



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL



**INFLUÊNCIA DA AREIA ARTIFICIAL ORIUNDA DA
BRITAGEM DE ROCHA GRANITO-GNAISSE NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL NO
ESTADO FRESCO E ENDURECIDO**

KEILLON OLIVEIRA CABRAL

Goiânia

2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

KEILLON OLIVEIRA CABRAL

**INFLUÊNCIA DA AREIA ARTIFICIAL ORIUNDA DA
BRITAGEM DE ROCHA GRANITO-GNAISSE NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL NO
ESTADO FRESCO E ENDURECIDO.**

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado em Engenharia Civil da Escola de
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Goiás, para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Civil

Área de concentração: Estruturas e
Materiais

Orientador: Prof. Dr. Enio José Pazini
Figueiredo

Goiânia
2007

FICHA CATALOGRÁFICA

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)**

**INFLUÊNCIA DA AREIA ARTIFICIAL ORIUNDA DA
BRITAGEM DE ROCHA GRANITO-GNAISSE NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL NO
ESTADO FRESCO E ENDURECIDO**

KEILLON OLIVEIRA CABRAL

Dissertação defendida no Curso de Mestrado em Engenharia Civil da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, para obtenção do grau de Mestre, aprovada em **31 de Outubro de 2007**, pela Banca Examinadora constituída pelos seguintes professores:

Prof^o. Dr. Enio José Pazini Figueiredo - UFG
Presidente da Banca

Prof^o. Dr. Cláudio Sbrighi Neto - IPT
Examinador Externo

Prof^o. Dr. Edgar Barcarji - UFG
Examinador Interno

Aos meus pais...
Duas virtudes, duas verdades, duas simplicidades, duas maneiras
de encarar a vida, porém duas convicções
que não mediram esforços no apoio aos meus estudos.
Obrigado Mãe e Pai pela conduta, “pró-conhecimento”.

AGRADECIMENTOS

É nesta passagem de produção de uma dissertação que com apenas duas palavras simples: muito obrigado, se tenta repassar o mais puro sentimento de agradecimento àqueles que de uma maneira direta ou indireta contribuíram para que esta obra se concretizasse.

Começo agradecendo ao meu eterno e bom Deus que em nome de Jesus Cristo vem guiando os meus caminhos numa trajetória de luz e glórias – Obrigado Senhor!

Aos meus pais, Dona Terezinha e Seu Odé que de forma honesta souberam mostrar-me que na vida aprendemos a vivê-la seguindo as nossas convicções e, sobretudo seguir sempre no caminho da dignidade. Acreditaram no meu potencial e sempre me apoiaram nos caminhos de minha vida, e alguns destes com bastante espinhos. Ao senhor meu Pai e a senhora minha Mãe o meu muito obrigado.

Aos meus irmãos – Karla e Keilisson - que de maneira “democrática” souberam contornar as situações adversas e sempre me impulsionaram na condução deste projeto. Muito obrigado pelo apoio e compreensão.

Aos meus familiares que a todo o momento participavam de forma produtiva, em especial ao Sr^o Luiz Spada editor do jornal, O Popular, pela revisão textual, à Sr^a Lúcia pelo incentivo e para o Marcelo Gomes pela força em alguns textos, ao Sr^o Plínio Boechat pela postura positiva e incentivadora e pelo fornecimento dos agregados naturais e apoio logístico.

Ao meu professor e amigo Enio que desde o primeiro momento proporcionou todas as condições, seja no direcionamento da bibliografia, bem como na orientação para a realização dos ensaios, enfim foi fundamental para o bom andamento desta pesquisa, cujo tema semeia um novo rumo na análise de materiais para construção.

Ao professor José Dafico, sempre pontual e prestativo, atendia a todas as nossas solicitações e questionamentos e sempre nos conduziu no caminho certo, principalmente no que tange à caracterização e definição dos traços de concreto deste trabalho.

À empresa Britagran representada pelo Eng^o Sergio e Afonso, pelo Diretor

Técnico o Srº Jadir e pelo Diretor Administrativo Divino que acreditaram no projeto ora proposto, e disponibilizaram todo o material para a realização desta pesquisa.

À empresa Agrecon representada pela Srª Eva de Oliveira e Plínio Boechat, cuja contribuição foi fundamental para o início, desenvolvimento e conclusão desta pesquisa.

Ao Laboratório Carlos Campos na figura do profº Carlos Campos, um homem de princípios e de uma simpatia ímpar. Obrigado pela contribuição na execução de alguns dos ensaios.

À empresa Concremat de São Paulo – SP, representada pelo Srº Daniel Cestari que contribuiu na realização de alguns dos ensaios. A vocês o meu sincero agradecimento pela importante contribuição e pelo pronto atendimento.

À empresa Goiás Construtora, representada pelo senhor Diretor Administrativo João Nogueira que desde o primeiro momento, teve a visão e se prontificou no apoio para que tal aperfeiçoamento profissional fosse efetivado.

Aos meus amigos cujos laços de companheirismo e amizade se fortaleceram ao longo do desenvolvimento de nossas atividades no mestrado. São eles: Izelman, Rafael Duarte, Ricardo, Wesley Nunes, Janaína, Rosana e Virgínia.

Aos amigos João Augusto (GCL), André (Engenheiro Civil), João Izaru (GCL), Libério (GCL), Wilton Carioca, Cássio(GCL) e Geovani (GCL).

A todos os meus amigos que proporcionaram sempre uma descontração, alegria e diversão, seja no futevôlei, seja nos encontros casuais, amenizando, assim as preocupações.

Ao Deusair chefe do laboratório de materiais da UFG, que em boa parte do tempo, participava positivamente na condução desta pesquisa. E aos técnicos Manoel Cândido e Agnaldo Damasceno, o meu muito obrigado pela grande ajuda durante esta caminhada.

Mário e Tancredo pelo apoio dentro da secretaria do mestrado.

Ao examinador externo Cláudio Sbrighi por ter aceitado analisar este importante assunto que tangencia uma forma sustentável de produção de agregados, tema este do seu inteiro domínio.

SUMÁRIO

	LISTA DE FIGURAS	xiv
	LISTA DE TABELAS	xvii
	RESUMO	xix
	ABSTRACT	xx
1	INTRODUÇÃO	21
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	21
1.2	IMPORTÂNCIA DO TEMA	23
1.3	JUSTIFICATIVA DO TEMA	26
1.4	OBJETIVOS	29
1.4.1	Objetivos Gerais	29
1.4.2	Objetivos Específicos	29
1.5	LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	30
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	30
2	AGREGADOS MIÚDOS PARA CONCRETOS	32
2.1	HISTÓRICO.....	32
2.2	ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO MINERALÓGICA.....	36
2.2.1	Rochas ígneas	36
2.2.2	Rochas sedimentares	37
2.2.3	Rochas metamórficas	38
2.3	DEFINIÇÕES.....	39
2.3.1	Concreto	39
2.3.2	Cimento	40
2.3.3	Agregados	40
2.3.3.1	Terminologias relativas à natureza.....	40
2.3.3.2	Terminologias relativas a dimensões dos agregados.....	41
2.3.3.3	Terminologia relativos às substâncias nocivas.....	42
2.3.4	Água	43
2.3.5	Outros componentes	43
2.4	TIPOS E PROCESSOS DE OBTENÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS	44
2.4.1	Agregados naturais	44
2.4.1.1	Lavra por desmonte hidráulico	44
2.4.1.2	Lavra por dragagem	45

2.4.1.3	Beneficiamento dos agregados naturais	46
2.4.1.4	Diagnóstico da produção de areia natural no Estado de Goiás.....	47
2.4.2	Agregados artificiais	47
2.4.2.1	Produção	48
2.4.2.2	Lavra e beneficiamento da areia de brita	51
2.4.2.3	Diagnóstico da produção de areia de britagem no Estado de Goiás.....	55
2.4.3	Agregados reciclados de RCD	57
2.4.3.1	Beneficiamento.....	57
2.5	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL.....	58
2.5.1	Impactos ambientais referentes à extração de areia natural e da produção da areia artificial.....	60
2.5.1.1	Impactos negativos da extração da areia natural	60
2.5.1.2	Areia de britagem e o seu impacto ambiental	63
3	INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS MIÚDOS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	65
3.1	PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	66
3.1.1	Trabalhabilidade	66
3.1.2	Teor de ar incorporado	68
3.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	69
3.2.1	Durabilidade.....	69
3.2.1.1	Reação álcali-agregado.....	70
3.2.1.2	Ensaio para avaliação de RAA em concretos.....	73
3.2.2	Resistência à compressão.....	76
3.2.3	Resistência à tração por compressão diametral	78
3.2.4	Módulo de deformação	79
3.2.5	Absorção de água por imersão.....	82
3.3	CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS VERSUS PROPRIEDADES DO CONCRETO.....	83
3.3.1	Influência da granulometria.....	85
3.3.2	Influência das substâncias nocivas.....	89
3.3.2.1	Torrões de argila e materiais friáveis.....	90
3.3.2.2	Materiais pulverulentos.....	91
3.3.2.3	Impurezas orgânicas	92
3.3.2.4	Teor de cloretos e sulfatos solúveis	93
3.3.3	Influência da massa específica e da massa unitária.....	94

3.3.4	Influência da absorção de água e do inchamento.....	95
3.3.5	Influência da textura e índice de forma do grão	97
4	PROGRAMA EXPERIMENTAL: SELEÇÃO, CARACTERIZAÇÃO	
	DOS MATERIAIS E METODOLOGIAS DE ENSAIOS	103
4.1	INTRODUÇÃO	103
4.2	LOCAIS DOS ENSAIOS.....	104
4.3	PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS	105
4.3.1	Variáveis dependentes.....	105
4.3.1.1	Abatimento do tronco de cone.....	105
4.3.1.2	Teor de ar incorporado	105
4.3.1.3	Resistência à compressão	106
4.3.1.4	Tração por compressão diametral	106
4.3.1.5	Módulo de deformação.....	106
4.3.1.6	Absorção de água por imersão.....	107
4.3.1.7	Reação álcali-agregado.....	107
4.3.2	Variáveis independentes.....	108
4.3.2.1	Idade dos ensaios	108
4.3.2.2	Método de dosagem.....	108
4.3.3	Parâmetros fixos	108
4.3.3.1	Cura.....	108
4.3.3.2	Dimensões dos corpos-de-prova.....	108
4.3.3.3	Teores de substituição do AN pelo AA	109
4.3.4	Planejamento dos ensaios.....	109
4.4	MATERIAIS EMPREGADOS NA PESQUISA	111
4.4.1	Cimento Portland.....	111
4.4.2	Agregado miúdo natural	111
4.4.3	Agregado miúdo artificial	112
4.4.4	Agregado graúdo.....	113
4.4.5	Água	114
4.5	METODOLOGIAS DE ENSAIO	114
4.5.1	Caracterização dos agregados.....	114
4.5.1.1	Granulometria.....	114
4.5.1.2	Torrões de argila e materiais friáveis.....	115
4.5.1.3	Material pulverulento	115
4.5.1.4	Impurezas orgânicas	115

