.

### 4. RESULTADOS:

#### a) Difratoograma de raios X:



b) Minerais:

Referência	Score	Mineral	Fórmula
86-2334	81	Calcita	Ca (CO <sub>3</sub> )
75-0443	57	Quartzo	Si O <sub>2</sub>
89-6216	28	Sericita	(K <sub>0.727</sub> Na <sub>0.170</sub> Ca <sub>0.011</sub> ) (Al <sub>0.933</sub> Fe <sub>0.016</sub> Mg <sub>0.011</sub> ) <sub>2</sub> (Si <sub>0.782</sub> Al <sub>0.221</sub> Ti <sub>0.005</sub> ) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
05-0622	16	Dolomita	Ca Mg (CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
80-0886	8	Caolinita	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (OH) <sub>4</sub>

c) Teores Químicos:

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
106A/05	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Calcário	23,13	10,13	0,23	1,84	33,28	1,17	0,68	0,09	0,04	0,35
									Perda ao Fogo	SOMA
									(%)	(%)
									28,47	99,41

5. ANÁLISE INTEGRADA:

O material analisado é constituído por calcita, quartzo, sericita, dolomita e caolinita.

Curitiba, 08 de agosto de 2005.

Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto  
Coordenador do LAMIR

## LAUDO TÉCNICO

Laudo integrado de análise de material "in natura"  
Análise comparativa de resultados químicos e mineralógicos

### 1. INTERESSADO:

**Guilherme Buest**

### 2. IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:

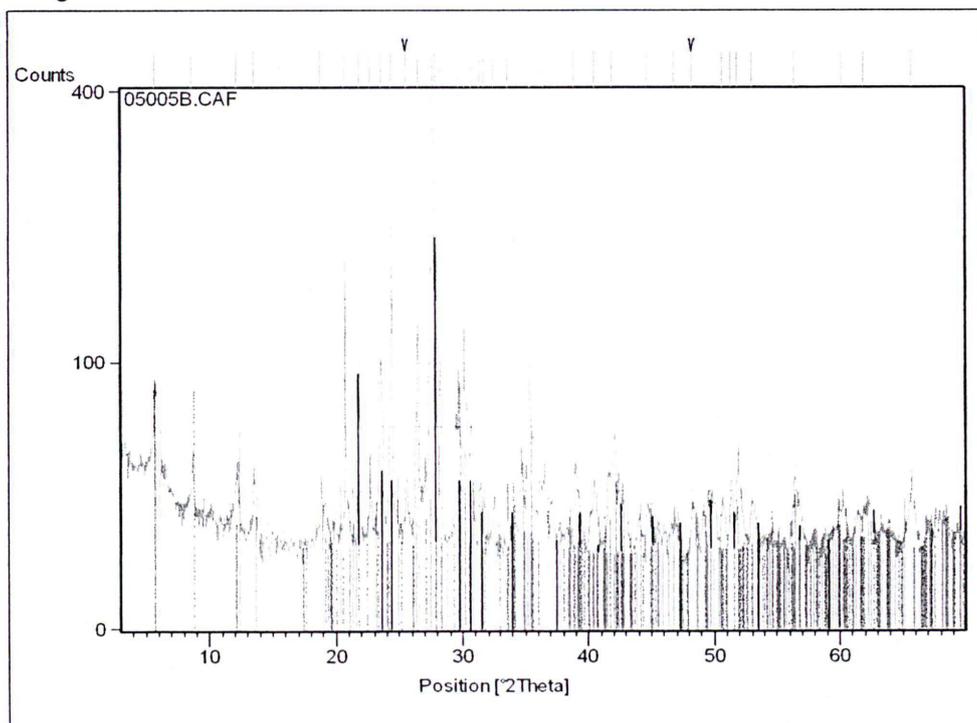
**Amostra 050/05: Agregado miúdo Basalto**

### 3. METODOLOGIA:

- ❖ As amostras recebidas "in natura" são quarteadas, pulverizadas, homogeneizadas e secas a 100°C;
- ❖ A determinação mineralógica (medição dos parâmetros cristalinos) é realizada por meio da Difração de raios X pelo método do Pó, utilizando o difratômetro Philips modelo PW 1830. Na interpretação dos resultados aplica-se o software X Pert High Score, da Philips;
- ❖ A análise química é executada a partir de pérola fundida e analisada através do método de fluorescência de raios x em equipamento da Philips, modelo PW2400;
- ❖ A análise da perda ao fogo foi realizada em mufla, ficando a amostra exposta por três horas a 1000°C;
- ❖ Análise integrada dos resultados.

### 4. RESULTADOS:

#### a) Difratoograma de raios X:



b) Minerais:

Referência	Mineral	Fórmula
03-0499	Labradorita	(Na <sub>0.4</sub> Ca <sub>0.6</sub> ) Al <sub>1.6</sub> Si <sub>2.4</sub> O <sub>8</sub>
24-0201	Augita	Ca (Fe,Mg) Si <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
83-1366	Biotita	K <sub>2</sub> (Fe <sub>2.786</sub> Mg <sub>2.321</sub> Ti <sub>0.550</sub> ) (Al <sub>2.413</sub> Si <sub>5.587</sub> O <sub>20</sub> ) (OH) <sub>4</sub>
76-1849	Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
81-0065	Quartzo	Si O <sub>2</sub>
89-6538	Caolinita	Al <sub>2</sub> (Si <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) (OH) <sub>4</sub>
05-0068	Saponita	Ca <sub>0.5</sub> (Mg,Fe) <sub>3</sub> (Si, Al) <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (O, H) <sub>2</sub> l <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O
89-2811	Ilmenita	Fe Ti O <sub>3</sub>

c) Teores Químicos:

Amostra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
050/05	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Basalto	49,93	12,69	1,91	15,05	8,80	5,13	0,89	3,80	0,17	0,28
	S	Zr	Nb	Y	Rb	Ba	As	Pb	Cu	Zn
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
	517	0,01	31	12	0,01	0,01	0,01	0,01	90	116
	<b>Perda ao Fogo</b>									<b>SOMA</b>
	(%)									(%)
	0,86									99,48

5. ANÁLISE INTEGRADA:

O material analisado é constituído por labradorita (plagioclásio), augita (piroxênio), biotita, magnetita, ilmenita, quartzo e argilominerais (saponita e caolinita).

Curitiba, 08 de agosto de 2005.

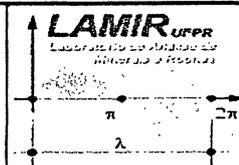
Prof. Dr. José Manoel dos Reis Neto  
Coordenador do LAMIR



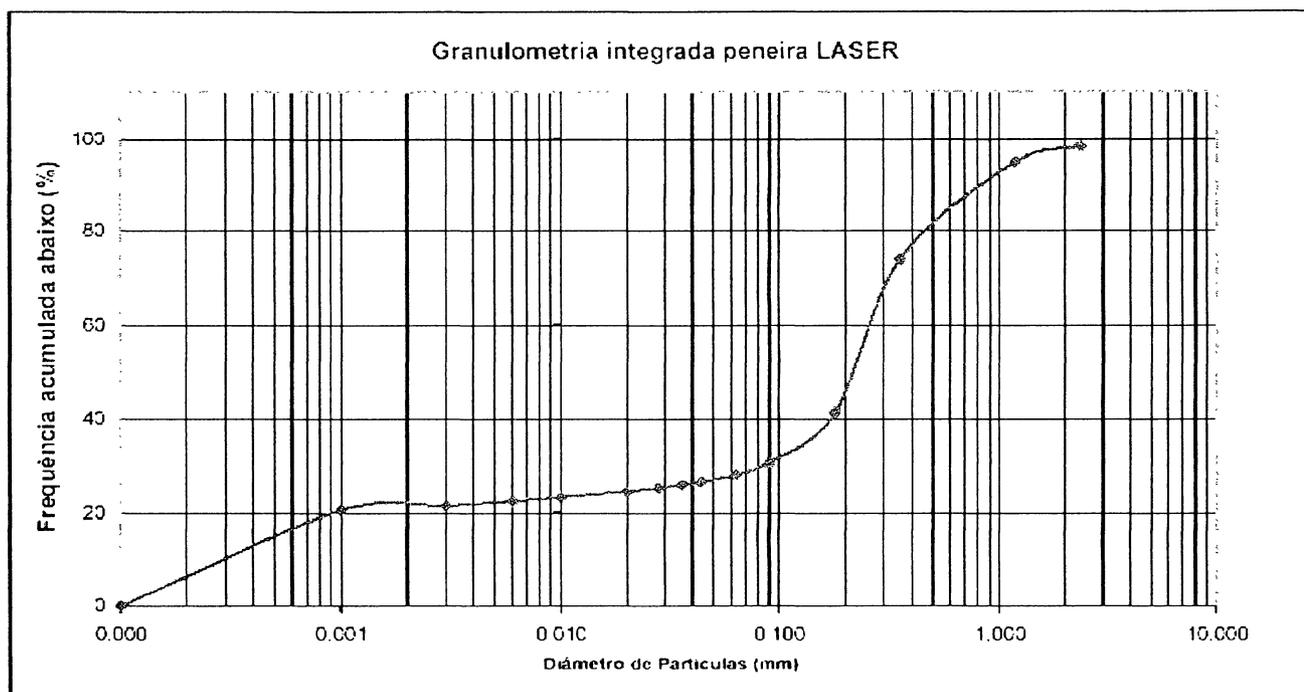
## RESULTADOS DE ANÁLISE

### GRANULOMÉTRICA INTEGRADA

### POR PENEIRAMENTO E DIFRAÇÃO DE LASER



Cliente	Guilherme Buest		Peneiramento	Integrado		
Material	Agregado Miúdo Quartzo		Equipamento	Granulômetro CILAS 1064		
N. Lamir	106/05a		Tempo de Ultrassom	60 segundos		
Nome da Amostra	Agregado Miúdo Natural		Técnica:	Ana Lúcia Rodolfo Moreto		
Massa Inicial (g)	200,00		Data:	8/8/05		
MALHAS (TYLER)	ABERTURA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	% EQUIVALENTE	% ACUMULADA ACIMA	% ACUMULADO ABAIXO	
8	2,360	4,61	1,78	1,78	98,22	
14	1,180	8,74	3,38	5,16	94,84	
42	0,355	53,94	20,86	26,02	73,98	
80	0,180	84,58	32,71	58,73	41,27	
170	0,090	27,05	10,46	69,19	30,81	
250	0,063	6,93	2,68	71,87	28,13	
325	0,044	4,02	1,55	73,43	26,57	
400	0,036	1,42	0,55	73,97	26,03	
500	0,028	1,79	0,69	74,67	25,33	
635	0,020	1,95	0,75	75,42	24,58	
	0,010	3,22	1,25	76,67	23,33	
	0,006	2,20	0,85	77,52	22,48	
	0,003	2,62	1,01	78,53	21,47	
	0,001	2,52	0,97	79,50	20,50	
menor 0,001	0,000	52,99	20,49	100,00	0,00	
MASSA FINAL (g):		258,58	finos abaixo #80-micrômetros			
			Diametro 10%	4,43	Diametro 90%	222,60
			Diametro 50%	87,79	Diametro médio	92,31
Prof. JM Reis Neto Coord. LAMIR						