4.5.1.5	Teor de cloretos e sulfatos solúveis	115
4.5.1.6	Massa específica.....	116
4.5.1.7	Massa unitária	116
4.5.1.8	Absorção de água	116
4.5.1.9	Inchamento.....	117
4.5.1.10	Textura e índice de forma do grão.....	118
4.5.2	Produção dos corpos-de-prova	118
4.5.2.1	Corpos-de-prova.....	118
4.5.2.2	Definição do método de dosagem e dos traços.....	120
4.5.3	Ensaio no concreto fresco.....	124
4.5.3.1	Trabalhabilidade – Abatimento do tronco de cone	125
4.5.3.2	Teor de ar incorporado	125
4.5.3.3	Massa específica.....	126
4.5.4	Ensaio no concreto endurecido	127
4.5.4.1	Resistência à compressão	127
4.5.4.2	Tração por compressão diametral	127
4.5.4.3	Módulo de Deformação	129
4.5.4.4	Reação Álcali-agregado	130
4.5.4.5	Absorção de água por imersão.....	131
4.5.5	Comparação da viabilidade econômica.....	133
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	134
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E SUAS PARTICULARIDADES	134
5.1.1	Granulometria	134
5.1.1.1	Agregado graúdo.....	134
5.1.1.2	Areia natural	136
5.1.1.3	Areia de britagem	137
5.1.2	Torrões de argila e materiais friáveis	139
5.1.3	Material pulverulento	139
5.1.4	Impurezas orgânicas.....	140
5.1.5	Teor de cloretos, sulfatos e sais solúveis.....	140
5.1.6	Massa específica	140
5.1.7	Massa unitária.....	141
5.1.8	Absorção de água	141
5.1.9	Resumo das caracterizações	141

5.1.10	Inchamento	143
5.1.11	Textura e forma dos grãos.....	144
5.2	RESULTADOS DAS DOSAGENS.....	146
5.3	ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO.....	152
5.3.1	Trabalhabilidade	153
5.3.2	Teor de ar incorporado	154
5.3.3	Massa específica	156
5.4	ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO.....	157
5.4.1	Resistência à compressão.....	157
5.4.1.1	Resistência à compressão aos 7 dias	157
5.4.1.2	Resistência à compressão aos 28 dias	159
5.4.1.3	Resistência à compressão aos 56 dias	161
5.4.2	Resistência à tração.....	162
5.4.3	Módulo de deformação	165
5.4.4	Absorção, índice de vazios e massa específica	169
5.4.4.1	Absorção média.....	169
5.4.4.2	Índice de vazios.....	171
5.4.4.3	Massa específica.....	172
5.4.5	Reação álcali-agregado	173
5.5	VIABILIDADE ECONÔMICA	175
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	179
6.1	QUANTO AS CARACTERIZAÇÕES	179
6.2	QUANTO AOS RESULTADOS DE DOSAGEM	180
6.3	QUANTO ÀS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO	181
6.4	QUANTO ÀS PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO	181
6.5	QUANTO À VIABILIDADE ECONÔMICA.....	183
6.6	QUANTO ÀS CONCLUSÕES RELATIVAS AO MEIO AMBIENTE	183
6.7	TERMINOLOGIA RELATIVA AOS FINOS DE PEDREIRAS.....	184
6.8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	184
	APÊNDICES.....	186
	ANEXOS	214
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	246

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Usina hidrelétrica de Itaipu	33
Figura 2.2	Ilustração de rochas ígneas	36
Figura 2.3	Ilustração do transporte e sedimentação das rochas (FOSSIL, 2006)	37
Figura 2.4	Diagrama ilustrativo do processo de formação da rocha metamórfica (GEOCITIES, 2006)	38
Figura 2.5	Desenho esquemático geral do desmonte hidráulico (IPT 2001)	45
Figura 2.6	Esquema geral da lavra por dragagem (RIBEIRO, 2001)	46
Figura 2.7	Esquema geral do beneficiamento de agregados em pedreiras (METSO, 2007)	49
Figura 2.8	Diagrama esquemático do circuito geral de britagem (ALMEIDA; SILVA, 2005)	49
Figura 2.9	Britador em processo de produção	51
Figura 2.10	Bancada para extração de agregados (HOLCIM, 2007)	52
Figura 2.11	Desmonte secundário por rompedor secundário (CUCHIERATO, 2000).....	52
Figura 2.12	Praça de alimentação (CUCHIERATO, 2000).....	53
Figura 2.13	Britadores da planta de britagem da Britagran.....	54
Figura 2.14	Pilha de areia de brita produzida por via seca.....	55
Figura 2.15	A evolução da produção e comercialização de britas em Goiás (DNPM, 2003).....	56
Figura 2.16	Aspecto do agregado miúdo reciclado (ZORDAN, 1997).....	57
Figura 2.17	Aspecto do agregado graúdo reciclado (ZORDAN, 1997).....	57
Figura 2.18	Assoreamento provocado pela extração mineral (Barra do sul -SC).....	62
Figura 3.1	Reatividade Potencial (Fonte: DCT.T.0529.2005- Furnas).....	71
Figura 3.2	Amostra de referência com quartzito: poro com aspecto vítreo (HASPARYK, 1999).....	75
Figura 3.3	Relação tensão-deformação elástica (à esquerda) e plástica (à direita) (VAN VLACK, 1970)	79
Figura 3.4	Curva tensão-deformação da pasta de cimento, agregado e concreto (SENA RODRIGUES, 2003)	81

Figura 3.5	Representação esquemática do comportamento tensão-deformação do concreto sob compressão uniaxial até a ruptura (MEHTA; MONTEIRO, 1994)	82
Figura 3.6	Zona utilizável inferior. Fornece limite inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia entre 1,55 e 2,20 NBR 7.211 (ABNT, 2005)	86
Figura 3.7	Zona ótima. Fornece limite inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia entre 2,20 e 2,90 NBR 7.211 (ABNT, 2005)	87
Figura 3.8	Zona utilizável superior. Fornece limite inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia entre 2,90 e 3,50 NBR 7.211 (ABNT, 2005)	87
Figura 3.9	Forma de distribuição e comparação das respectivas variações de volumes de vazios (SELMO, 1986)	89
Figura 3.10	Representação esquemática da umidade do agregado (NEVILLE, 1997)	96
Figura 3.11	Representação esquemática da avaliação do grau de arredondamento e esfericidade dos agregados NBR 7.389 (ABNT, 1992).....	98
Figura 3.12	Representação esquemática dos tipos de forma NBR 6.954 (ABNT, 1989).....	100
Figura 4.1	Planejamento dos ensaios	109
Figura 4.2	Fluxograma com as famílias de traços empregados	110
Figura 4.3	Agregado miúdo natural	112
Figura 4.4	Agregado miúdo artificial.....	113
Figura 4.5	Agregado graúdo.....	113
Figura 4.6	Peneiras utilizadas no ensaio da determinação da composição granulométrica.....	115
Figura 4.7	Areia sendo peneirada	115
Figura 4.8	Secagem ao ar	117
Figura 4.9	Cone com areia de rio.....	117
Figura 4.10	Cone de agregado saturado.....	117
Figura 4.11	Recipiente com areia e água.....	117
Figura 4.12	AN sendo umedecido	118
Figura 4.13	AN sendo homogeneizada	118

Figura 4.14	AN sendo preparada para pesagem	118
Figura 4.15	Preparação de concreto na betoneira	124
Figura 4.16	Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos	124
Figura 4.17	Ensaio no concreto fresco: abatimento do tronco de cone.....	125
Figura 4.18	Ensaio no concreto fresco: teor de ar incorporado.....	126
Figura 4.19	Ensaio no concreto fresco: massa específica	126
Figura 4.20	Ensaio de resistência à compressão sendo preparado.....	127
Figura 4.21	Disposição dos esforços no corpo-de-prova (THOMAZ, 2002)	128
Figura 4.22	Ensaio de resistência à tração por compressão diametral	129
Figura 4.23	Ensaio de módulo de deformação, utilizando medidor mecânico de deformação.....	130
Figura 4.24	Amostra prismática em ensaio de aferição de expansão por RAA..	131
Figura 4.25	Ensaio de absorção sendo realizado – CPs na estufa	132
Figura 4.26	CP`s na fase de fervura.....	132
Figura 5.1	Curva granulométrica da areia natural	137
Figura 5.2	Curva granulométrica da areia britada	139
Figura 5.3	Curva do inchamento da areia natural	143
Figura 5.4	Curva do inchamento da areia britada	144
Figura 5.5	Imagem ampliada dos grãos de areia britada	145
Figura 5.6	Imagem ampliada dos grãos de areia natural	145
Figura 5.7	Imagem ampliada dos grãos de areia normal	145
Figura 5.8	Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CR)	147
Figura 5.9	Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA25)	148
Figura 5.10	Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA50)	149
Figura 5.11	Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA75)	150
Figura 5.12	Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA100)	151
Figura 5.13	Resultados dos ensaios de abatimento do tronco de cone	153
Figura 5.14	Resultados dos ensaios do teor de ar incorporado	155
Figura 5.15	Resultados dos ensaios da massa específica.....	156
Figura 5.16	Resultados das resistências à compressão aos 7 dias	158

Figura 5.17	Resultados das resistências à compressão aos 28 dias	159
Figura 5.18	Resultados das resistências à compressão aos 56 dias	161
Figura 5.19	Resultados das resistências à tração aos 7 dias.....	164
Figura 5.20	Resultados das resistências à tração aos 28 dias.....	164
Figura 5.21	Resultados do módulo de deformação aos 28 dias.....	166
Figura 5.22	Resultados do módulo de deformação aos 28 dias do traço 1:3,5.....	166
Figura 5.23	Resultados do módulo de deformação aos 28 dias do traço 1:5,0.....	167
Figura 5.24	Resultados do módulo de deformação aos 28 dias do traço 1:6,5.....	167
Figura 5.25	Resultados da absorção média	170
Figura 5.26	Índice de vazios médio	171
Figura 5.27	Massa específica real média	172
Figura 5.28	Representação gráfica da reatividade potencial.....	174
Figura 5.29	Variação do custo unitário	176
Figura 5.30	Variação do consumo de cimento	177

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Características físicas das rochas (ALVES, 1999)	39
Tabela 2.2	Distribuição Regional e Setorial da Quantidade Consumida de rochas britadas – Produto beneficiado (DNPM, 2006)	56
Tabela 2.3	Equipamentos de britagem mais utilizados no beneficiamento de RCD (LEVY, 1997)	58
Tabela 3.1	Resumo dos resultados obtidos da análise petrográfica dos agregados graúdos (ANDRADE et al., 2006)	74
Tabela 3.2	Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado (MENOSSI, 2004).....	84
Tabela 3.3	Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material NBR 7211 (ABNT, 2005).....	90
Tabela 3.4	Teor crítico de cloretos em relação à massa de cimento (SILVA, F. G., 2006)	93
Tabela 3.5	Classificação da forma de partículas, BS 812 (1975).....	99
Tabela 3.6	Classificação da Textura superficial BS 812 (1975)	101
Tabela 4.1	Componentes e abreviações	110
Tabela 4.2	Corpos-de-prova utilizados para avaliação das propriedades do concreto endurecido	119
Tabela 4.3	Proporcionamento dos concretos utilizados	122
Tabela 4.4	Traço unitário de cada mistura, em massa.....	122
Tabela 4.5	Crítérios de avaliação da absorção de água pelo concreto (COMITÉ EURO-INTERNATIONAL du BETÓN, 1989)	132
Tabela 5.1	Composição granulométrica do agregado graúdo.....	135
Tabela 5.2	Caracterização do agregado graúdo	135
Tabela 5.3	Composição granulométrica da areia natural	136
Tabela 5.4	Resumos dos resultados da areia natural	136
Tabela 5.5	Composição granulométrica da areia britada	138
Tabela 5.6	Caracterização da areia britada.....	138
Tabela 5.7	Resumo das caracterizações	142
Tabela 5.8	Resultados dos ensaios no concreto fresco	153
Tabela 5.9	Valores de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias.....	157

Tabela 5.10	Percentuais de resistência aos 7 dias em relação ao concreto de referência.....	158
Tabela 5.11	Percentuais de resistência aos 28 dias em relação ao concreto de referência.....	160
Tabela 5.12	Percentuais de resistência aos 56 dias em relação ao concreto de referência.....	161
Tabela 5.13	Valores de resistência a tração aos 7 e 28 dias	163
Tabela 5.14	Valores de módulo de deformação aos 28 dias de todos os concretos e relação CAA/CR.....	165
Tabela 5.15	Valores de absorção, índice de vazios e massa específica.....	169
Tabela 5.16	Resultados da expansão média das amostras, em %	173
Tabela 5.17	Especificações da reação álcali-agregado	173
Tabela 5.18	Consumo de cimento e custo unitário	176

RESUMO

A dissertação ora apresentada visa o estudo teórico-experimental na verificação do desempenho da areia artificial oriunda da britagem da rocha de granito-gnaiss em relação à areia natural.

Atualmente, a areia artificial possui baixo valor comercial de mercado, sendo considerado um “material marginal”, cuja destinação não está definida, permanecendo estocado nos pátios das pedreiras, formando enormes pilhas que provocam vários impactos ambientais. Somando-se a isto, o tradicionalismo e a falta de esclarecimentos têm levado a uma mistificação injustificada deste material.

A metodologia utilizada para a realização dos ensaios da pesquisa foi baseada em ensaios normalizados, onde se buscou atender aos objetivos da dissertação, além de alicerçar o desenvolvimento das técnicas de pesquisa para agregados alternativos. Para tal, foi analisada a influência, da areia artificial em substituição da areia natural, com diferentes proporções, e avaliou-se qualidade do concreto em suas fases plástica e endurecida, levando-se em conta os aspectos mecânicos, elásticos, físico-químicos, ambientais e econômicos.

O trabalho consistiu em caracterizar os materiais que compuseram o concreto estudado. Após essa fase, foram confeccionados corpos-de-prova de concreto, utilizando-se 15 (quinze) traços diferentes, de modo que a areia natural foi gradualmente substituída pela areia artificial, nas proporções de 25%, 50%, 75%, e 100%. Para cada traço foi quantificados o seu abatimento, massa específica, ar incorporado, resistência à compressão axial, tração, módulo de deformação, absorção por imersão, reação álcali-agregado e uma avaliação econômica.

Considera-se que o objetivo principal desta pesquisa foi plenamente alcançado, uma vez que foi comprovada a viabilidade teórica da substituição parcial ou até mesmo total, da areia natural pela areia artificial, em concretos convencionais.

CABRAL, K. O. **Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-gnaiss nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e endurecido.** Goiânia, 2007. Dissertação de Mestrado– UFG, Escola de Engenharia Civil. Orientador: Enio Pazini Figueiredo.

Palavras-chave: concreto, areia-artificial, rocha granito-gnaiss.

ABSTRACT

The dissertation is aimed at the study being presented theoretical and experimental verification of the performance of artificial sand come from crushing the rock of granite-gneiss in relation to natural sand.

Currently, the sand has artificially low commercial value of the market and is considered a "some kind of piece of marginal material ", whose purpose is not defined and remained stored in the courtyards of the quarries, forming huge piles that cause various environmental impacts. In addition to this, the traditionalism and the lack of information has led to an unwarranted mystification of this material.

The methodology used for the tests of the research was based on standardized tests, which attempt to meet the objectives of the dissertation, in addition to enhancing the development of techniques to search for alternative aggregates. This has examined the influence of artificial sand in place of natural sand, with different proportions, and focuses on quality of the concrete in plastic and hardened its phases, taking into account the mechanical, elastic, physical-chemical, environmental and economic.

The work was to characterize the material that composed the concrete studied. After this phase, were up corpses-of-proof concrete, using 15 (fifteen) different traits, so that the natural sand was gradually replaced by artificial sand, in proportions of 25%, 50%, 75%, and 100%. For each trait was quantified its rebate, density, air incorporation, resistance to axial compression, traction, deformation module, absorption by immersion, alkali-aggregate reaction and an economic evaluation.

It is considered that the main objective of this research has been fully achieved, because it was proven the theoretical feasibility of replacing part or even all, of natural sand by artificial sand in conventional concrete.

CABRAL, K. O. The Influence of the deriving artificial sand of the britagem of rock granite-gnaiss in the properties of the conventional concrete in the cool and hardened state. Goiânia, 2007. Examination of Qualification (Mestrado) - UFG, School of Civil Engineering. Person who orientates: Enio Pazini Figueiredo.

Word-key: conventional concrete, sand-artificial, rock granite-gnaiss

1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O concreto teve seu desenvolvimento alavancado após a Segunda Guerra Mundial, como resultante, principalmente, do desenvolvimento da indústria do cimento, da indústria de aditivos, aprimoramento dos processos construtivos, exigências funcionais das edificações, estética e econômicas. Devido aos avanços contínuos, atualmente existe uma variedade enorme de tipos de cimentos e aditivos, cada um visando melhorar ou fornecer uma característica ao concreto.

O sucesso do concreto de cimento Portland é relatado por diversos pesquisadores e entidades como sendo o material de construção mais consumido do mundo (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Isso é resultado, segundo Bastos (2002), de suas propriedades técnicas, como boa resistência à compressão, excelente resistência à água, possibilidade de produzir peças de diferentes geometrias e capacidade de incorporar reforços para resistir à tração e ao cisalhamento, juntamente às vantagens de seu baixo custo, em relação aos demais materiais empregados para produzir estruturas.

O grande consumo do concreto vem acarretando, portanto, uma elevada demanda por insumos para sua produção. Chegando inclusive a períodos de escassez absoluta de determinados insumos. Em relação aos agregados miúdos, conseqüentemente, verifica-se situações similares de escassez e, sobretudo, devido à grande demanda, ocorrendo com isso um relativo encarecimento desses materiais.

Isso está vinculado, principalmente, ao fato de que os pólos de extração foram induzidos a mudar para regiões cada vez mais distantes dos centros consumidores. As causas são associadas às crescentes restrições ambientais a sua exploração e, sobretudo, à expansão urbana que vem ocupando as zonas produtoras de agregados naturais.

Outro fator que pode ser mencionado como fato causador deste relativo aumento dos insumos da construção, é o cenário interno do mercado da construção

civil que, felizmente, passa por um período de intenso crescimento e aumento da demanda, principalmente por obras de habitação.

A Figura 1.1 mostra uma pedreira localizada no perímetro urbano, situação cada vez mais comum, nas grandes metrópoles.



Figura 1.1 – Localização de uma pedreira em relação ao centro consumidor (VALVERDE, 2003).

Assim, uma importante linha de pesquisa vem sendo cada vez mais estudada, na busca de novos materiais para substituir a areia natural. Segundo Mehta; Monteiro (1994), estes novos materiais devem no mínimo atender às especificações do agregado miúdo tradicional, com relação à distribuição de tamanhos, forma, textura, resistência, dureza, módulo de elasticidade, absorção de água, presença de contaminantes, entre outros.

Uma visão tradicional sobre o concreto e seus componentes afirma que somente com agregados naturais conseguirá produzir concretos com a qualidade requerida. No entanto, a crescente compreensão sobre o papel desempenhado pelos agregados no campo socioeconômico, na comunidade técnica e científica, inclusive do ponto de vista ambiental, aponta atualmente, para os benefícios do uso de agregados alternativos.

Face ao exposto, alguns pesquisadores concordam que a areia produzida a partir de processos de cominuição de rocha sã, também chamada de areia britada, areia de brita, areia de britagem ou areia manufaturada, pode atender as especificações normalmente associadas aos agregados tradicionais. Porém, é

importante desenvolver uma série de experimentos teórico-científicos para que se tenha uma dimensão exata da semelhança entre esses materiais, podendo, assim, definir os usos potenciais para o insumo alternativo.

Diversos autores vêm desenvolvendo estudos no sentido de buscar tecnologias para aproveitamento dos finos de pedreira (cita-se: mármore que aumenta a trabalhabilidade ou granito que atua com um efeito contrário), de forma a reduzir os impactos ambientais ligados a sua destinação e, ao mesmo tempo, promover um emprego economicamente rentável e tecnicamente adequado para esse material (PISSATO et al., 2005).

1.2 IMPORTÂNCIA DO TEMA

De forma relativamente simples, os agregados naturais ou os artificiais produzidos industrialmente são bens minerais de suma importância para o desenvolvimento socioeconômico de um país. Constituem-se em materiais mais consumidos do mundo, requeridos abundantemente para satisfazer desde as elementares necessidades de moradia até as mais elaboradas obras de infraestrutura.

Para a produção de um bom concreto deve-se atentar para os seguintes critérios: no estado fresco, a consistência da mistura deve ser tal que se possa adensar a uma energia desejada e ser suficientemente coesivo para que as atividades de transporte e lançamento não promovam segregação; no estado endurecido, foi pontuado que o concreto deve ter resistência e durabilidade adequadas, como afirma Neville (1997).

Segundo Andriolo (1984), em um volume de concreto convencional os agregados, tanto graúdo como o miúdo, ocupam cerca de 75% de seu volume. Dessa forma, é inevitável que o material com uma porcentagem elevada na massa do concreto, deva contribuir nas propriedades do concreto fresco e endurecido. É importante que esse material seja estudado, caracterizado e controlado, a fim de correlacionar as suas características com as do concreto.

Somando-se essas afirmações, fica evidenciado que os agregados miúdos são insumos de importância ímpar para que os critérios de aceitabilidade sejam consolidados ao concreto.

Os agregados utilizados na construção civil são os insumos minerais mais consumidos no mundo, conforme ANEPAC (2000). De acordo com USGS¹, nos EUA, em 2000, foram consumidos cerca de 7,5t de agregados por habitante, enquanto na Europa Ocidental o consumo de agregados por habitante variou de 5t a 8t. No Brasil, o consumo está um pouco acima de 2t por habitante/ano e somente no Estado de São Paulo, o consumo é de 4,5t habitante/ano (VALVERDE, 2001). Ainda segundo o mesmo autor, o baixo consumo no Brasil deve-se ao déficit habitacional, a uma malha rodoviária que não suporta a crescente demanda e, em consequência, aos altos custos de transporte.

No Brasil, a demanda de agregados para a construção civil vem aumentando a cada ano, como mostra a Figura 1.2.