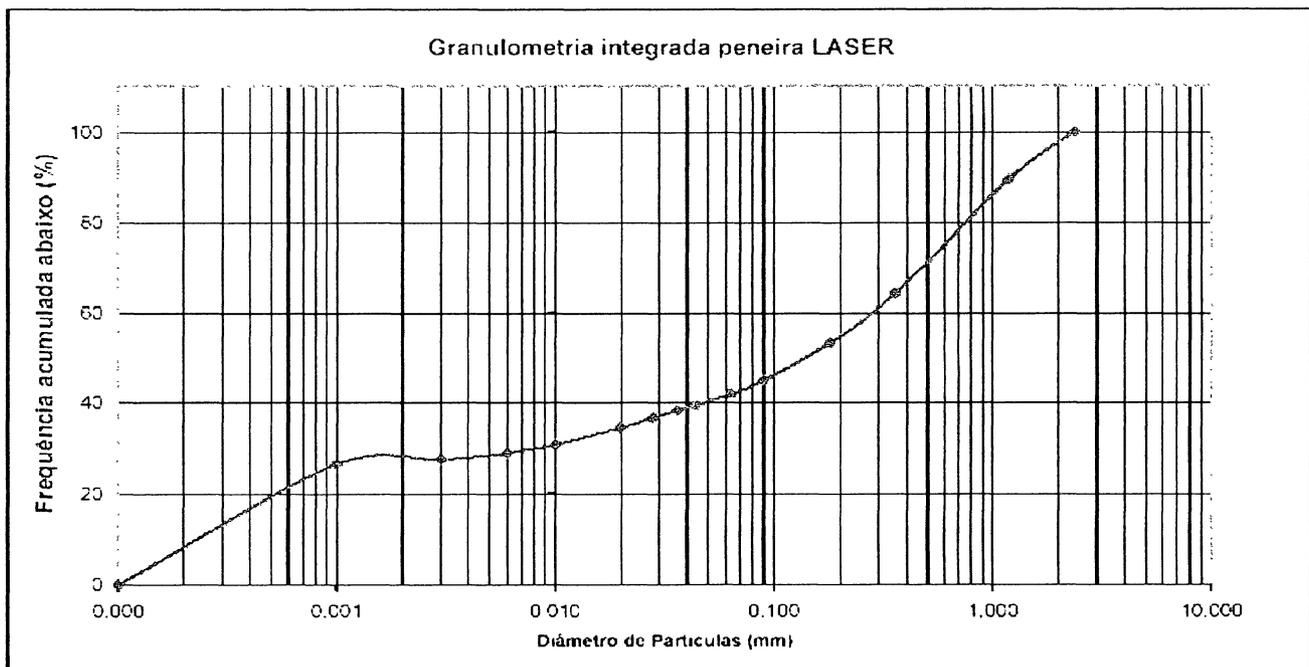




## RESULTADOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA INTEGRADA POR PENEIRAMENTO E DIFRAÇÃO DE LASER

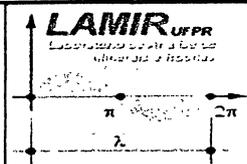


Cliente	Guilherme Buest		Peneiramento	Integrado	
Material	Agregado Miúdo Calcário		Equipamento	Granulômetro CILAS 1064	
N. Lamir	106/05a		Tempo de Ultrassom	60 segundos	
Nome da Amostra	Agregado Miúdo Calcário		Técnica:	Ana Lúcia Rodolfo Moreto	
Massa Inicial (g)	200,00		Data:	8/8/05	
MALHAS (TYLER)	ABERTURA (mm)	PORCENTAGEM RETIDA (%)	% EQUIVALENTE	% ACUMULADA ACIMA	% ACUMULADO ABAIXO
8	2,360	0,00	0,00	0,00	100,00
14	1,180	21,46	10,73	10,73	89,27
42	0,355	49,96	24,98	35,71	64,29
80	0,180	22,15	11,08	46,79	53,22
170	0,090	16,49	8,25	55,03	44,97
250	0,063	5,83	2,92	57,95	42,06
325	0,044	5,00	2,50	60,45	39,56
400	0,036	2,36	1,18	61,63	38,38
500	0,028	3,42	1,71	63,34	36,67
635	0,020	4,28	2,14	65,48	34,53
	0,010	7,27	3,64	69,11	30,89
	0,006	3,78	1,89	71,00	29,00
	0,003	2,96	1,48	72,48	27,52
	0,001	2,05	1,03	73,51	26,50
menor 0,001	0,000	52,99	26,50	100,00	0,00
MASSA FINAL (g): 200,00		finos abaixo #80-micrômetros			
		Diametro 10%	4,62	Diametro 90%	187,10
		Diametro 50%	41,94	Diametro médio	77,59
Prof. JM Reis Neto Coord. LAMIR					

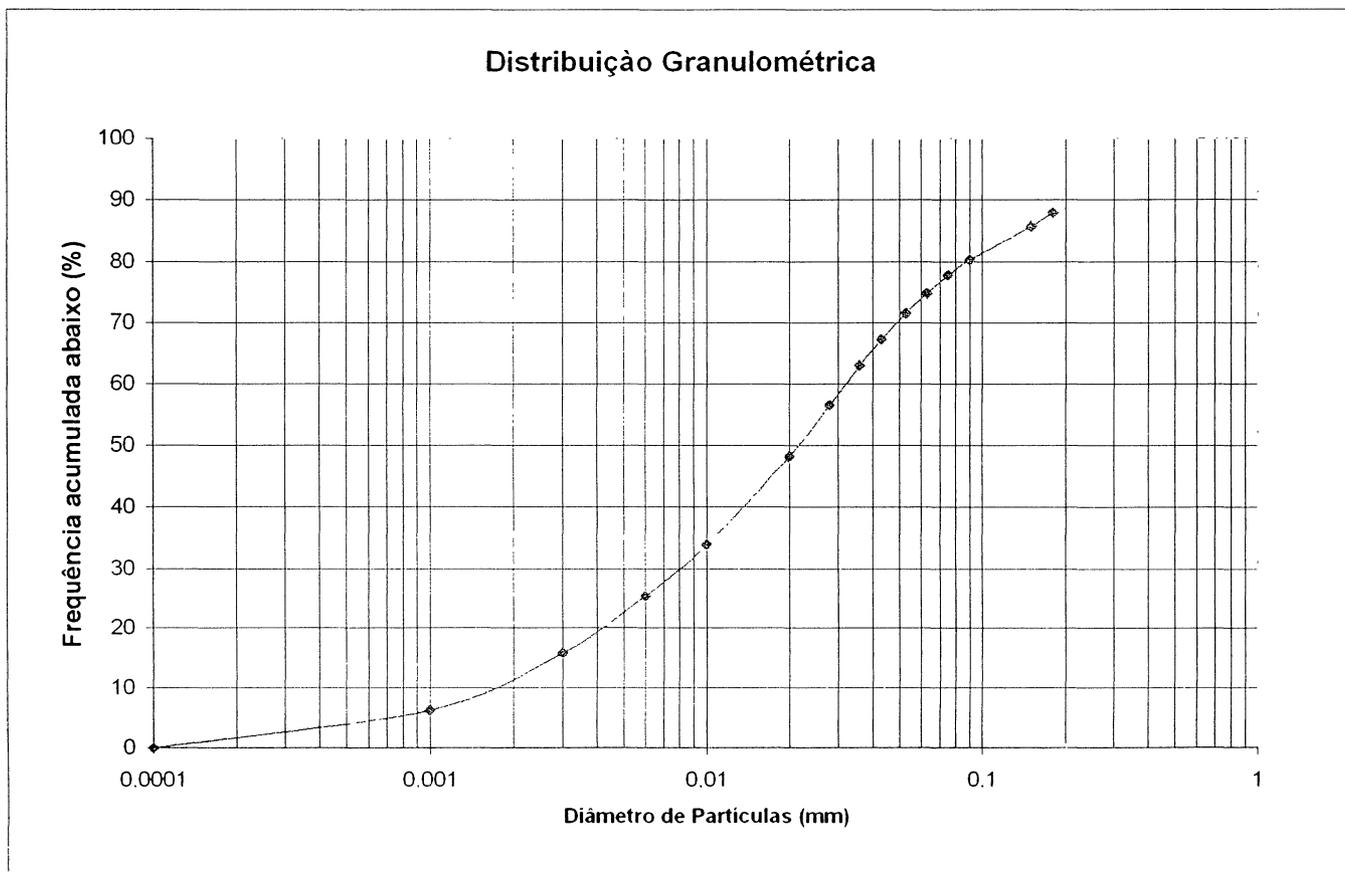




## RESULTADOS DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA INTEGRADA POR PENEIRAMENTO E DIFRAÇÃO DE LASER



<b>Cliente</b>	Guilherme Buest		<b>Peneiramento</b>	Integrado		
<b>Material</b>	Agregado Miúdo Basalto		<b>Equipamento</b>	Granulômetro CILAS 1064		
<b>N. Lamir</b>	051/05a		<b>Tempo de Ultrassom</b>	60 segundos		
<b>Nome da Amostra</b>	Agregado Miúdo Basalto		<b>Técnica:</b>	Ana Lúcia Rodolfo Moreto		
<b>Massa Inicial (g)</b>	100,00		<b>Data:</b>	30/3/05		
<b>MALHAS (TYLER)</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>	<b>PORCENTAGEM RETIDA (%)</b>	<b>% EQUIVALENTE</b>	<b>% ACUMULADA ACIMA</b>	<b>% ACUMULADO ABAIXO</b>	
35	0,425	1,77	1,77	1,77	98,23	
42	0,355	1,92	1,92	3,69	96,31	
48	0,280	2,70	2,70	6,39	93,61	
80	0,180	5,74	5,74	12,13	87,87	
100	0,150	2,22	2,22	14,35	85,65	
170	0,090	5,40	5,40	19,75	80,25	
200	0,075	2,51	2,51	22,26	77,74	
250	0,063	2,92	2,92	25,18	74,82	
270	0,053	3,26	3,26	28,44	71,56	
325	0,043	4,35	4,35	32,79	67,21	
400	0,036	4,18	4,18	36,97	63,03	
500	0,028	6,43	6,43	43,40	56,60	
635	0,020	8,36	8,36	51,76	48,24	
	0,010	14,34	14,34	66,10	33,90	
	0,006	8,51	8,51	74,61	25,39	
	0,003	9,56	9,56	84,17	15,83	
	0,001	9,55	9,55	93,72	6,28	
menor 0,001	0,000	6,28		100,00	0,00	
<b>MASSA FINAL (g):</b>		<b>100,00</b>	finos abaixo #80-micrômetros			
			Diametro 10%	1,78	Diametro 90%	211,69
			Diametro 50%	21,54	Diametro médio	64,24
<b>Prof. JM Reis Neto</b> Coord. LAMIR						





## RELATÓRIO DE ENSAIOS

**Interessado:** GUILHERME TEODORO BUEST  
LACTEC/LAME – CURITIBA-PR

**Ensaio realizado:** Cimento, material pozolânico, basalto, calcário e areia natural – Análise Física - .

*As considerações e resultados contidos neste relatório têm validade restrita à amostra analisada e às condições de ensaio.*

*Laudo enviado por e-mail é para conhecimento, a validade depende da expedição do relatório oficialmente assinado pelo LACTEC.*

### 1. AMOSTRA

As amostras foram entregues no LAME pelo solicitante, em 06.07.2005, onde foram registradas conforme segue:

Material	Registro LAME
Cimento CII Z-32	1.0393.05
Material pozolânico	1.0394.05
Basalto	1.0395.05
Areia	1.0396.05
Calcário	1.0397.05

### 2. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

NBR 7215/96 - Cimento Portland - Determinação da resistência à compressão - Método de ensaio

NBR 11579/91 - Cimento Portland - Determinação da finura por meio da peneira 75mm (nº 200) -

Método de ensaio

NBR NM 43/2002 - Cimento Portland - Determinação da pasta de consistência normal - Método de ensaio

NBR NM 65/2002 - Cimento Portland - Determinação do tempo de pega - Método de ensaio

NBR 11582/91 - Cimento Portland - Determinação da expansibilidade de Le Chatelier - Método de ensaio

NBR 12826/93 - Cimento Portland e outros materiais em pó - Determinação do índice de finura por meio de peneirador aerodinâmico #325 - Método de ensaio

NBR NM 23/01 - Cimento portland e outros materiais em pó - Determinação de massa específica

NBR NM 76/98 - Cimento Portland - Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (Método de Blaine)

NBR 5743/89 - Cimento Portland - Determinação de perda ao fogo

NBR 5752/92 – Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica com cimento Portland – Índice de atividade pozolânica com cimento.



NBR 5751/92 – Materiais pozolânicos – Determinação de atividade pozolânica – Índice de atividade pozolânica com cal.

PEA – 167 – Reatividade potencial álcali-agregado – Método das barras de argamassa.

**3.RESULTADOS OBTIDOS**
**3.1 Cimento CII Z -32 – 1.0393.05**

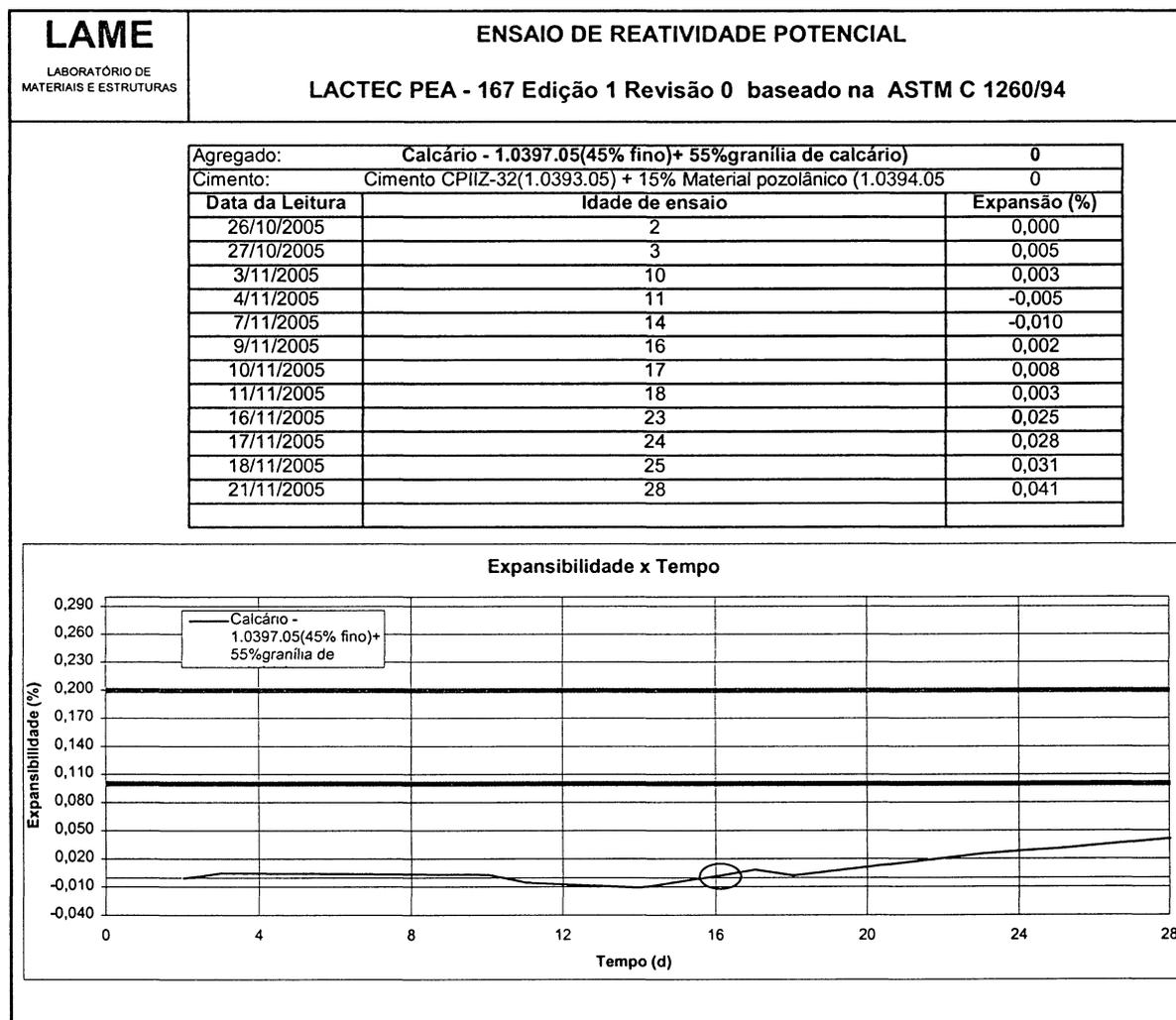
REGISTRO:		1.0393.05 CII Z-32	
MARCA:		ITAMBÉ	
ENSAIOS FÍSICOS		LIMITES NBR 11578/91	
RESÍDUO # 200 =	1,0 %	Máx. = 12,0 %	
RESÍDUO # 325 =	5,9 %		
BLAINE =	4840 cm <sup>2</sup> /g	Mín. = 2600 cm <sup>2</sup> /g	
EXP. À QUENTE =	0 mm	Máx. = 5 mm	
INÍCIO DE PEGA =	2:30 h	Mín.= 1 h	
FIM DE PEGA =	4:00 h	Máx.= 10 h	
MASSA ESPECÍFICA =	2,91 g/cm <sup>3</sup>		
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
3 DIAS =	16,1 MPa	Mín. = 10,0 MPa	
7 DIAS =	22,0 MPa	Mín. = 20,0 MPa	
28 DIAS =	33,4 MPa	Mín. = 32,0 MPa	
90 DIAS =	MPa		
OBSERVAÇÕES			
* LIMITES ESTIMADOS			