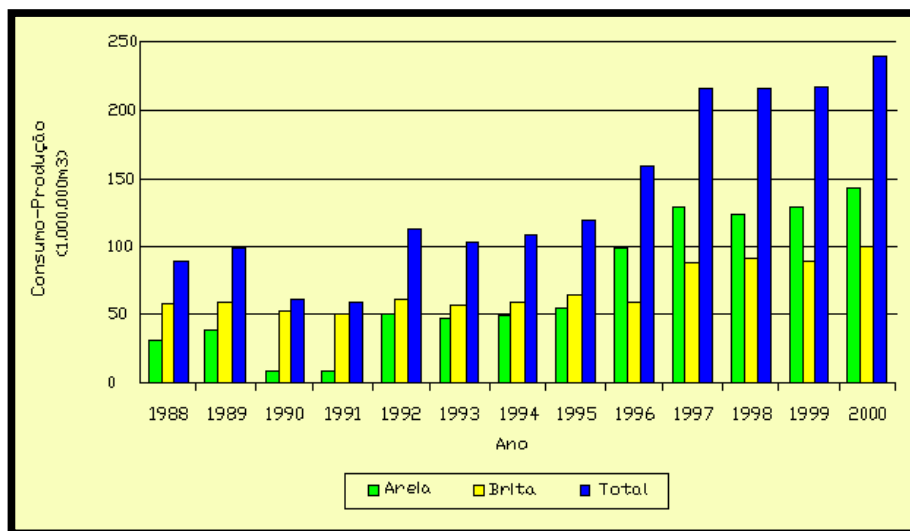


Figura 1.2 – Balanço do Consumo-Produção de Agregados para a Construção Civil (DNPM, 2001).

A construção civil é o segmento responsável pelo maior consumo de matérias-primas minerais. Somente no ano de 2002, a construção civil foi responsável pelo consumo de 386 milhões de toneladas de agregados naturais no Brasil, dos quais 229,6 milhões de toneladas corresponderam ao consumo de areia (VALVERDE, 2003). Tais dados demonstram o impressionante mercado consumidor de agregados miúdos no cenário brasileiro.

Além disso, a exploração de agregados é atualmente uma das atividades extrativas mais importantes do setor mineral brasileiro, devido ao volume produzido, pelos empregos gerados e pelo enorme efeito multiplicador que produz na economia.

¹ USGS – Sigla em inglês para Serviço Geológico Americano – United States Geological Survey.

Com base no crescimento médio, período histórico, fatores sócio-econômicos, financeiros e políticos do país, acredita-se que o setor poderá, no mínimo crescer a uma taxa de 4,5% ao ano. Sendo assim, foi considerada uma projeção de oferta/demanda de 339 milhões de metros cúbicos para 2010 (ANEPAC, 2001). Portanto, se comparado esta projeção ao volume produzido no ano de 2000, dado apresentado na figura 1.2, têm-se uma aumento nominal de aproximadamente de 41%.

Apesar do seu baixo valor unitário, o setor ligado à produção de agregados contribui com uma parcela importante do movimento financeiro da indústria mineral do País. Excluindo os minerais energéticos, as pedras britadas ocupam atualmente, no Brasil, o segundo lugar em valor de produção mineral e o terceiro em quantidade produzida. A areia ocupa o terceiro lugar em valor de produção e o segundo em quantidade produzida (MINÉRIOS & MINERALES, 2000).

O mercado de agregados no eixo Goiânia-Brasília, constitui-se no terceiro mercado consumidor do País. Somente Goiânia, com uma população de 1,4 milhão de habitantes, consome atualmente cerca de 100.000 m³ de pedra britada por mês. Desse volume, resultam, aproximadamente, 20% da rocha desmontada em areia de brita. Portanto, verifica-se que existe um importante mercado com capacidade de produção considerável (AREIA & BRITA, 2003).

Três considerações com relação à produção e ao uso da areia de britagem são claramente projetadas, conforme Almeida e Silva (2004): uma ambiental, outra econômica e, finalmente, a técnica. A primeira visa à redução dos impactos ambientais ocasionados pelo processo convencional de extração de areia, principalmente das áreas mineradas no leito dos rios. A segunda é econômica, pois uma das grandes vantagens da areia britada é que a sua produção pode ser realizada no canteiro das pedreiras, localizadas próximas aos grandes centros urbanos, o que reduziria o custo da matéria-prima para o seu maior mercado consumidor, a indústria da construção civil. E, finalmente, a terceira, onde se tem verificado que a areia de britagem pode cumprir com os requisitos normativos exigidos para os agregados miúdos, podendo resultar em concretos e argamassas adequados aos usos normalmente atribuídos a estes materiais.

Estudos desenvolvidos (FRAZÃO, E. B.; CAMPOS, E.; CALAES, G. D.; HERMANN, H, 2007) relatou as propriedades da argamassa produzidas com areia de britagem para assentamento de alvenaria estrutural. Esta e outras pesquisas mostram a grande importância não só do agregado miúdo artificial, como também do

agregado graúdo artificial na constituição de traços economicamente interessantes e de bom desempenho estrutural. Portanto, implica na necessidade cada vez maior no controle da qualidade na produção destes agregados, destacando-se a influência dos tipos de rocha, equipamentos de britagem, a forma e a textura resultante do agregado originado da britagem de rochas.

É importante salientar que as pesquisas desenvolvidas sobre concretos produzidos com agregados alternativos estão permitindo que sejam comprovadas a qualidade desses concretos, no tocante a ocorrências de manifestações patológicas devido ao seu uso incorreto.

Conforme Cánovas (1988), devido às constantes ocorrências patológicas, como a corrosão de armaduras e a degradação do próprio concreto, tem-se concluído que o concreto deve reunir condições de constituição que o leve a suportar, também, as ações externas de caráter físico e químico.

Somando-se a isto, verifica-se que além da preocupação com as ações externas, é de suma importância alertar, principalmente quando do uso de agregados alternativos, para as ações internas, enfocando as manifestações patológicas decorrentes da Reação Álcali-Agregado (RAA), por exemplo.

1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA

Historicamente, o segmento concreteiro tem se mostrado bastante especializado, modernizando-se constantemente na busca de equipamentos e sistemas automatizados que permitam dosagens em central. Entretanto, apesar dessas evoluções, a variação na qualidade dos insumos do concreto é a preocupação constante das empresas do setor, mesmo aquelas que dispõem de fornecimento próprio de agregados. Neste sentido, o estudo proposto se torna valioso, pois avalia e ratifica as potencialidades de uso da areia britada.

Mais que a avaliação do estado da arte e do desenvolvimento das práticas hoje utilizadas, a análise ampla das necessidades que se apresentam impõe uma nova forma de interação entre os setores relacionados ao concreto, constituído de produtores e fornecedores de cimento, de brita, de areia britada, de areia natural e de aditivos, formando uma importante parceria na viabilização de novos conceitos e alternativas de utilização desses insumos (ABESC, 2005).

Justifica-se a abordagem do tema pelas propriedades indesejáveis que podem estar presentes nos agregados, que não apenas podem produzir um

concreto pouco resistente, como também poderão comprometer a durabilidade e o desempenho quanto à resistência de um determinado elemento estrutural.

Durante muito tempo, os agregados não têm sido considerados como potencialmente perigosos para o concreto. Apenas casos pontuais, como a reação álcali-agregado, são relatados na literatura técnica. Contudo, essa análise modificou-se ultimamente, especialmente próximo aos grandes centros consumidores, onde as jazidas de agregados de boa qualidade são continuamente exploradas, atingindo à patamares de exaustão, conseqüentemente reduzindo consideravelmente os estoques naturais. Por isso alguns agregados alternativos começam a ser utilizados.

Dessa forma, novos problemas aparecem porque os “novos” agregados – provenientes de resíduos de processos industriais, da mineração e de entulhos de construção, demolição e os reciclados – podem mostrar uma grande variabilidade na sua composição química, física e mineralógica, além de uma grande diversidade microestrutural (AREIA & BRITA, 2003).

Atualmente, 90% da produção nacional de areia natural têm sido obtidas a partir da extração em leito de rios e os 10% restantes, de outras fontes e este consumo inclui os concretos produzidos fora das concreteiras. A exaustão de áreas próximas aos grandes centros consumidores e a restrição desta atividade extrativista pelos órgãos de fiscalização ambiental são fatores que obrigam a exploração de areiais em locais cada vez mais distantes dos grandes centros urbanos. Em Goiânia(GO), Brasília (DF), Campo Grande (MS), Fortaleza (CE) e outras a areia de britagem já participa do mercado com pelo menos 20% em volume, em contrapartida, São Paulo (SP) a participação no mercado deste insumo chega à aproximadamente 80% (FRAZÃO et al.; 2007)

O aumento do custo das areias nas grandes metrópoles está diretamente influenciado pelas distâncias consideráveis do minerador até o consumidor, onerando o material em questão a patamares desproporcionais quando relacionado aos preços unitários de outros insumos básicos. A partir dos anos 1970, vem se pesquisando a areia de britagem como um substituto para a areia natural e, com a concepção de novos equipamentos de britagem, como o britador de eixo vertical, foi possível produzir a areia de britagem adequada para concretos.

O custo do agregado tradicional e a qualidade do artificial são fatores que justificam o tema escolhido para esta Dissertação, pois cria a necessidade de inserir, na indústria da construção civil, o emprego de materiais alternativos, reaproveitáveis e de baixo custo para a produção de casas econômicas, por exemplo, e que possam

substituir ou complementar os materiais ou os sistemas construtivos tradicionais, sem comprometer a durabilidade, o conforto e a qualidade das construções, principalmente das habitações econômicas.

Atualmente, nos grandes centros consumidores existem grandes dificuldades em se obter areia natural de qualidade do leito dos rios para o preparo de concretos. São destacados os seguintes fatores: o crescimento do consumo da areia natural no País, as restrições ambientais e o processo de reposição no leito dos rios que depende da carreação das partículas pela chuva, cujo processo é lento. Tem-se procurado, portanto, novas alternativas para a resolução desse problema. Com isso, o uso de areia britada, resultante da britagem, tende a ser um dos principais materiais para a substituição parcial ou até mesmo total da areia natural (BASTOS, 2002).

Nas pedreiras, a britagem das rochas de basalto, calcário, granito, gnaiss, entre outras, cria basicamente cinco tipos de produtos: pó de pedra, brita 0, brita 1, brita 2 e brita 3. Destes produtos, os únicos que encontram aplicações nobres na construção civil são as britas 1, 2 e 3. A brita 0 e o pó de pedra eram utilizados apenas em aplicações marginais, sem muito valor comercial, cita-se os blocos de concreto para poços de visita para obras de Galeria de Água Pluviais, por exemplo. Dessa maneira, esses finos ficavam estocados em pilhas nas pedreiras e acabava provocando graves problemas ambientais, como assoreamento dos rios, poluição visual e, principalmente, muita poeira particulada na atmosfera. Com a evolução de equipamentos específicos de britagem estes finos, devidamente processados, podem vir a substituir a areia natural, ou mesmo serem empregados para a produção de materiais especiais, tal como os grautes, os quais possuem elevados preços no mercado (ALMEIDA, 2000).

É importante registrar que o tradicionalismo e a falta de esclarecimentos têm levado a uma mistificação injustificada de alguns materiais, como, por exemplo, a própria areia britada objeto desta pesquisa, fato que conduz a um entendimento do descaso em relação ao material, cuja potencialidade está se evidenciando.

Diante desse quadro, foi estudada a areia de britagem para ser usada em concretos convencionais, oriunda de rejeitos de britagem de rocha sã, proveniente da pedreira Britagran, localizada no município de Nova Veneza – GO, distante, aproximadamente, 30 km do Centro da capital goiana. Justifica-se o uso dos materiais dessa pedreira porque atualmente detém cerca de 50% das vendas de

agregados artificiais para as concreteiras da grande Goiânia e pela qualidade da rocha explorada.