**3.2 – Material Pozolânico**

REGISTRO:		1.0394.05
MARCA:		
ENSAIOS FÍSICOS		LIMITES NBR 12653/92
RESÍDUO # 200 =	– %	Máx. = 34 %
RESÍDUO # 325 =	– %	
BLAINE =	– cm <sup>2</sup> /g	
MASSA ESPECÍFICA =	2,67 g/cm <sup>3</sup>	
ÍNDICE DE ATIVIDADE POZOLÂNICA		
CIMENTO		
28 DIAS =	126,6 %	Mín. = 75 %
ÁGUA REQUERIDA	105,5 %	Máx. = 110 %
CAL		
CP 1 - 7 DIAS =	** MPa	
CP 2 - 7 DIAS =	** MPa	
CP 3 - 7 DIAS =	** MPa	
MÉDIA - 7 DIAS =	** MPa	Mín. = 6,0 MPa
DESVIO RELATIVO=	** %	Máx. = 6,0 %
OBSERVAÇÕES		
* CP Eliminado		
** Cp's romperam durante o processo de desmoldagem.		

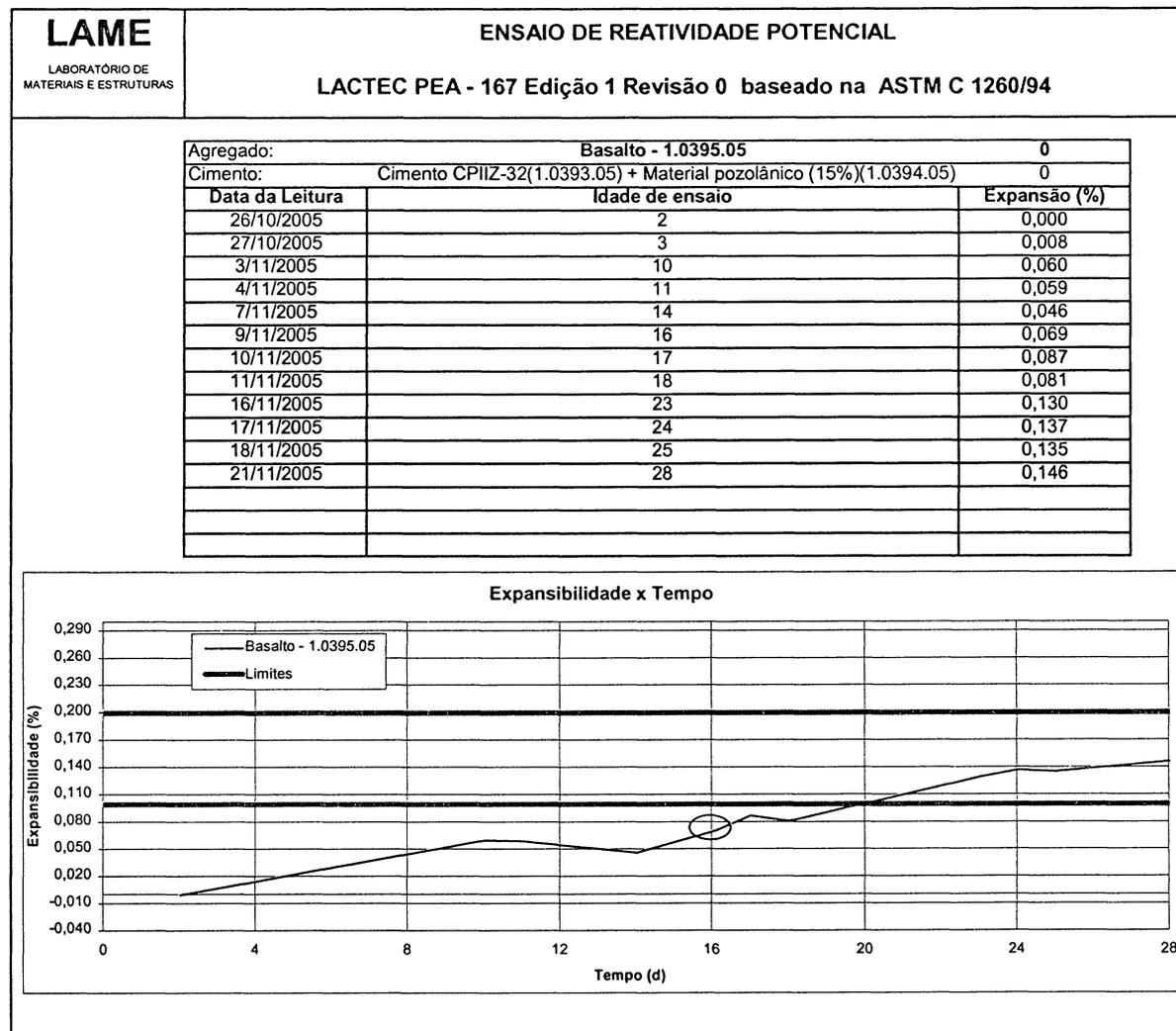
3.2 - A seguir, estão apresentados os resultados dos ensaios de REATIVIDADE POTENCIAL ACELERADA com as amostras analisadas.

Resultados Cimento CII Z-32 +material pozolânico + calcário (45%) e granília (55%).

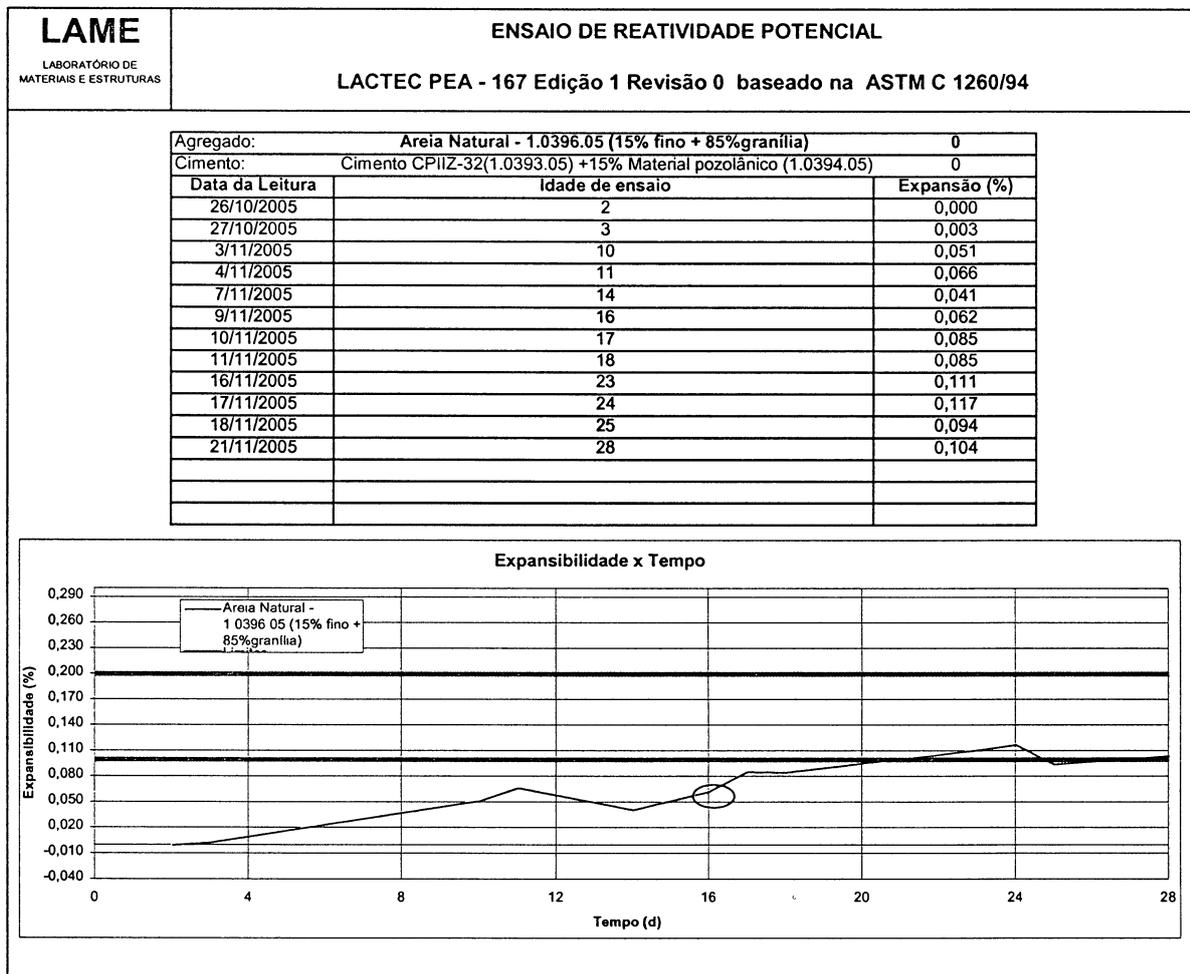




Resultados Cimento CII Z-32 + material pozolânico + basalto.



Resultados Cimento CII Z-32 + material pozolânico + areia natural (15% fino + 85% granília).



### 3.2.1 Interpretação dos resultados

Segundo ASTM C 1260/94:

- Expansões menores que 0,1 % aos 16 dias de idade indicam um comportamento inócuo na maioria dos casos.
- Expansões superiores a 0,2 % aos 16 dias de idade indicam expansões potencialmente deletérias.
- Expansões situadas entre 0,1 e 0,2 % aos 16 dias de idade sugerem a realização de mais ensaios para a análise do comportamento do material.



Eustáquio da Conceição Ferreira  
Técnico de laboratório  
Signatário autorizado  
Unidade de Tecnologia de Ensaios  
e Análises - UTEA

Douglas Emerson Moser  
Gerente  
Unidade de Tecnologia de Serviços em  
Estruturas Cíveis - UTET



**Anexo A**

**Laudo UTQA 163\_01/2005**

**Reatividade Potencial de Agregado**



Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento

## CERTIFICADO DE ANÁLISE - UTQA 16327\_01/2005

Departamento de Química Aplicada  
UTQA – Unidade de Tecnologia em Química Aplicada

Protocolo: 2075/2006

Data Emissão: 10/03/2006

SOLICITANTE: LACTEC / LAME / DPEC  
ENDEREÇO: BR 116 km 98 S/N - CENTRO POLITÉCNICO DA UFPR - JARDIM DAS AMÉRICAS  
AMOSTRA: MATERIAL POZOLÂNICO  
DATA ENTRADA: 19/01/2006 DATA COLETA (se aplicável): X-X-X-X  
AMOSTRADOR:  SOLICITANTE  LACTEC (vide Metodologia)  OUTRO:

Analucia Litzinger Gomes  
Química  
CRQ IX - 09100574

Cibele Prates  
Química Industrial  
CRQ IX - 09200828

Claudio Adriano Deger  
Químico  
CRQ IX - 09201008

Douglas Antonio Batista  
Químico  
CRQ IX - 09200961

Luciana B. G. da Silva  
Química  
CRQ IX - 09100743

Maurício Mattoso  
Químico  
CRQ IX - 09200964

Pércia A. Patriarca  
Química  
CRQ IX - 09901095

Rosane Carvalho Dias  
Química  
CRQ IX - 9400686

### IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA:

AMOSTRA REGISTRO LAME 1 0394 05.

### RESULTADO

Ensaio(s)	Resultado(s)
Equivalente alcalino.....	< 0,01 %
Reatividade potencial de agregado.....	Agregado considerado inocuo

### OBSERVAÇÃO(ÕES):

### METODOLOGIA(S):

NBR NM 25/2003 - Materiais pozolânicos - Determinação do teor de álcalis disponível.  
NBR 9774/87 - Agregado - Verificação da Reatividade potencial pelo método químico.

"Os resultados deste Documento são válidos apenas para as amostras ensaiadas no LACTEC". "Reproduções deste Documento só têm validade se forem integrais". "Este Documento é emitido em uma via original, respondendo o LACTEC apenas pela veracidade desta via".

Centro Politécnico da UFPR – Caixa Postal 19067 – CEP 81531 – 990 – Curitiba – PR  
Fone: +55 41 3361 6187 Fax: +55 41 3366 2020 E-mail: julianah@lactec.org.br

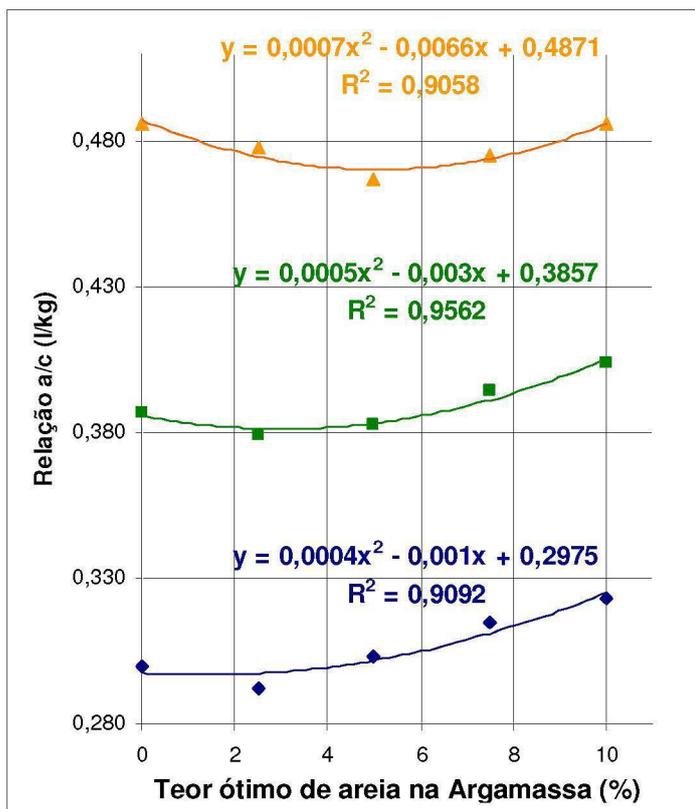
## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A - ESTUDO COM ARGAMASSAS (cimento + areia + granilha)

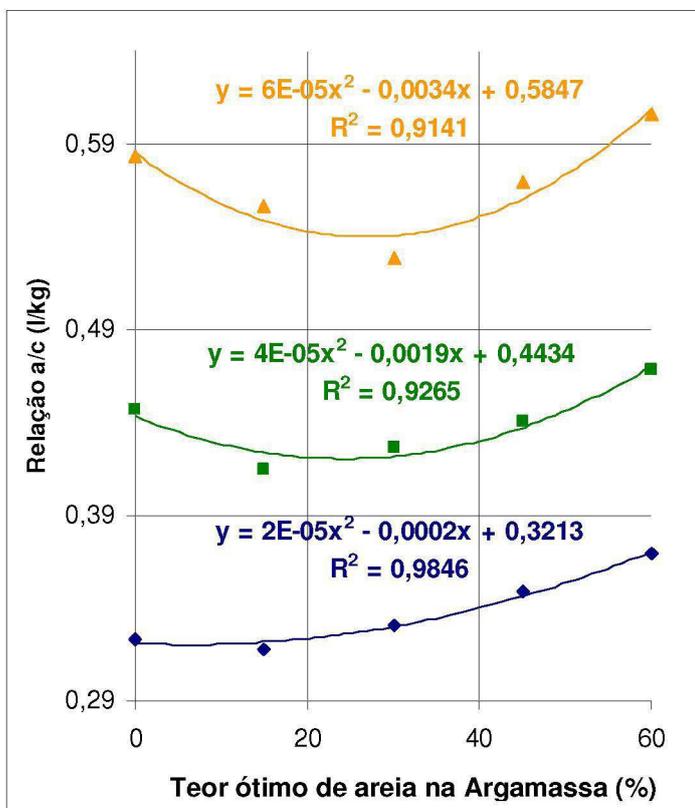
## DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA

MATERIAL	TRAÇOS EM MASSA	CIMENTO (g)	AGREGADO MIUDO (g)			ÁGUA (ml)	H (%)	IC (mm)	a/c
			PASSANTE		RETIDO				
			TEOR (%)	QTDE.					
AMN	1:1,5:0,25	650,0	0,0	0,0	975,0	205,0	13,9	235,0	0,32
			2,5	24,4	951,0	200,0	13,5	227,5	0,31
			5,0	48,8	926,3	203,0	13,7	232,0	0,31
			7,5	73,1	901,9	208,0	14	231,0	0,32
			10,0	97,5	877,5	212,0	14,2	234,5	0,33
	1:2,5:0,35	470,0	0,0	0,0	1175,5	185,0	12,6	231,5	0,39
			2,5	29,4	1145,9	180,0	12,2	231,0	0,38
			5,0	58,8	1116,3	178,0	12	232,5	0,38
			7,5	88,1	1086,9	181,0	12,2	229,0	0,39
			10,0	117,5	1057,5	183,0	12,3	230,0	0,39
	1:3,5:0,45	360,0	0,0	0,0	1260,5	175,0	12,2	230,5	0,49
			2,5	31,5	1228,1	171,0	11,9	225,0	0,48
			5,0	63,0	1197,0	167,0	11,6	230,0	0,46
			7,5	94,5	1165,5	163,0	11,3	226,0	0,45
			10,0	126,0	1134,0	167,0	11,5	233,0	0,46
AMB CALCÁRIO	1:1,5:0,25	650,0	0,0	0,0	975,0	195,0	16,1	226,0	0,30
			2,5	24,4	951,0	190,0	15,6	225,0	0,29
			5,0	48,8	926,3	197,0	16,0	227,5	0,30
			7,5	73,1	901,9	205,0	16,5	234,0	0,32
			10,0	97,5	877,5	210,0	16,8	235,0	0,32
	1:2,5:0,35	470,0	0,0	0,0	1175,5	182,0	15,9	230,5	0,39
			2,5	29,4	1145,9	178,0	15,4	225,0	0,38
			5,0	58,8	1116,3	180,0	15,4	226,5	0,38
			7,5	88,1	1086,9	185,0	15,6	232,5	0,39
			10,0	117,5	1057,5	190,0	15,9	234,5	0,40
	1:3,5:0,45	360,0	0,0	0,0	1260,5	175,0	16,1	226,5	0,49
			2,5	31,5	1228,1	172,0	15,7	228,5	0,48
			5,0	63,0	1197,0	168,0	15,1	225,2	0,47
			7,5	94,5	1165,5	171,0	15,2	227,5	0,48
			10,0	126,0	1134,0	175,0	15,4	225,5	0,49
AMB BASALTO	1:1,5:0,25	650	0	0	975,0	210,0	12,9	231,0	0,32
			15	0,0	975	207,0	12,7	226,5	0,32
			30	292,5	682,5	215,0	13,2	227,5	0,33
			45	0,0	975,0	227,0	14,0	231,0	0,35
			60	0,0	975,0	240,0	14,8	225,0	0,37
	1:2,5:0,35	470	0	0	1175,0	210,0	12,8	232,0	0,45
			15	176,3	998,8	195,0	11,9	225,0	0,41
			30	352,5	822,5	200,0	12,2	225,0	0,43
			45	528,8	646,3	207,0	12,6	231,0	0,44
			60	705,0	470,0	220,0	13,4	227,0	0,47
	1:3,5:0,45	360	0	0	1260,0	210,0	16,7	225,5	0,58
			15	189,0	1071,0	200,0	12,3	228,0	0,56
			30	378,0	882,0	190,0	11,7	227,5	0,53
			45	567,0	693,0	205,0	12,7	228,0	0,57
			60	756,0	504,0	218,0	13,5	235,0	0,61

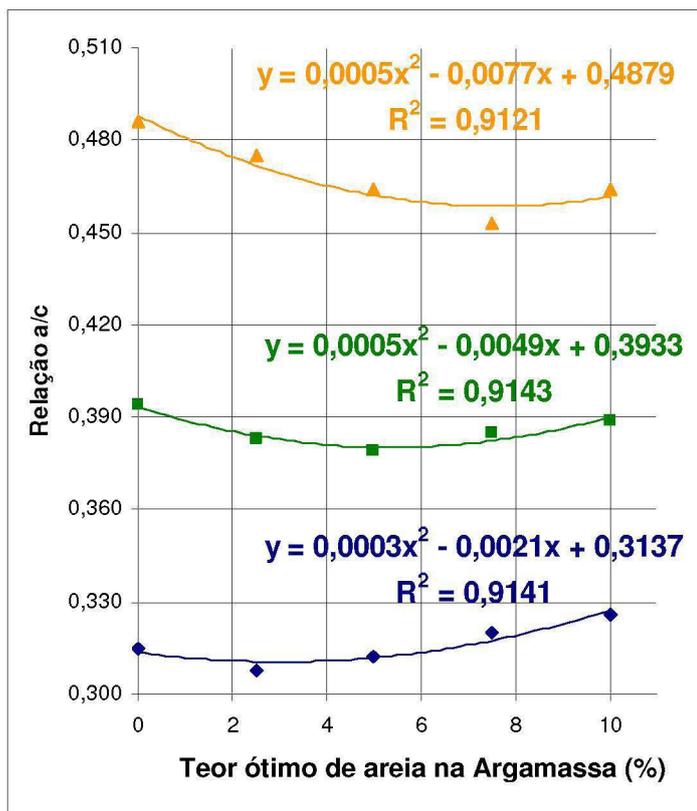
## TEOR ÓTIMO DE AREIA NAS ARGAMASSAS (cimento + areia + granilha)