A areia de britagem foi avaliada em comparação com a areia natural oriunda do Rio do Peixe, em Faina – GO. Este agregado natural foi escolhido em virtude do conjunto de vantagens, no tocante a aspectos físicos, morfoscópicos, químicos e outros. Além disso, é considerado pelo mercado consumidor como sendo uma das melhores opções de extração agregado miúdo em qualidade para uso na construção civil da região.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos Gerais

A presente pesquisa tem como objetivo geral avaliar o efeito da substituição parcial e total da areia natural por areia britada de granito-gnaiss nas porcentagens de 25%, 50%, 75% e 100% em massa, na dosagem de concreto convencional, e comparar de forma sistemática, com o concreto de referência, produzido com 100% de areia natural.

Portanto, objetiva-se contribuir, qualitativamente, com informações sobre os efeitos do uso desse agregado miúdo artificial no concreto convencional, nos estados fresco e endurecido e, assim, analisar a viabilidade do seu uso.

1.4.2 Objetivos Específicos

A partir da substituição da areia natural do Rio do Peixe, de Faina, pela areia de britagem produzida na Pedreira Britagran, em Nova Veneza, pretende-se investigar os seguintes fatores:

- a) avaliar as características físicas por meio da realização dos ensaios de caracterização das areias natural e artificial;
- b) avaliar a forma e a textura dos grãos da areia natural e artificial por meio da análise das imagens do estereoscópio;
- c) comparar o comportamento das dosagens, suas particularidades e semelhanças;

- d) avaliar o desempenho do concreto fresco quanto a trabalhabilidade, a massa específica e ao teor de ar incorporado em face às diferentes misturas, variando-se, para tanto, as porcentagens de substituição da areia natural pela artificial, em massa, em 25%, 50%, 75% e 100% , em relação a um concreto de referência;
- e) avaliar os efeitos das substituições nas propriedades do concreto endurecido de resistência à compressão, à tração por compressão diametral, ao módulo de deformação e à reação álcali-agregado;
- f) avaliar a porosidade do concreto por meio da análise da absorção de água por imersão;
- g) avaliar a composição de custo unitário (custo por MPa) dos concretos produzidos para a pesquisa; e
- h) fazer algumas considerações sobre aspectos ambientais.

1.5 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As limitações da pesquisa foram associadas a pouca literatura disponível. O tema foi pesquisado em sua grande maioria focando artigos, normas, seminários, dissertações, manuais e alguns livros.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação foi dividida em duas partes: uma teórica, que inclui o presente Capítulo e os Capítulos 2 e 3, e outra experimental, que engloba os capítulos 4, 5 e 6.

O presente Capítulo apresenta a importância do tema, a justificativa, os objetivos da pesquisa, as limitações da pesquisa e a estrutura da dissertação.

No Capítulo 2, é apresentada uma revisão da bibliografia sobre o assunto, incluindo a abordagem da necessidade de uma tecnologia limpa, barata e auto-sustentável na produção de agregados, breves definições e conceitos, uma abordagem sobre as diversas formas de produção de agregados miúdos e alguns tópicos referentes aos impactos ambientais.

No Capítulo 3, apresenta a influência dos agregados miúdos nas características do concreto.

O Capítulo 4, apresenta o programa experimental, compreendendo a metodologia empregada para obtenção dos resultados, as variáveis de ensaio adotadas, a caracterização dos materiais utilizados, a dosagem dos concretos, bem como os ensaios e os métodos empregados para a obtenção dos resultados.

No Capítulo 5, são apresentados os resultados e feitas as análises dos resultados obtidos durante o programa experimental.

As conclusões, as considerações finais e as sugestões para pesquisas futuras são apresentadas no Capítulo 6.

1	INTRODUÇÃO.....	21
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	21
1.2	IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	23
1.3	JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	26
1.4	OBJETIVOS.....	29
1.4.1	Objetivos Gerais	29
1.4.2	Objetivos Específicos.....	29
1.5	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	30
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	30

Figura 1.1 – Localização de uma pedreira em relação ao centro consumidor (VALVERDE, 2003).....	22
Figura 1.2 – Balanço do Consumo-Produção de Agregados para a Construção Civil	24

2

AGREGADOS MIÚDOS PARA CONCRETOS

2.1 HISTÓRICO

Embora possa parecer um material recente, uma vez que o grande desenvolvimento se deu nos últimos dez anos, a história da areia de brita possui 40 anos no Brasil (OHASHI, 2006).

Verificou-se que a evolução do uso desse material passa por duas importantes vertentes de desenvolvimento.

A primeira vertente foi em função dos trabalhos desenvolvidos pelas pedreiras e concreteiras dos grandes centros urbanos, que faziam e fazem o aproveitamento dos finos provenientes da britagem. Após a mistura da areia natural com a areia resultante de britagem, acertava-se a granulometria e a quantidade de finos. Posteriormente, era empregada aquela mistura na produção de concreto em algumas concreteiras na cidade de São Paulo, no fim dos anos 1960 e início dos anos 1970 (SBRIGHI, 2006).

A segunda vertente de desenvolvimento, como afirma Ohashi (2006), foi em virtude do uso de areia de brita na construção de barragens hidrelétricas. Em função da grande quantidade de areia empregada, o desenvolvimento de tecnologia para a produção de areia de brita de alta qualidade teve grande importância, não somente pelo grande impacto econômico no custo da obra, mas também por tratar-se de obras de alta responsabilidade. O autor destaca a construção da Hidrelétrica de Itaipu entre 1975 e 1982, cuja produção total de concreto foi de aproximadamente 13 milhões de metros cúbicos. Para tal, foi necessário o uso dos primeiros britadores especializados na produção de areia de brita.

Até cerca de dez anos atrás, o material fino oriundo de pedreiras utilizado na elaboração de concreto era o chamado “pó-de-pedra”. Com granulometria média variável e alto teor da fração fina (abaixo de 0,075mm), o concreto com este material demandava um alto consumo de cimento devido à necessidade de adição de água à

mistura, afim de obter a trabalhabilidade do concreto desejada. Algumas tentativas foram feitas com o objetivo de reduzir a quantidade de material pulverulento, resultando no desenvolvimento de sistemas de lavagem e classificação. Esses sistemas permitiram o aparecimento da areia de brita.

A Figura 2.1 ilustra a Usina de Itaipu, uma das primeiras obras brasileiras a usar areia britada como insumo do concreto hidráulico.



Figura 2.1 – Usina hidrelétrica de Itaipu.

A areia de brita resultante do processo de britagem, na obra da Usina, apresentava conteúdo de material pulverulento significativamente menor que o encontrado no “pó-de-pedra”. E este material quando misturada às areias naturais apresentava como resultante, uma areia com distribuição granulométrica e tamanho de grãos com um desempenho interessante quanto ao consumo de cimento.

Os primeiros estudos tinham como foco principal o aproveitamento do estoque de finos originados na britagem. Embora se empregasse basicamente a lavagem do pó-de-pedra e devido à granulação inadequada, ao módulo de finura alto e à baixa cubicidade das partículas, portanto, especificamente para este caso, havia a necessidade de misturar cerca de 50 % de areia natural.

A razão principal da necessidade de adição de areia natural à mistura deve-se à forma angulosa e lamelar da areia artificial que era produzida, dificultando a trabalhabilidade do concreto que a empregava.

A adição de areia natural é atualmente prática bastante difundida entre as concreteiras. Mas, recentemente, tem-se estudado como melhorar o agregado miúdo, a "areia artificial", visando utilizá-la integralmente sem adição de outras areias. Esses estudos levaram aos primeiros testes com equipamentos chamados máquinas de impacto, tipo "VSI (*Vertical Impact Shaft*)", que, ao tratarem os materiais antes dos estágios finais de classificação, têm mostrado a melhoria efetiva da forma dos grãos do agregado miúdo. A granulometria final não se altera significativamente, mas o resultado final para o concreto, quanto ao consumo de cimento e à trabalhabilidade, mostrou-se interessante (TAVARES, 2005).

Nos grandes centros urbanos, há alguns anos, o incremento acentuado no custo final representado pela areia natural nas obras e nas centrais dosadoras de concreto levou os produtores de agregados de algumas regiões do País que dispunham de grandes estoques de finos, a participarem desse mercado.

A produção de areia artificial como um substituto à areia natural já é uma realidade nos maiores centros urbanos brasileiros. Estima-se que, aproximadamente, 80% da areia consumida no Estado de São Paulo sejam de areia britada (VALVERDE, 2003).

Em Goiânia, há algum tempo, as empresas de pré-moldados, principalmente, as fábricas de blocos de concreto, vêm utilizando somente a areia artificial, pela vantagem da uniformidade granulométrica e, sobretudo, devido aos custos unitários dos insumos.

Ao contrário das areias de rio, a areia de britagem possui como principal vantagem manter sempre a mesma granulometria. Uma constância nessa propriedade acarretará uma constância dos traços de concreto, com maiores probabilidades de se estudarem reduções no consumo de cimento. Outra vantagem é a maior aderência da pasta de cimento na superfície rugosa do grão de areia de britada. Agregados de superfície lisa produzem concretos de menor resistência à tração. Por último, está o preço do produto, que é a principal causa motivadora do surgimento da tecnologia da areia industrial.

No Complexo Canoas, composto pelas Usinas Hidroelétricas de Canoas I e II, situado no Rio Paranapanema (SP), foi utilizada areia artificial proveniente da

britagem do material rochoso de escavação das fundações e das pedreiras exploradas no canteiro de obra. A região não possuía areia natural. A areia de britagem de rochas artificial foi, então, a alternativa utilizada. Naquela ocasião, foi produzida por equipamentos denominados comercialmente de "VSI" (SALLES, et al., 1997).

A produção se deu pela operação de britadores de impacto de eixo vertical que melhoravam o formato das partículas devido aos impactos grão-a-grão ou por impactos grão-placa de aço, resultando em partículas com boa equidimensionabilidade.

O fato analisado pelo pesquisador tinha relação a um elevado teor de finos no agregado miúdo, na faixa de 12,5% a 18,5%. Portanto, as misturas exigiram maiores consumos de cimento, devido à quantidade de água necessária para garantir uma trabalhabilidade exigida para o lançamento.

A empresa Pedra Sul Mineração Ltda., instalada na região de Juiz de Fora – MG, há alguns anos, vem desenvolvendo, em conjunto com a Universidade Federal de Juiz de Fora, estudos visando aprimorar os conhecimentos da produção da areia de britagem para o uso em substituição de areia natural em concretos convencionais. Por meio desses avanços e dos novos conhecimentos, conseguiu obter melhorias significativas nos seguintes fatores (BASTOS, P. K. X. et al., 2005)

- a) Evolução do processo de produção a seco, dada à indisponibilidade de água e de espaço físico para a montagem das bacias de decantação;
- b) Pouca necessidade de investimentos;
- c) Eliminação da produção do pó-de-pedra como produto de venda;
- d) Aumento da capacidade de utilização da planta.

Sampaio (2003) verifica, de forma geral, que há consenso na afirmação que define que a extração de areia natural já se tornou em uma atividade insustentável em países da Europa e nos Estados Unidos. Estes países já adotam a substituição do agregado desde o século passado, que foi intensificada na década de 1970. Afirma ainda que, no Brasil, o uso desse material ainda é muito restrito.

Além da produção nominal da areia artificial, que nos últimos anos vem aumentando gradativamente, outra tendência mencionada por Chaves (2005), que se mostra como sendo uma evolução do sistema, é a preparação de areias com distribuição granulométrica especiais. O processo consiste em produzir a areia de

brita ou um produto da britagem em diversas frações granulométricas, que são recombinadas em novas proporções, de modo a obter a distribuição desejada para uma determinada dosagem.

2.2 ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO MINERALÓGICA

As rochas são materiais resistentes que cobrem grande parte da superfície da Terra, sendo classificados de acordo com sua origem em rochas ígneas, sedimentares ou metamórficas.

2.2.1 Rochas ígneas

Segundo Alves (1999), são formadas pelo resfriamento das lavas vulcânicas. Sua estrutura interna é inteiramente cristalina ou vítrea. Relata, ainda, que essas rochas são avaliadas como sendo excelentes materiais para produção de agregados. No entanto, alerta para o inconveniente de serem quimicamente ativas.

O granito é a mais antiga e a mais comum de todas as rochas ígneas plutônicas, possui coloração variada e é composta dos minerais de quartzo, mica e feldspato. A Figura 2.2 mostra uma imagem geral de um conjunto de rochas ígneas.



Figura 2.2 – Ilustração de rochas ígneas.

2.2.2 Rochas sedimentares

São formadas por depósitos de sedimentos oriundos de rochas preexistentes transportados pelos ventos, pelas águas ou pelo degelo. Sua importância é comprovada pelo fato de serem uma fonte de agregados para concreto (ALVES, 1999).

A água e o vento são os principais agentes de transporte de sedimentos. Quando estes agentes perdem a capacidade de transportar, devido a uma diminuição da velocidade, ocorre a sedimentação (FOSSIL, 2006).

A Figura 2.3 mostra um desenho esquemático do processo de transporte e sedimentação de rochas.

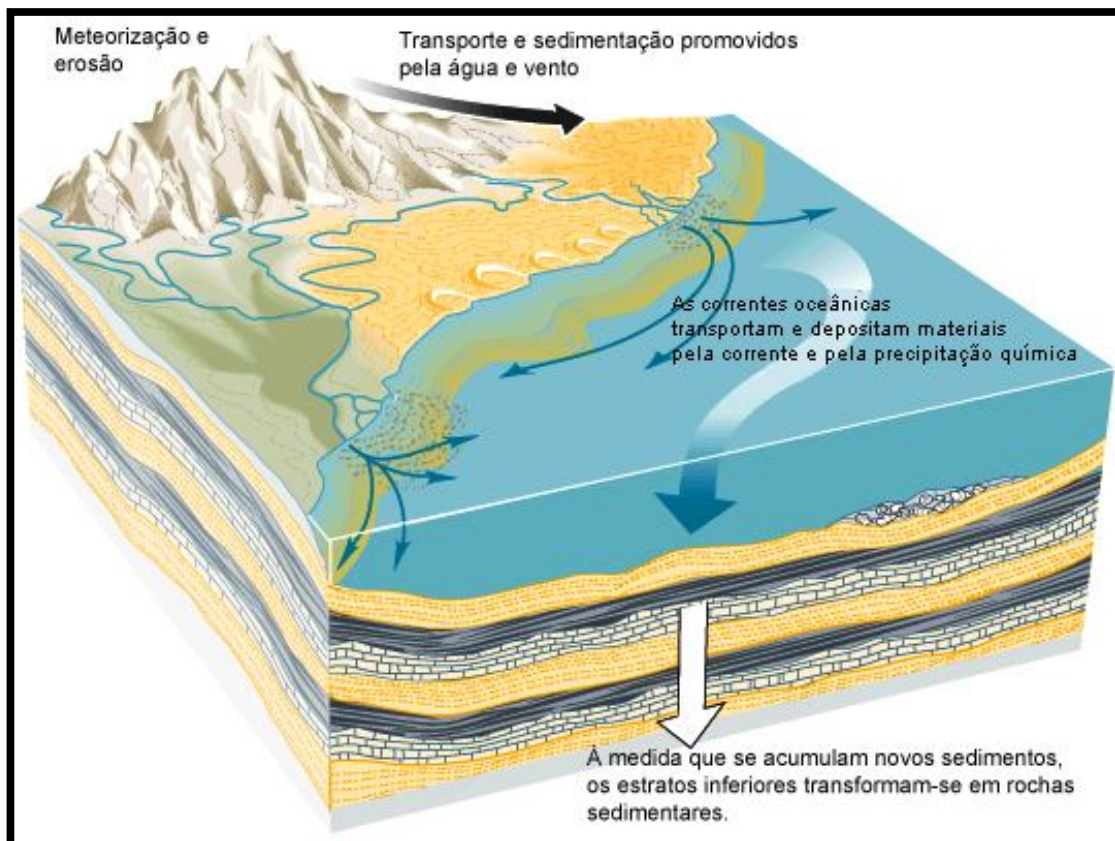


Figura 2.3 – Ilustração do transporte e sedimentação das rochas (FOSSIL, 2006).

A areia é classificada como um solo sedimentar (do tipo alotóctone), isto é, que são transportados. Quando o transporte se dá pela água, recebe o nome de aluvionares. Quando o meio transportador é a gravidade, dá-se o nome de

coluvionares. Quando transportados pelo vento são designados de eólicos (FOSSIL, 2006).

2.2.3 Rochas metamórficas

Segundo Andrade (2006), são os produto da transformação de qualquer tipo de rocha, quando esta é levada a um ambiente onde as condições físicas (pressão e temperatura) são muito distintas daquela onde ela se formou.

Em geologia, chamam-se rochas metamórficas àquelas que são formadas por transformações físicas e químicas sofridas por outras rochas, quando submetidas ao calor e à pressão do interior da Terra, num processo denominado metamorfismo (GEOCITIES, 2006).

As rochas metamórficas mais comuns são os gnaisses, os xistos e os quartzitos. A Figura 2.4 representa as etapas do processo de formação de uma rocha metamórfica.

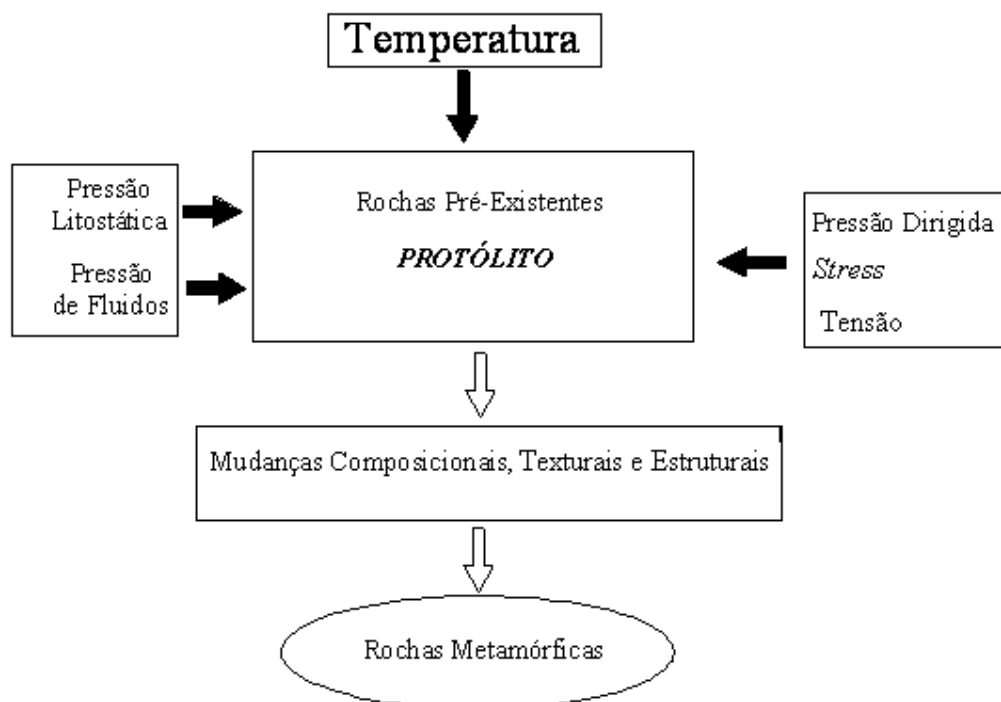


Figura 2.4 – Diagrama ilustrativo do processo de formação da rocha metamórfica (GEOCITIES, 2006).

A Tabela 2.1 estabelece algumas características físicas das principais rochas.

Tabela 2.1 – Características físicas das rochas (ALVES, 1999).

Rocha	Resistência média à compressão (MPa)	Massa específica	Forma do Grão	Porosidade
Granito	188	2,52-2,99	Cúbica.	Muita baixa
Calcário	165	1,74-2,76	Cúbica	Baixa a alta
Arenito	136	1,60-2,68	Lamelar	Baixa a alta
Mármore	120	2,49-2,86	Cúbica	Baixa
Quartzito	260	2,48-2,67	Cúbica	Baixa
Gnaisse	155	2,5-2,87	Cúbica	Baixa
Xisto	175	1,54-3,17	Lamelar	Moderada a alta
Basalto	180	2,21-3,11	Cúbica	Muita Baixa

Obs.: A forma do grão depende do tipo do britador e de sua competência mecânica.

2.3 DEFINIÇÕES

Para melhor entendimento da pesquisa científica ora apresentada, foram relacionadas algumas definições pertinentes ao assunto.

2.3.1 Concreto

O concreto é formado basicamente por uma mistura de cimento Portland, agregados e água. Suas propriedades, tanto no estado plástico como no estado rígido, estão diretamente influenciadas pelas características desses materiais constituintes.

Segundo Bauer (1987), o concreto de cimento Portland, considerado como um sólido, a partir da pega, é um material em constante evolução. Ao longo do tempo o concreto tem se mostrado sensível às modificações ambientais, físicas, químicas e mecânicas, com reações geralmente lentas, que modificam suas características.

2.3.2 Cimento

O cimento pode ser entendido como um material com propriedades aglutinantes e, portanto, com capacidade de unir fragmentos minerais, formando uma massa compacta (ANDRIOLO, 1984).

Cimento é um pó fino com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes que endurece sob ação da água. Depois de endurecido, mesmo que seja novamente submetido à ação da água não agressiva e em repouso, o mesmo não sofrerá desagregação (KATAR; ALMEIDA, 1997).

2.3.3 Agregados

A revisão das normas NBR 7.211 (ABNT, 2005) e NBR 9.935 (ABNT, 2005) define os termos relativos a agregados mais comumente empregados em concreto e argamassa de cimento. Seguem as terminologias adotadas, após a revisão da norma NBR 9.935 (ABNT, 2005) (CUCHIERATO; SBRIGHI; QUITETE, 2005).