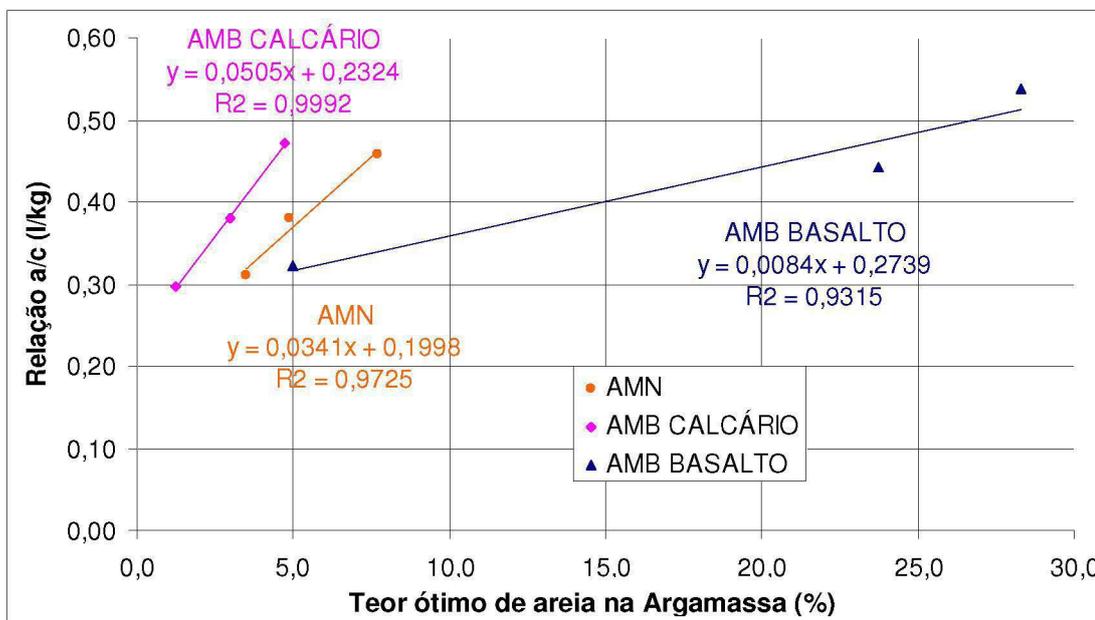
AMB Calcário



AMB Basalto



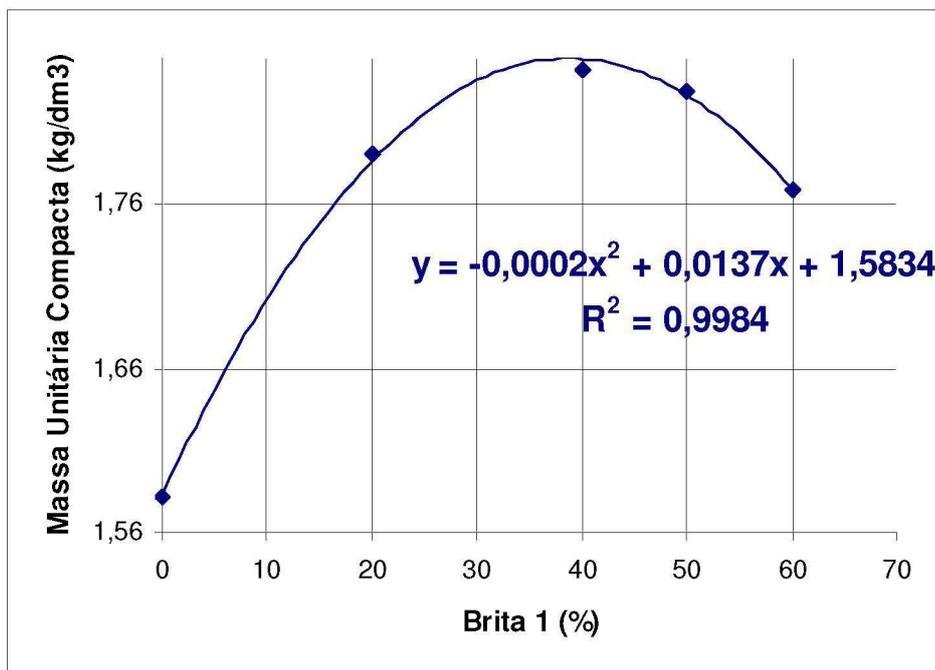
AMN



Relação água/cimento x Teor Ótimo de Areia na Argamassa

APÊNDICE B – ESTUDO COM CONCRETOS

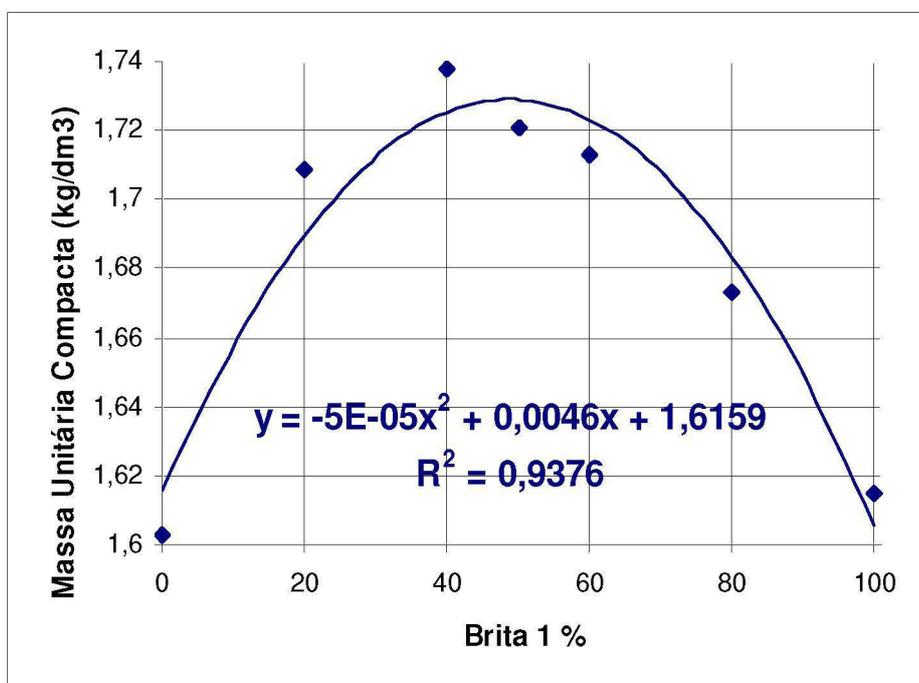
MASSA UNITÁRIA COMPACTA MÁXIMA NBR 7810/82



AMB Calcário – mistura granilha x brita 1

Brita 1 = 65,8%

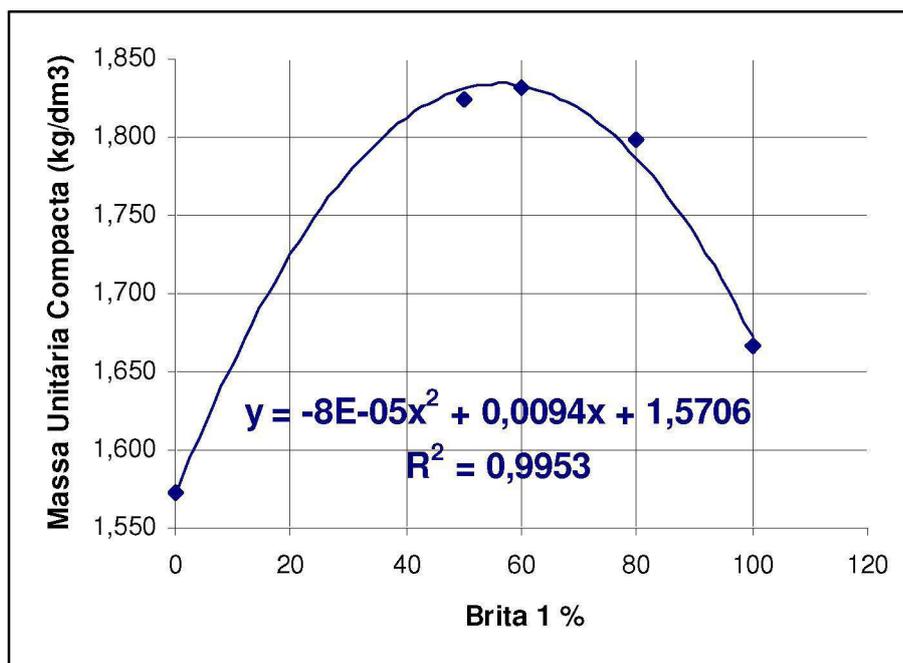
Granilha = 34,2%



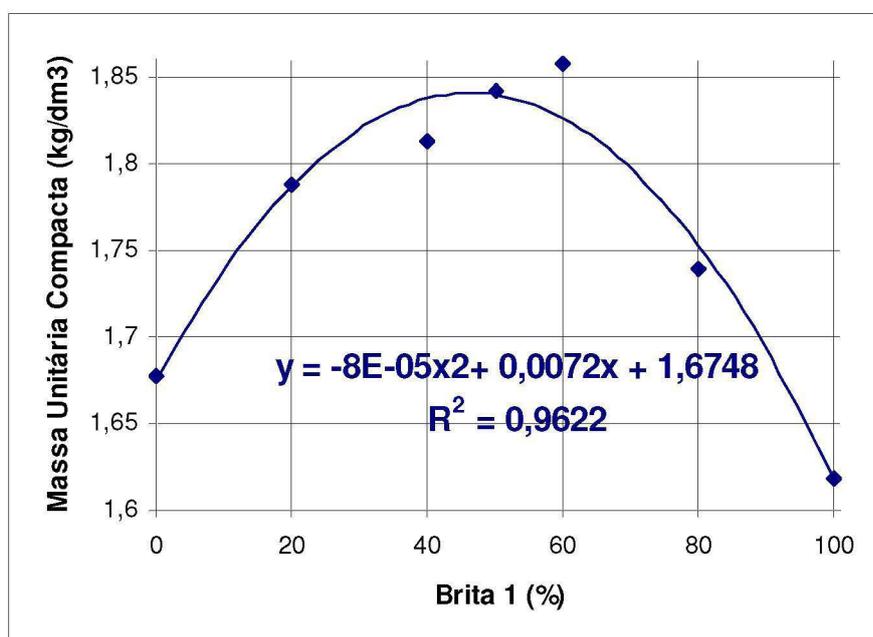
AMN B1 Calcário – mistura granilha x brita 1

Brita 1 = 54,0%

Granilha = 46,0%



AMB Basalto – mistura granilha x brita 1  
 Brita 1 = 41,0%  
 Granilha = 59,0%



AMN B1 Basalto – mistura granilha x brita 1  
 Brita 1 = 55,0%  
 Granilha = 45,0%

## DETERMINAÇÃO DOS TRAÇOS INICIAIS

Material	Traços	Cimento	Areia (A)	Granilha (G)	Brita 1 (B1)	m	a/c	T=F/G	k=B1/G
AMB CALCÁRIO	Pobre	1	0,18	2,21	4,25	6,647	0,65	0,083	1,920
	Médio	1	0,12	1,83	3,52	5,471	0,55	0,063	1,920
	Rico	1	0,06	1,45	2,78	4,294	0,45	0,043	1,920
AMN - B1 CALCÁRIO	Pobre	1	0,38	2,88	3,38	6,647	0,65	0,132	1,174
	Médio	1	0,25	2,40	2,82	5,471	0,55	0,103	1,174
	Rico	1	0,14	1,91	2,24	4,294	0,45	0,073	1,174
AMB BASALTO	Pobre	1	1,03	2,3	3,31	6,647	0,65	0,448	1,439
	Médio	1	0,65	1,98	2,84	5,471	0,55	0,329	1,439
	Rico	1	0,34	1,62	2,33	4,294	0,45	0,210	1,439
AMN - B1 BASALTO	Pobre	1	0,37	2,82	3,45	6,647	0,65	0,132	1,222
	Médio	1	0,24	2,35	2,88	5,471	0,55	0,103	1,222
	Rico	1	0,14	1,87	2,29	4,294	0,45	0,073	1,222

PLANILHAS DE AJUSTE

## PLANILHAS DE AJUSTE

## TRAÇO POBRE - AMB CALCÁRIO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
		cimento	agregado			água						
			areia		brita							
Nº	Espécie		Areia	Gran.								
0	Traço Piloto	1	0,181	2,215	4,251	0,650	9	0,0	2,8	6,647	44,40	atrito
	Quantidades	7	1,27	15,50	29,76	4,55						
1	Traço	1	0,604	2,069	3,973	0,650	9	50,0	10,0	6,647	48,04	cisalhado com atrito excessivo
	Quantidades	8	4,83	16,56	31,78	5,20						
	Acréscimos	1	3,57	1,05	2,02	0,65						
2	Traço	1	0,855	1,953	3,749	0,650	9	65,0	15,0	6,558	50,39	Coeso com atrito
	Quantidades	9	7,70	17,58	33,74	5,85						
	Acréscimos	1	2,86	1,02	1,96	0,65						
3	Traço	1	0,953	1,920	3,685	0,650	9	80,0	17,0	6,558	51,24	coeso com pequeno atrito
	Quantidades	10	9,53	19,20	36,85	6,50						
	Acréscimos	1	1,83	1,62	3,11	0,65						
4	Traço	1	1,00	1,903	3,654	0,650	9	65,0	18,0	6,558	51,65	coeso
	Quantidades	11	11,00	20,94	40,19	7,15						
	Acréscimos	1	1,48	1,74	3,34	0,65						
5	Traço	1	0,993	1,791	3,438	0,650	9	70,0	19,0	6,222	52,40	coeso ajustado
	Quantidades	12	11,92	21,49	41,25	7,80						
	Acréscimos	1	0,92	0,55	1,06	0,65						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>303,8</b>	<b>301,9</b>	<b>544,1</b>	<b>1044,5</b>	<b>0,0</b>	<b>478,9</b>	<b>297,8</b>	<b>15,8</b>	<b>27,4</b>

## TRAÇO MÉDIO AMB CALCÁRIO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	agregado			água						
			miúdo									
			Areia	Gran.	brita							
0	Traço Piloto	1	0,118	1,833	3,519	0,550	8,5	0,0	2,2	5,471	45,61	atrito
	Quantidades	7	0,82	12,83	24,64	3,85						
1	Traço	1	0,497	1,703	3,270	0,550	8,5	55,0	10,0	5,471	49,47	atrito excessivo
	Quantidades	8	4,00	13,60	26,20	4,40						
	Acréscimos	1	3,15	0,79	1,52	0,55						
2	Traço	1	0,612	1,613	3,096	0,550	9	65,0	13,0	5,322	51,02	coeso com pequeno atrito
	Quantidades	9	5,51	14,52	27,87	4,95						
	Acréscimos	1	1,53	0,89	1,71	0,55						
3	Traço	1	0,604	1,591	3,054	0,550	9	70,0	13,0	5,250	51,13	coeso ajustado
	Quantidades	10	6,0	15,9	30,5	5,50						
	Acréscimos	1	0,53	1,40	2,68	0,55						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>378,9</b>	<b>228,8</b>	<b>602,9</b>	<b>1157,3</b>	<b>0,0</b>	<b>530,8</b>	<b>292,8</b>	<b>14,7</b>	<b>28,4</b>