2.3.3.1 Terminologias relativas à natureza

Termos relativos à natureza

- a) Agregado: material granular, geralmente inerte, com dimensões e propriedades adequadas para a preparação de argamassa e concreto;
- b) Agregado natural: material pétreo que pode ser utilizado tal e qual encontrado na natureza, bem como pode ser submetido à lavagem, classificação ou britagem;
- c) Agregado artificial: material resultante de processo industrial, para uso como agregado em concreto e argamassa;

[...] é material de granulometria variada, composto essencialmente de sílica e que passou por um processo de beneficiamento... Entre as diversas etapas de produção de areias industriais, a do beneficiamento é, provavelmente, a mais importante. Numa visão geral, qualquer corpo arenoso pode ser transformado em areia industrial, cujas características estarão implicitamente ligadas as do próprio depósito original, mas o que

determinará o seu aproveitamento será, fundamentalmente, a economicidade dos produtos a serem obtidos após o seu beneficiamento (FERREIRA; DAITX, 2003).

- d) Agregado reciclado: material obtido de rejeitos ou subprodutos da produção industrial, mineração ou processo de construção ou demolição da construção civil, incluindo agregados recuperados de concretos frescos por lavagem;
- e) Agregado especial: agregado cujas propriedades podem conferir ao concreto ou à argamassa um desempenho que permite ou auxilia no atendimento de solicitações específicas não usuais;
- f) Areia: agregado miúdo originado por intermédio de processos naturais ou artificiais de desintegração de rochas ou provenientes de outros processos industriais.

2.3.3.2 Terminologias relativas às dimensões dos agregados

Termos relativos às dimensões dos agregados:

- a) Pedrisco: material resultante da britagem da rocha cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 12,5mm e ficam retidos na peneira de malha de 4,75mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003b);
- b) Pedrisco e pedregulho misto: material resultante da britagem de rocha ou não que passa pela peneira com abertura de malha de 12,5mm;
- c) Agregado miúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248 (ABNT, 2003b);
- d) Agregado graúdo: agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003b);

- e) Agregado total: agregado resultante do britamento de rochas, cujo beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos ou por mistura intencional de agregados britados e areia natural ou britada, possibilitando o ajuste da curva granulométrica em função das características do agregado e do concreto;
- f) Agregado misto: agregado natural ou resultante do britamento de rocha, cuja obtenção ou beneficiamento resulta numa distribuição granulométrica constituída por agregados graúdos e miúdos;
- g) Pó-de-pedra: material resultante da britagem de rocha que passa na peneira de malha 6,3mm, em ensaio realizado de acordo com a NBR NM 248 (ABNT, 2003b);
- h) Fíller ou microfino: material granular que passa na peneira com abertura de malha de 150 μ m;
- i) Dimensão máxima característica: grandeza associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura nominal, em milímetros, da malha da peneira da série normal ou intermediária na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou imediatamente inferior a 5% em massa;
- j) Módulo de finura: soma das porcentagens retidas acumuladas em massa de um agregado, nas peneiras da série normal, dividida por 100.

2.3.3.3 Terminologias relativas às substâncias nocivas

Termos relativos às substâncias nocivas aos agregados, segundo Bastos (2002):

- a) Torrões de argila: são assim denominadas todas as partículas contidas no agregado desagregáveis sob pressão dos dedos (torrões friáveis). Sua presença é bastante nociva para a resistência de concretos, sendo, em certos casos, expansivos.

- b) Materiais carbonosos: são partículas de carvão, linhito, madeira, material vegetal sólido, presentes nos agregados. Além de afetarem a resistência, prejudicam o concreto quando submetido à abrasão.
- c) Material pulverulento: em geral, as areias contêm impurezas que interferem no processo de hidratação do cimento. Podem formar películas que impedem ou diminuem a aderência entre o agregado e a pasta de cimento hidratada. As películas de argila, quando presentes na superfície do agregado, interferem na aderência entre o agregado e a pasta de cimento, prejudicando a resistência e a durabilidade do concreto. As partículas finas, não devem estar presentes em grandes quantidades, pois aumentam a área superficial e, conseqüentemente, a demanda de água e o consumo de cimento.

2.3.4 Água

De acordo com Mehta; Monteiro (1994), uma água imprópria para beber não é necessariamente imprópria para o amassamento do concreto.

Do ponto de vista de resistência do concreto, águas ácida, alcalina, salgada, salobra, colorida ou com mau cheiro não devem ser rejeitadas imediatamente. Isto é importante porque as águas recicladas da mineração e várias outras operações industriais podem ser usadas seguramente como água de amassamento para o concreto. O melhor método para determinar a aptidão de uma água de desempenho desconhecido para o preparo do concreto é comparar o tempo de pega do cimento e a resistência de corpos-de-prova de argamassa feitos com a água desconhecida e uma água limpa de referência.

2.3.5 Outros componentes

Em decorrência do avanço tecnológico e de novas exigências atribuídas ao concreto, são adicionados aditivos aos seus materiais básicos (cimento, agregados e água) (Fortes, 1995 apud Bastos, 2002).

As finalidades para os quais eles são utilizados incluem a melhoria da trabalhabilidade, aceleração ou retardo do tempo de pega, controle da resistência e outras.

A norma NBR 11.768 (ABNT, 1992) define aditivo como sendo os produtos que, adicionados em pequenas quantidades a concretos e argamassas de cimento Portland, modificam algumas das suas propriedades, no sentido de melhor adequá-las a determinadas condições.

2.4 TIPOS E PROCESSOS DE OBTENÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS

2.4.1 Agregados naturais

São os materiais como seixos e areias de rio ou de barranco ou cava usados como extraídos, ou beneficiados com lavagem ou classificação.

As areias, especificamente são quase sempre comercializadas na forma como são extraídas, passando, na maioria das vezes, apenas por grelhas fixas que separam as frações mais grossas (cascalho, pelotas e concreções) e eventuais sujeiras (matéria orgânica, folhas e troncos) e por uma simples lavagem para retirada de argila (FRAZÃO et al., 2007).

A areia é usada *in natura* na construção civil, razão pela qual geralmente é lavrada em locais próximos de áreas urbanas. Quanto ao processo produtivo, existem dois métodos principais de extração, de acordo com a situação dos depósitos:

- Lavra por desmonte hidráulico a céu aberto;
- Lavra por dragagem em leitos submersos.

2.4.1.1 Lavra por desmonte hidráulico

O desmonte hidráulico consiste na desagregação da areia utilizando-se jatos d'água de alta pressão. Esses jatos incidem na base dos taludes da cava provocando desmoronamento dos sedimentos ou rochas alteradas.

O desmonte hidráulico é aplicado para extração de areia localizada em depósitos de planícies fluviais ou em encostas de morros contendo depósitos de areia formados a partir da alteração de rochas cristalinas (ALMEIDA, 2002).

A autora reforça ainda que a lavra em encosta de morros costuma se desenvolver nas encostas dos morros intemperizados e, dependendo da forma de avanço, podem inclusive aprofundar-se em cava das quais apresentam-se secas em praticamente toda a sua extensão, com exceção dos locais específicos correspondentes às áreas de transferência de polpa.

A Figura 2.5 mostra um esquema geral de desmonte hidráulico.

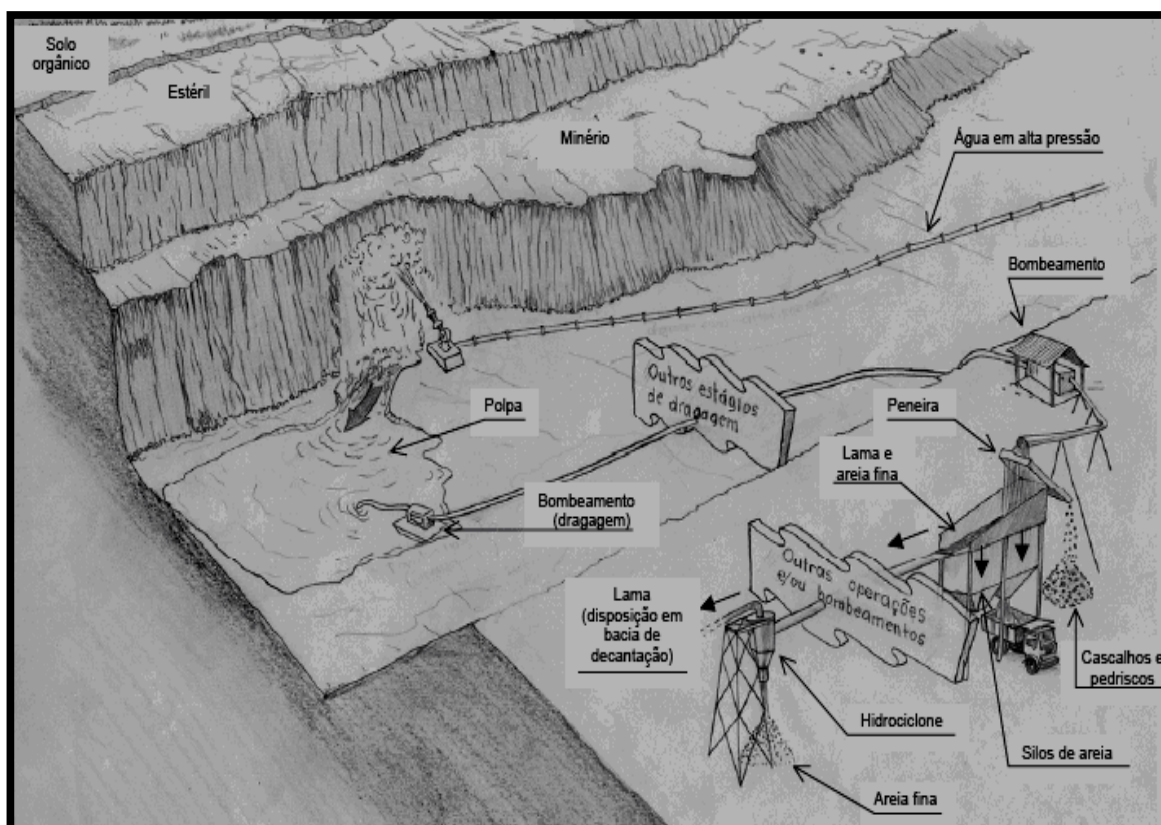


Figura 2.5– Desenho esquemático geral do desmonte hidráulico (IPT 2001).

2.4.1.2 Lavra por dragagem

O termo dragagem é empregado de maneira ampla para qualquer tipo de mineração ou obra civil em que é retirado material de um leito de água. Na dragagem de areia, o material encontra-se em camadas de sedimentos arenosos no fundo de rios, lagoas, represas, cavas submersas etc. Em geral, são depósitos com espessura variável, desde poucos metros, podendo atingir dezenas de metros e conter material não-consolidado,

condição necessária para permitir a utilização do método de dragagem (OLIMPIA, 2002).

A extração em leito de rio, conforme Frazão et al., (2007) consiste na dragagem dos sedimentos ativos existentes nos leitos dos rios, em profundidades não muito elevadas. A dragagem é feita por intermédio de bombas de sucção instaladas sobre barcaças ou flutuadores. As bombas de sucção são acopladas às tubulações que efetuam o transporte da areia na forma de polpa até os silos.

A condição de lavra por dragagem é ilustrada na Figura 2.6.