## TRAÇO RICO AMB CALCÁRIO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	agregado			água						
			miúdo									
			Areia	Gran.	brita							
0	Traço Piloto	1	0,06	1,45	2,78	0,450	8,5	0,0	1,5	4,294	47,46	segregado atrito excessivo
	Quantidades	7	0,44	10,14	19,47	3,15						
1	Traço	1	0,24	1,39	2,66	3,60	8,5	80,0	6,0	4,294	49,69	atrito excessivo
	Quantidades	8	1,90	11,1	21,3	3,6						
	Acréscimos	1	1,50	0,96	1,83	0,45						
2	Traço	1	0,28	1,37	2,64	0,45	8,5	75,0	7,0	4,294	50,16	Atrito pouco coeso
	Quantidades	9	2,53	12,37	23,75	4,05						
	Acréscimos	1	0,58	1,27	2,44	0,45						
3	Traço	1	0,29	1,39	2,68	0,45	8,4	80,0	7,0	4,357	50,02	coeso com atrito
	Quantidades	10	2,90	13,90	26,80	4,50						
	Acréscimos	1	0,32	1,58	3,03	0,45						
4	Traço	1	0,32	1,38	2,65	0,45	8,4	70,0	8,0	4,357	50,49	coeso com atrito
	Quantidades	11	3,55	15,20	29,18	4,95						
	Acréscimos	1	0,70	1,30	2,40	0,45						
5	Traço	1	0,40	1,40	2,60	0,45	8,4	55,0	9,0	4,357	50,94	coeso pouco atrito
	Quantidades	12	4,30	16,40	31,50	5,40						
	Acréscimos	1	0,77	1,23	2,36	0,45						
6	Traço	1	0,38	1,32	2,53	0,45	9	70,0	10,0	4,233	51,65	coeso ajustado
	Quantidades	13	5,00	17,13	32,89	5,85						
	Acréscimos	1	0,68	0,70	1,35	0,45						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>424,6</b>	<b>163,4</b>	<b>559,5</b>	<b>1074,1</b>	<b>0,0</b>	<b>519,4</b>	<b>254,5</b>	<b>14,2</b>	<b>30,6</b>

## TRAÇO POBRE AMN B1 CALCÁRIO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	α(%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	agregado			água						
			miúdo		brita							
			Areia	Gran.								
0	Traço Piloto	1	0,38	2,88	3,88	0,65	8,5	0,0	6,1	6,647	55,76	atrito excessivo
	Quantidades	7	2,68	20,17	23,68	4,55						
1	Traço	1	1,85	2,84	3,33	0,65	7,2	50,0	30,0	8,028	63,06	pouca coesão
	Quantidades	8	14,82	22,72	26,68	5,20						
	Acréscimos	1	12,15	2,55	3,00	0,65						
2	Traço	1	2,08	2,74	3,21	0,65	7,2	70,0	35,0	8,028	64,43	coesão ajustado
	Quantidades	9	18,73	24,62	28,90	5,85						
	Acréscimos	1	6,59	22,07	25,90	5,20						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>248,9</b>	<b>518,1</b>	<b>680,9</b>	<b>799,3</b>	<b>0,0</b>	<b>283,96</b>	<b>41,2</b>	<b>2,1</b>	<b>12,91</b>

## TRAÇO MÉDIO AMN B1 CALCÁRIO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	α(%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	agregado			água						
			miúdo		brita							
			Areia	Gran.								
0	Traço Piloto	1	0,25	2,40	2,82	0,55	8,5	0,0	4,7	5,471	56,40	atrito excessivo
	Quantidades	7	1,72	16,82	19,75	3,85						
1	Traço	1	1,27	2,33	2,74	0,55	7,5	55,0	25,0	6,333	62,69	pouca coesão
	Quantidades	8	10,13	18,64	21,89	4,40						
	Acréscimos	1	8,41	1,82	2,14	0,55						
2	Traço	1	1,46	2,24	2,63	0,55	7,5	70,0	30,0	6,333	64,13	coesão ajustado
	Quantidades	9	13,20	20,20	23,70	5,00						
	Acréscimos	1	4,74	18,35	21,54	4,40						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>305,2</b>	<b>446,0</b>	<b>683,9</b>	<b>802,8</b>	<b>0,0</b>	<b>335,32</b>	<b>38,9</b>	<b>2,0</b>	<b>15,37</b>

## TRAÇO RICO AMN BRITA 1 CALCÁRIO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado		brita	água						
			miúdo									
			Areia	Gran.								
0	Traço Piloto	1	0,14	1,91	2,24	0,45	8,5	0,0	3,4	4,294	57,64	atrito excessivo
	Quantidades	5	0,71	9,55	11,21	2,25						
1	Traço	1	0,86	1,58	1,85	0,45	8,5	145,0	25,0	4,294	65,22	pouca coesão
	Quantidades	7	6,00	11,10	13,00	3,20						
	Acréscimos	2	5,31	1,51	1,77	0,90						
2	Traço	1	1,03	1,69	1,98	0,45	7,9	95,0	28,0	4,696	65,22	coeso ajustado
	Quantidades	9	9,25	15,19	17,83	4,05						
	Acréscimos	1	3,23	4,13	4,85	0,90						
3	Traço	1	1,03	1,77	2,08	0,45	7,6	70,0	28,0	4,921	64,94	coeso ajustado
	Quantidades	10	10,80	17,70	20,80	4,50						
	Acréscimos	1	1,52	2,50	2,93	0,45						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>378,2</b>	<b>407,1</b>	<b>668,8</b>	<b>785,1</b>	<b>0,0</b>	<b>405,72</b>	<b>37,0</b>	<b>2,0</b>	<b>18,54</b>

## TRAÇO POBRE AMB BASALTO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	agregado		brita	água						
			miúdo									
			Areia	Gran.								
0	Traço Piloto	1	1,03	2,30	3,31	0,65	8,5	0,0	18,4	6,647	56,69	atrito excessivo
	Quantidades	7	7,23	16,11	23,19	4,55						
1	Traço	1	1,44	1,96	2,83	0,65	9,0	80,0	30,0	6,222	60,90	pouca coesão
	Quantidades	9	12,90	17,70	25,40	5,90						
	Acréscimos	2	5,69	1,55	2,23	1,30						
2	Traço	1	1,51	1,77	2,55	0,65	9,5	70,0	35,0	5,840	62,68	coeso ajustado
	Quantidades	11	16,66	19,52	28,09	7,15						
	Acréscimos	2	3,74	1,86	2,67	1,30						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>340,5</b>	<b>515,7</b>	<b>604,2</b>	<b>869,4</b>	<b>0,0</b>	<b>586,3</b>	<b>309,6</b>	<b>15,6</b>	<b>27,9</b>

## TRAÇO MÉDIO AMB BASALTO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	agregado			água						
			miúdo		brita							
			Areia	Gran.								
0	Traço Piloto	1	0,65	1,98	2,84	0,55	8,5	30,0	13,5	5,471	56,05	atrito excessivo
	Quantidades	7	4,55	13,83	19,91	3,85						
1	Traço	1	1,02	1,68	2,41	0,55	9,0	55,0	25,0	5,111	60,52	pouca coesão
	Quantidades	9	9,20	15,10	21,70	5,00						
	Acréscimos	2	4,65	1,25	1,81	1,10						
2	Traço	1	1,02	1,55	2,23	0,55	9,5	70,0	27,0	4,789	61,57	coeso ajustado
	Quantidades	10	10,18	15,46	22,30	5,50						
	Acréscimos	1	0,98	0,37	0,59	0,55						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>402,3</b>	<b>409,6</b>	<b>622,0</b>	<b>895,1</b>	<b>0,0</b>	<b>597,5</b>	<b>282,2</b>	<b>14,8</b>	<b>29,5</b>

## TRAÇO RICO AMB BASALTO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	agregado			água						
			miúdo		brita							
			Areia	Gran.								
0	Traço Piloto	1	0,34	1,62	2,33	0,45	8,5	0,0	8,6	4,294	55,93	atrito excessivo
	Quantidades	7	2,38	11,35	16,33	3,15						
1	Traço	1	0,56	1,53	2,20	0,45	8,5	30,0	15,0	4,294	58,39	pouca coesão
	Quantidades	8	4,50	12,20	17,60	3,60						
	Acréscimos	1	2,10	0,90	1,29	0,45						
2	Traço	1	0,67	1,37	1,97	0,45	9,0	50,0	20,0	4,000	60,67	coeso ajustado
	Quantidades	9	6,00	12,30	17,70	4,05						
	Acréscimos	1	1,52	0,05	0,08	0,45						
3	Traço	1	0,62	1,28	1,84	0,45	9,5	70,0	20,0	3,737	61,21	coeso ajustado
	Quantidades	10	6,20	12,80	18,40	4,50						
	Acréscimos	1	0,23	0,47	0,67	0,45						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>491,4</b>	<b>306,0</b>	<b>627,4</b>	<b>902,8</b>	<b>0,0</b>	<b>637,2</b>	<b>258,1</b>	<b>14,1</b>	<b>32,2</b>

## TRAÇO POBRE AMN B1 BASALTO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	agregado			água						
			miúdo		brita							
			Areia	Gran.								
0	Traço Piloto	1	0,37	2,82	3,45	0,65	8,5	0,0	5,9	6,647	54,86	atrito excessivo
	Quantidades	7	2,59	19,77	24,17	4,55						
1	Traço	1	0,61	2,72	3,33	0,65	8,5	0,0	10,0	6,647	56,54	atrito excessivo
	Quantidades	8	4,80	21,80	26,60	5,20						
	Acréscimos	1	2,24	1,98	2,42	0,65						
2	Traço	1	0,87	2,60	3,18	0,65	8,5	0,0	15,0	6,647	58,43	atrito excessivo
	Quantidades	9	7,80	23,41	28,61	5,85						
	Acréscimos	1	2,97	1,66	2,02	0,65						
3	Traço	1	1,11	2,50	3,05	0,65	8,5	180,0	20,0	6,647	60,16	atrito cisalhado
	Quantidades	10	11,10	24,90	30,50	6,50						
	Acréscimos	1	3,28	1,52	1,85	0,65						
4	Traço	1	1,43	2,57	3,14	0,65	8,0	125,0	25,0	7,125	61,41	atrito cisalhado
	Quantidades	11	15,68	28,22	34,49	7,15						
	Acréscimos	1	4,60	3,29	4,02	0,65						
5	Traço	1	1,91	2,87	3,51	0,65	7,0	60,0	30,0	8,286	62,25	pouco coeso
	Quantidades	12	22,95	34,42	42,07	7,80						
	Acréscimos	1	7,27	6,20	7,58	0,65						
6	Traço	1	2,08	2,68	3,27	0,65	7,2	70,0	35,0	8,028	63,77	coeso ajustado
	Quantidades	13	27,06	34,79	42,52	8,45						
	Acréscimos	1	4,11	0,37	0,45	0,65						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>256,6</b>	<b>534,1</b>	<b>686,7</b>	<b>839,3</b>	<b>0,0</b>	<b>292,72</b>	<b>42,0</b>	<b>2,0</b>	<b>12,89</b>

## TRAÇO MÉDIO AMN B1 BASALTO

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	agregado			água						
			miúdo		brita							
			Areia	Gran.								
0	Traço Piloto	1	0,24	2,35	2,88	0,55	8,5	0,0	4,6	5,471	55,54	atrito excessivo
	Quantidades	7	1,68	16,48	20,14	3,85						
1	Traço	1	1,27	2,08	2,54	0,55	7,5	180,0	25,0	6,333	63,11	atrito excessivo
	Quantidades	9	11,40	18,70	22,90	5,00						
	Acréscimos	2	9,72	2,22	2,71	1,10						
2	Traço	1	1,27	2,28	2,79	0,55	7,5	65,0	25,0	6,333	62,00	pouca coesão
	Quantidades	10	12,67	22,80	27,87	5,50						
	Acréscimos	1	1,27	4,11	5,02	0,55						
3	Traço	1	1,35	2,24	2,74	0,55	7,5	70,0	27,0	6,333	62,60	atrito pouca coesão
	Quantidades	11	14,81	24,69	30,17	6,05						
	Acréscimos	1	2,14	1,89	2,30	0,55						
4	Traço	1	1,46	2,19	2,68	0,55	7,5	80,0	30,0	6,333	63,46	coeso ajustado

Quantidades	12	17,54	26,31	32,16	6,60				
Acréscimos	1	2,70	1,60	2,00	0,55				

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>314,6</b>	<b>459,8</b>	<b>689,8</b>	<b>843,1</b>	<b>0,0</b>	<b>345,71</b>	<b>39,5</b>	<b>2,0</b>	<b>15,35</b>

## TRAÇO RICO AMN BRITA 1 BASALTO

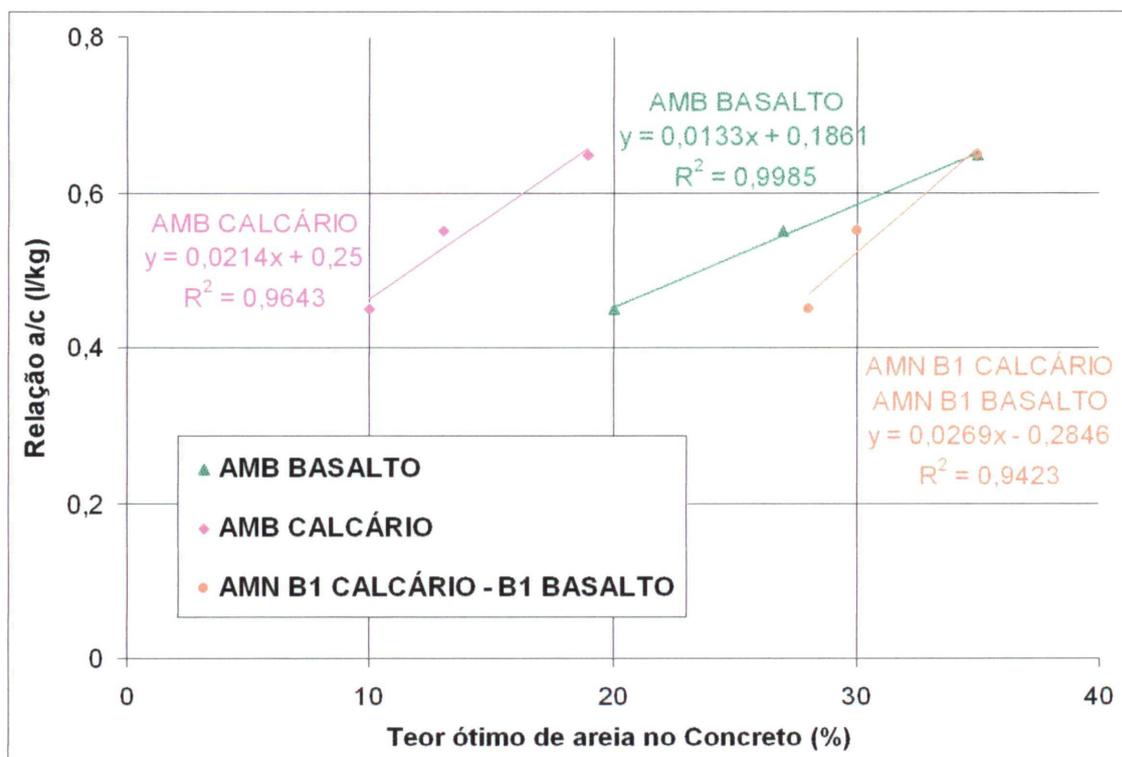
Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	α(%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	agregado			água						
			miúdo		brita							
			Areia	Gran.								
0	Traço Piloto	1	0,14	1,87	2,29	0,45	8,5	0,0	3,3	4,294	56,81	atrito excessivo
	Quantidades	7	0,96	13,10	16,01	3,15						
1	Traço	1	0,86	1,55	1,89	0,45	8,5	145,0	25,0	4,294	64,31	atrito excessivo
	Quantidades	9	7,70	13,90	17,00	4,10						
	Acréscimos	2	6,77	0,82	1,00	0,90						
2	Traço	1	0,97	1,68	2,05	0,45	7,9	95,0	26,0	4,696	64,01	pouca coesão
	Quantidades	10	9,69	16,77	20,50	4,50						
	Acréscimos	1	1,96	2,86	3,49	0,45						
3	Traço	1	1,02	1,76	2,15	0,45	7,6	70,0	26,0	4,921	63,72	atrito pouca coesão
	Quantidades	11	11,20	19,30	23,60	4,95						
	Acréscimos	1	1,48	2,56	3,13	0,45						
4	Traço	1	1,08	1,73	2,11	0,45	7,6	70,0	28,0	4,921	64,29	coesão ajustado
	Quantidades	12	12,92	20,76	25,38	5,40						
	Acréscimos	1	1,75	1,43	1,75	0,45						

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
<b>389,6</b>	<b>419,4</b>	<b>674,2</b>	<b>824,0</b>	<b>0,0</b>	<b>418,01</b>	<b>37,6</b>	<b>2,0</b>	<b>18,52</b>

## TRAÇOS AJUSTADOS

Material	Traços	Cimento	Areia (A)	Granilha (G)	Brita 1 (B1)	m	a/c	Teor de Finos (%)	Consumo de Cimento (kg/m <sup>3</sup> )
AMB CALCÁRIO	Pobre	1	0,99	1,79	3,44	6,222	0,65	19,0	303,8
	Médio	1	0,61	1,59	3,06	5,250	0,55	13,0	378,9
	Rico	1	0,38	1,32	2,53	4,233	0,45	10,0	424,6
AMN - B1 CALCÁRIO	Pobre	1	2,08	2,74	3,21	8,028	0,65	35,0	248,9
	Médio	1	1,46	2,24	2,63	6,333	0,55	30,0	305,2
	Rico	1	1,08	1,76	2,08	4,921	0,45	28,0	407,1
AMB BASALTO	Pobre	1	1,51	1,77	2,55	5,842	0,65	35,0	340,5
	Médio	1	1,02	1,55	2,23	4,789	0,55	27,0	402,3
	Rico	1	0,62	1,28	1,84	3,737	0,45	20,0	491,4
AMN - B1 BASALTO	Pobre	1	2,08	2,68	3,27	8,028	0,65	35,0	256,6
	Médio	1	1,46	2,19	2,68	6,333	0,55	30,0	314,6
	Rico	1	1,08	1,73	2,11	4,921	0,45	28,0	389,6

## TEOR ÓTIMO DE AREIA NOS CONCRETOS AJUSTADOS



Comparando-se os resultados contidos nos gráficos utilizados para o ajuste das argamassas, constata-se que as retas podem ser consideradas paralelas, já que os respectivos coeficientes angulares são praticamente iguais. A diferença observada está nos coeficientes angulares, com pequena diferença. Assim, ao se determinar à reta a partir das argamassas, basta se fazer um acréscimo no coeficiente linear, para se obter a equação que fornecerá os valores de F para o cálculo dos traços iniciais de concretos muito próximos dos ajustados. Com isso, apenas com eventuais pequenas alterações nos valores de P, o concreto estará ajustado quanto à coesão e ao acabamento superficial.

#### DIAGRAMA DE DOSAGEM DOS TRAÇOS AJUSTADOS

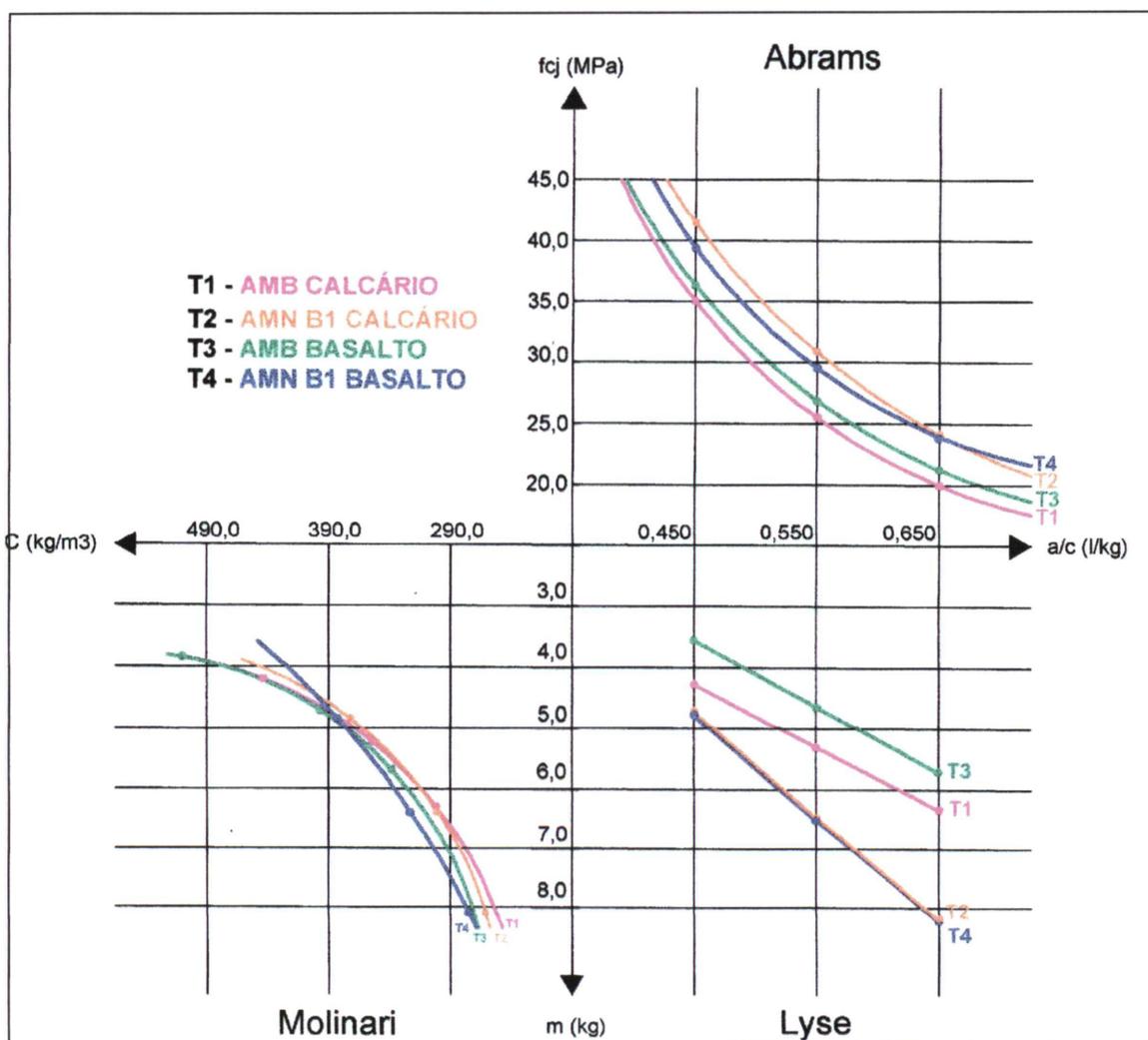


Diagrama de Dosagem IPT/EPUSP dos traços com 28 dias.

## APÊNDICE C – TRAÇOS DOS CONCRETOS ESTRUTURAIIS

## AMB Calcário

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.								
1	Traço 25 MPa	1	0,710	1,658	3,184	0,570	8,7	70,0	14,7	5,552	51,41	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
337,5	239,5	559,6	1074,3	0,0	476,4	281,3	15,0	28,0

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.								
2	Traço 35 MPa	1	0,363	1,293	2,482	0,447	8,7	70,0	9,63	4,138	51,70	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
431,5	156,9	557,9	1070,9	0,0	522,5	251,6	14,1	30,8

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.								
3	Traço 45 MPa	1	0,185	0,988	1,896	0,354	8,7	70,0	6,43	3,069	53,40	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
546,8	101,4	540,0	1036,7	0,0	605,6	225,8	13,5	34,7

## AMB Basalto

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.		Brita 1						
1	Traço 25 MPa	1	1,154	1,616	2,325	0,579	9,5	70,0	29,3	5,095	61,86	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
385,9	445,5	623,4	897,0	0,0	598,2	295,5	15,0	29,0

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.		Brita 1						
2	Traço 35 MPa	1	0,668	1,314	1,891	0,463	9,5	70,0	20,9	3,874	61,20	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
482,0	322,1	633,5	911,6	0,0	635,5	246,2	14,2	31,8

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.		Brita 1						
3	Traço 45 MPa	1	0,390	1,053	1,515	0,376	9,5	70,0	15,2	2,958	61,72	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
592,8	231,4	624,1	898,1	0,0	703,1	236,5	13,5	35,3

## AMN Brita 1 Basalto

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.								
1	Traço 25 MPa	1	1,843	2,482	3,034	0,621	7,4	70,0	33,4	7,358	63,71	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
276,0	508,5	685,0	837,2	0,0	310,3	41,1	2,0	13,7

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.								
2	Traço 35 MPa	1	1,232	1,927	2,355	0,484	7,4	70,0	28,8	5,514	63,85	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
355,2	437,7	684,5	836,6	0,0	384,8	38,6	2,0	17,0

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.								
3	Traço 45 MPa	1	0,828	1,491	1,823	0,382	7,4	70,0	25,0	4,141	64,55	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
451,5	373,8	673,3	822,9	0,0	476,8	36,0	1,9	21,0

## AMN Brita 1 Calcário

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.								
1	Traço 25 MPa	1	1,871	2,506	3,063	0,627	7,4	70,0	33,6	7,439	63,71	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
273,3	511,3	684,8	837,0	0,0	307,9	41,1	2,0	13,6

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.								
2	Traço 35 MPa	1	1,360	2,051	2,507	0,514	7,4	70,0	29,8	5,918	63,76	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
334,2	454,5	685,5	837,9	0,0	364,9	39,2	2,0	16,2

Alterações		Materiais					H (%)	slump (mm)	P (%)	m	$\alpha$ (%)	Obs.
Nº	Espécie	cimento	Agregado			Água						
			miúdo		Brita 1							
			Areia	Gran.								
3	Traço 45 MPa	1	1,012	1,699	2,076	0,430	7,4	70,0	26,8	4,787	64,12	coeso ajustado

Cimento (kg/m <sup>3</sup> )	Areia (kg/m <sup>3</sup> )	Granilha (kg/m <sup>3</sup> )	Brita 1 (kg/m <sup>3</sup> )	material pulverulento agregado Graúdo (kg/m <sup>3</sup> )	material total passante #0,15 (kg/m <sup>3</sup> )	material Pulverulento Agr. Miúdo (kg/m <sup>3</sup> )	Teor de Pulverulento Total (%)	Teor de Cimento + pulverulento Totais (%)
451,5	373,8	673,3	822,9	0,0	476,8	36,0	1,9	21,0

### APÊNDICE D - DETERMINAÇÃO DA EXSUDAÇÃO DO CONCRETO NBR NM 102/96



Recipiente cilíndrico com diâmetro  $\varnothing$  12"



Recipiente cilíndrico altura 12"



Lançamento do concreto fresco



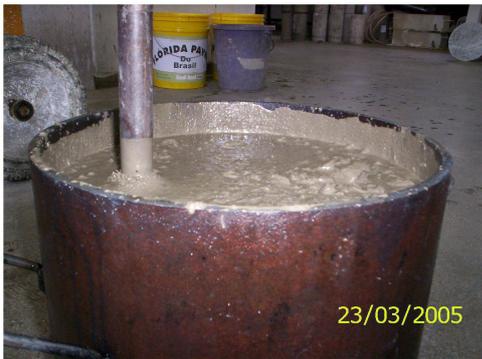
Lançamento até atingir a metade do recipiente



Proceder vibração sem encostar nas laterais e fundo do recipiente



Lançar segunda camada e em seguida vibrar o concreto



Após término da vibração, conferir a altura de 25mm da superfície do concreto até a borda do recipiente.



Com desempenadeira de madeira deve-se nivelar a superfície do concreto até que ela esteja plana, com um mínimo de alisamento



Após alisamento da superfície tampar o recipiente e aguardar os primeiros 10 minutos para verificar a exsudação.



Para retirar a água exsudada do concreto, utilizar calço de 5,0 cm de um lado do recipiente para mantê-lo inclinado.



Retirar a água exsudada com pipeta em quatro coletas de 10 minutos e a cada 30 minutos consecutivos proceder a mesma operação, acondicionar material removido em recipiente que possa ser levado ao fogo, devido a nata de cimento que possa estar presente no material de coleta para posterior verificação da quantidade contida.



após cada coleta, pesar o recipiente e tampá-lo para evitar evaporação.

Obs: Obter a massa total de concreto utilizado e a massa utilizada no ensaio; marcar a quantidade acumulada de material retirado em cada coleta.

## APÊNDICE E – MINI ABATIMENTO



Nas figuras acima, é apresentado o mini-tronco de cone proposto por GORISSE (1981), este equipamento pode ser utilizado para o ensaio de consistência em argamassas, fazendo com que seja realizado a medida da consistência da mesma forma como se realiza nos concretos. O tronco de cone utilizado para este procedimento está nas figuras acima ao centro e possui as seguintes dimensões: altura: 15,0 cm; diâmetro inferior: 10,0 cm e diâmetro superior: 5,0 cm.



Inicialmente após o preparo da argamassa, em uma chapa de aço plana, posicionar o mini-cone conforme a figura acima, conectando a sua abertura superior funil ( o mesmo utilizado para encher moldes de argamassas com dimensões 5,0 x 10,0 cm), e iniciar o ensaio aplicando a primeira camada de argamassa até a terça parte do recipiente.



Aplicar 12 golpes com haste cilíndrica metálica de comprimento: 8,0 mm para cada uma das três camadas de argamassa.



Após o término dos golpes nas respectivas camadas, com espátula alisar a superfície de argamassa conforme a figura acima. Em todo o momento do ensaio deve-se manter pelo menos uma mão segurando o recipiente para garantir que o mesmo não se desloque.



Levantar o mini-cone conforme a figura devagar.



Virar o mini-cone, posicionar a haste de socamento conforme mostra a figura acima e medir a consistência da argamassa.

Obs: Notar que o procedimento utilizado é o mesmo do ensaio de abatimento do concreto (*slump test*), adaptado para a argamassa.

## REFERÊNCIAS

ABCP – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Consumo de Concreto**. Disponível em: <<http://www.abcp.org.br>. Acesso em: 25 jan. 2005.

AÏTCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. Ed. Pini. 667 pg. São Paulo. 2000.

ALMEIDA, I. R. **Betões de alta resistência e durabilidade: composição e características**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 740 p. 1990.

ALMEIDA, S.L.M. e SAMPAIO, J.A. **Obtenção de Areia Artificial com Base em Finos de Pedreiras**. Ed. Areia e Pedra, n.20, p.32-36, São Paulo, 2002.

ALMEIDA, S.L.M. SILVA. V.S. Areia artificial: uma alternativa econômica e ambiental para o mercado de agregados. In: II SULFFIB SEMINÁRIO :O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM. **Anais...** São Paulo, 2005.

ANEPAC – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES PRODUTORAS DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL, **Produção de Agregados** (Comunicação verbal e notas), 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935**: agregados – terminologia. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7211**: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 7219**: Agregados - Determinação do teor de materiais pulverulentos - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7215**: Ensaio de Cimento Portland - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 7810**: Agregado em estado compactado seco - Determinação da Massa Unitária – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1982.

\_\_\_\_\_. **NBR 8490**: Argamassas Endurecidas para Alvenaria Estrutural – Retração por Secagem - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 9833**: Concreto fresco – Determinação da Massa Específica e do teor de ar incorporado pelo Método Gravimétrico - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 8522**: Concreto – Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação e da curva tensão-deformação - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_\_\_\_. **NBR 7222**: Argamassa e Concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 7225**: Materiais de pedra e agregados naturais – Terminologia. Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 102:96**: Concreto – Determinação da Exsudação - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR 5738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 9776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7810**: Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 5739**: Concreto - Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_. **NBR 12654**: Controle tecnológico de materiais componentes do concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 9778**: Argamassa e Concreto endurecidos – Determinação da absorção de água por imersão – índice de vazios e massa específica – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 7389**: Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 8953**: Concreto para fins estruturais – Classificação por grupos de resistência - Classificação. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 5734**: Peneiras para ensaio - Especificação. Rio de Janeiro, 1980.

\_\_\_\_\_. **NBR 12816**: Concreto endurecido – Determinação da capacidade de deformação de concreto submetido à tração na flexão – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1993.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 67:98** Concreto - Determinação da Consistência pelo Abatimento do tronco de cone - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR NM 248:01** Agregados - Determinação da Composição Granulométrica - Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 7223**: Concreto: consistência pelo abatimento do tronco de cone – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_. **NBR 9606**: Concreto: consistência pelo espalhamento do tronco de cone – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_\_. **NBR 11580:91** Cimento Portland: determinação da água da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 1991.

\_\_\_\_\_. **NBR 11581:91** Cimento Portland: determinação dos tempos de pega - NBR 11581. Rio de Janeiro, 1991.

BEER F.P. JOHNSTON. R. **Resistência dos materiais**. Editora McGraw-Hill, São Paulo, 1995.

BUEST.G.T. CAMPITELI.V.C. SILVA.N.G. Dosagem de finos em concretos com agregados miúdos e graúdos britados. In: 47<sup>o</sup>. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 2005. **Anais...** Recife, Instituto Brasileiro do Concreto, 2005.

BOMBLED, J. P. Comportement rhéologique des pâtes, mortise et bétons: mesure, evolution, influence de certains paramètres. **Revue des Matériaux de Construction “Ciments et Bétons”**, n.617, Paris. 1967.

BONAVETTI, V.L.; IRASSAR, E.F. **The effect of stone dust content in sand**. Cement and Concrete Research, v. 24, n. 3, p. 580-590. 1994.

BSI – BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS 4551**. Methods of testing mortars, screeds and plasters. London, 1980.

\_\_\_\_\_. **BS 4551**. Methods for determination of particle shape. Flakiness index. London, 1980.

\_\_\_\_\_. **BS 812-105.1:89**. Testing aggregates. Methods. London, 1989.

\_\_\_\_\_. **BS 812-105.2:90**. Elongation Index of Coarse Aggregate. London, 1990.

\_\_\_\_\_. **BS EN 933-3:97**. Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle shape. Flakiness index. London, 1997.

\_\_\_\_\_. **BS EN 933-4:99**. Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle shape. Shape index. London, 1999.

\_\_\_\_\_. **BS 5168**. Glossary of Rheological terms. London, 1975.

CAMPITELI, V.C. **Tecnologia do concreto: aspectos práticos**. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Notas de Aula. 2001.

CAMPITELI, V.C., Controle de produção de concreto: práticas para alterações em serviço. In: 36º. REIBRAC - Reunião Anual do Ibracon, 1994. **Anais...** Porto Alegre, Instituto Brasileiro do Concreto, 1994.

CAMPITELI, V.C. Concreto de Cimento Portland: um método de dosagem. **Revista de Engenharia Civil da Universidade do Minho**. Minho, Portugal. N.º 20, p. 5-16, 2004.

CARUSO, L.G., SBRIGHI NETO, C. **Panorama básico para avaliação do desempenho de areia em construção civil**. Comunicação Técnica IPT,n.41,p.1 -9. 1983.

CINCOTTO. M.A. REPETTE. W.L. MELO. A.A. **Influência do teor de ativador e da idade de exposição na retração por secagem de argamassas com cimentos de escória ativada com silicato de sódio**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2003. Boletim Técnico p. 21.

CHAVES, A. P. Estado da arte da produção de areia de britagem. In: II SULFFIB SEMINÁRIO :O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM. **Anais...** São Paulo, 2005.

COUTINHO. A.S. **Fabrico e propriedades do betão**. vol. 1. LNEC. 1973.

CSTB – CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT – **Certification CSTB des enduits monocouches d'imperméabilisation: modalités d'essais**. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, L341, C2669-4, jul. Paris, 1993.

CUCHIERATO, G. **Caracterização tecnológica de resíduos da mineração de agregados da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu aproveitamento econômico**. Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado). São Paulo. 201 p. 2000.

DE LARRARD, F. **Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach, Modern Concrete Technology Series**, vol. 9, Ed. E&FN SPON, London, 1992.

DNPM – DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, **Sumário Mineral**, v.28, p.175. São Paulo, 2000.

FRAZÃO, E. B, **Tecnologia de rochas na construção civil**. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, 132 p. 2002.

FRAZÃO, E.B., PARAGUASSU, A.B, **Materiais rochosos para construção**. 1998

GIAMMUSSO, S. **Manual do concreto**. Ed. Pini. P. 23-24. São Paulo, 1992.

GUIMARÃES. A.T.C. **Propriedades do Concreto Fresco**. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ed. G.C.Isaia. IBRACON São Paulo, 2005.

GORISSE. F. **Ensayos y control de los hormigones**. Ed. Técnicos asociados. Barcelona, 1981.

HELENE, P.R.L. TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. Ed. Pini. São Paulo, 1992.

HELENE. P.R.L. **Dosagem dos Concretos de Cimento Portland**. Concreto: Ensino, Pesquisa e Realizações. Ed. G.C.Isaia. IBRACON São Paulo, 2005.

HERRMANN, Hildebrando. **Política de aproveitamento de areia no Estado de São Paulo: dos conflitos existentes às compatibilizações possíveis**. Rio de Janeiro: CETEM/CNPQ, 186 p. 1992.

HEWLETT.P. **Lea's Chemistry of Cement and Concrete**. Ed. Arnold, 1998.

ILLSTON, J.M., SPON F.N. **Construction Materials – Their nature and behaviour**. London, 1994.

LNEC – LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL – FE Pa10 – Ficha de ensaio. **Revestimentos com base em ligantes hidráulicos ou sintéticos**. Determinação da consistência. Lisboa, 1980.

MEHTA, P.K. MONTEIRO, P.J.M. **Concrete: microstructure, properties and materials**. Ed. Mc GrawHill. Third edition. United States of America, 2005.

METSO. **VSI**. Disponível em: <<http://www.metso.com.br>. Acesso em: 05 mar. 2006.

MENOSSEI. R.T. **Utilização do pó de pedra basáltica em substituição da areia natural do concreto**. Ilha Solteira. 2004. pg. 140. Dissertação de mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista – UNESP.

MINÉRIOS & MINERALES. **Onde estão as 1611 minas do Brasil**. Editora Universal, n. 250, p. 6-55. 2000.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do Concreto**. 2º. Edição, Ed. Pini. São Paulo. 1997.

O'REILLY, V.D. **Método de dosagem de concreto de elevado desempenho**. Ed. Pini. São Paulo, 1998.

PACELLI, W.A. **Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo – ensaios e propriedades**. Ed. Pini, São Paulo, 1997.

PANDOLFELLI, V.C., OLIVEIRA, I.R., STUDART, A.R. E PILEGGI, R.G., **Dispersão e Empacotamento de Partículas. Princípios e Aplicações em Processamento Cerâmico**. Ed. Fazendo Arte Editorial, pg. 224. São Paulo, 2000.

POOLE.A.B. SIMS.I. **Concrete Petrography – A Handbook of investigative techniques**. Ed. Arnold. London, 1998.

RILEM – RÉUNION INTERNATIONALE DES LABORATORIES D'ESSAIS ET MATÉRIAUX. **Recommendations MR 1-21: testing methods**. Paris, 1982.

TATTERSALL, G. H. **Workability and quality control of concrete**. Ed. E & FN SPON, 262p. London. 1991.

TERRA, L.E.M. Utilização de finos no concreto estrutural. In: II SULFFIB SEMINÁRIO :O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM. **Anais...** São Paulo, 2005.

SANTOS.S. SAGAVE.A.M. CERVI.S.C. Utilização de fonolito em substituição parcial do agregado miúdo na produção de concreto.In: 47º. CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO,2005. **Anais...** Recife, Instituto Brasileiro do Concreto, 2005.

SOBRAL, H. S. **Reologia e trabalhabilidade dos concretos ET-62**. 2 ed. São Paulo. Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), 1990, 76 p.

SBRIGHI NETO. C. Agregados para concreto. In: II SULFFIB SEMINÁRIO :O USO DA FRAÇÃO FINA DA BRITAGEM. **Anais...** São Paulo, 2005.

SBRIGHI NETO. C. **A importância dos conceitos tecnológicos na seleção dos agregados para argamassas e concretos**. Ed. Areia & Brita. V. 12; pg 26-27. São Paulo, 2003.

SOUZA COUTINHO. J. **Agregados para argamassas e betons**. Ed. LNEC. Lisboa, 1999.

SUGUIO, K. **Rochas sedimentares – propriedades, gênese e importância econômica**. Ed. Edgard Blücher. São Paulo, 1980.