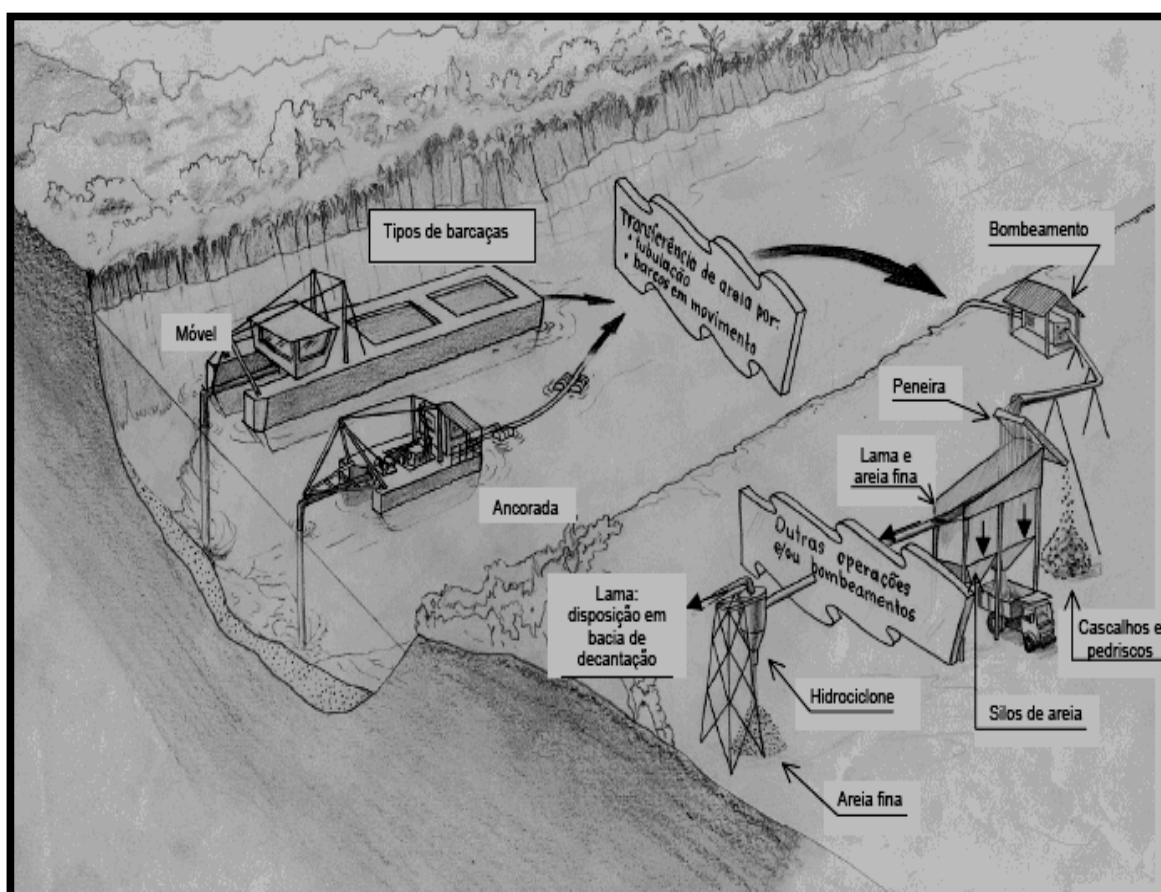


Figura 2.6 – Esquema geral da lavra por dragagem (IPT, 2001).

2.4.1.3 Beneficiamento dos agregados naturais

O beneficiamento da areia para construção é um processo executado concomitantemente à lavra, cujas fases são: lavagem, peneiramento, classificação e secagem (FRAZÃO, 2002).

Na lavra em cava seca, a lavagem é mais intensa e feita mediante o jateamento de água na areia armazenada nos tanques de decantação, proveniente da caixa de acumulação. A classificação dos produtos é iniciada por um peneiramento em grelhas ou, em casos mais simples, em peneiras estáticas. A secagem ocorre nos silos, também conhecidos por caixas de decantação, após separação por granulometria adequada. A fração sobrenadante (*overflow*²) é encaminhada para a bacia de decantação (FRAZÃO, 2002).

As possibilidades de beneficiamento para o método de lavra por dragagem são similares às da lavra em cava seca.

2.4.1.4 Diagnóstico da produção de areia natural no Estado de Goiás

Em Goiás, seu mercado é concentrado do eixo Goiânia–Brasília, com maior importância para Brasília, pois possui um crescimento demográfico excepcional, o que impulsiona o mercado da construção civil. No entanto, nos últimos anos o cenário goiano de unidades habitacionais deu um salto considerável. Para exemplificar, no período de Julho de 2007 foi contabilizado em construção mais de 130 edifícios de multipavimentos somente no perímetro urbano na capital goiana.

As regiões de exploração de areia natural no Estado ficam distantes deste eixo, o que onera as construções que a utilizam.

A grande produção de areia no Estado fica por conta das areias de aluviões, com cerca de 85% do total. É produzida principalmente nos Rios Paranaíba, Paranoá, Corumbá, Piracanjuba, dentre outros. As areias de quartzito, que representam menos de 5% da produção estadual, são provenientes das jazidas de Cristalina, Formosa e Nazário.

2.4.2 Agregados artificiais

São as pedras britadas, as areias artificiais, o pó-de-pedra, ou seja materiais que conservam sua natureza, após beneficiamento e/ou britamento (GIAMMUSSO, 1992).

² Overflow – Expressão em inglês que denomina um material flutuando sob nível d'água. É uma expressão comumente usada pelos profissionais desta área.

De acordo com Alves (1999), agregados artificiais são aqueles resultantes de qualquer processo industrial, como, por exemplo, a argila expandida.

2.4.2.1 Produção

O caminho trilhado pelo homem para fazer a areia de britagem foi o de desenvolver máquinas cujo produto se aproximasse, o máximo possível, daquele apresentado pela natureza. Assim, a primeira máquina foi projetada para arredondar o agregado. Parecida com os britadores de cone, que comprimem metal contra bloco de rocha, esta máquina comprime a massa de partículas, com grande quantidade de grãos, sempre em circulação, e, assim, vão sendo aplainados os cantos e se quebrando as partículas em forma de chapa ou agulha.

Depois, e com melhores resultados, surgiram as máquinas do tipo “VSI” (*Vertical Impact Shaft*), cujo modo de atuar deixa as partículas mais cúbicas, mais arredondadas. O segundo passo para imitar a natureza foi desenvolver máquinas que fizessem o mesmo trabalho da corrente d’água de um rio, que mantém e transporta em suspensão as partículas prejudiciais aos concretos. Vários projetos foram criados, resultando em diversos modelos de equipamentos, que atuam pelo mundo todo.

Esses equipamentos têm a função de deixar o produto dentro das normas técnicas, no que se refere ao teor de pulverulentos, que são as partículas menores de que $75\mu\text{m}$.

A Figura 2.7 mostra um esquema geral da seqüência do beneficiamento dos agregados miúdo de britagem.

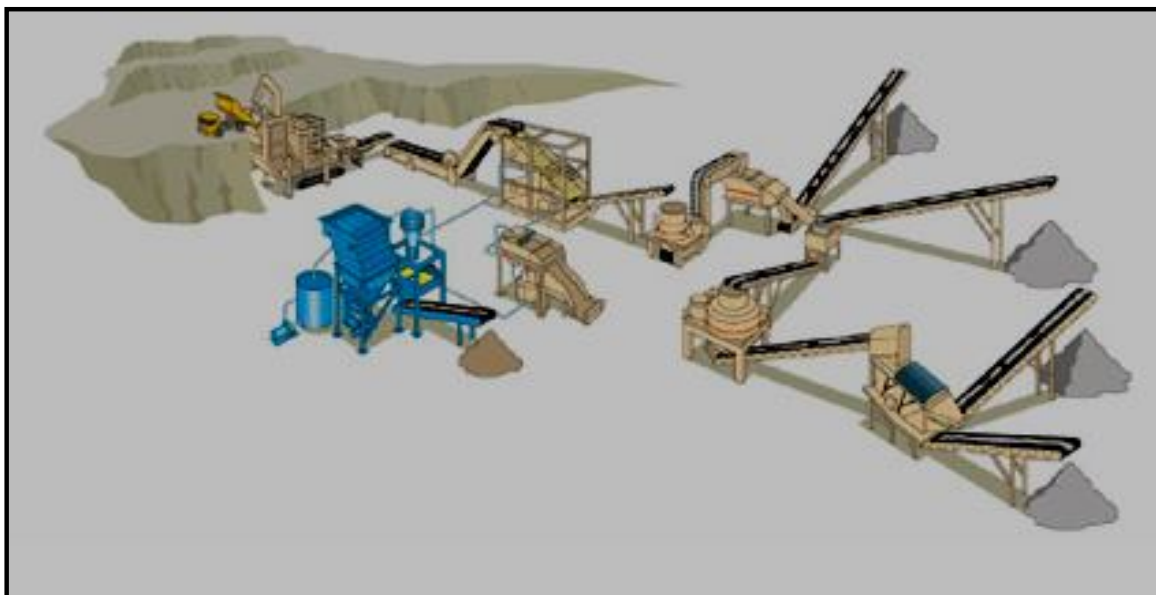


Figura 2.7 – Esquema geral do beneficiamento de agregados em pedreiras (METSO, 2007)

A Figura 2.8 representa um fluxograma de processos de uma unidade piloto, na qual o material resultante pode ser usado para concreto (areia britada) e argamassa (fíller), devido à junção de tecnologias diferentes, conforme descrições que seguem.

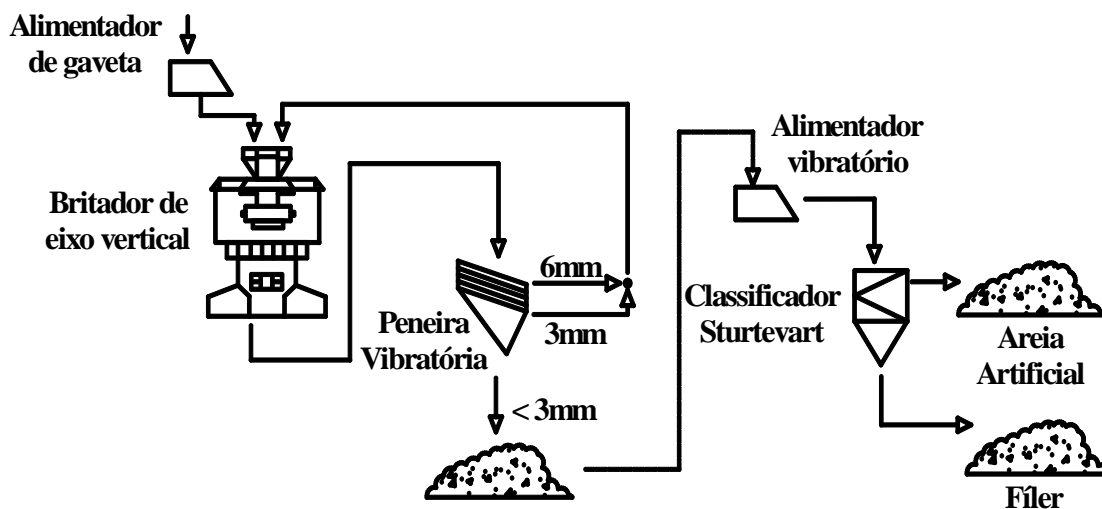


Figura 2.8 – Diagrama esquemático do circuito geral de britagem (ALMEIDA; SILVA, 2005).

O objetivo principal da tecnologia desenvolvida para as pedreiras era obter um material que fosse adequado ao uso na construção civil, por intermédio do circuito de britagem, de modo que o mesmo deveria ser submetido a alguns testes de caracterização tecnológica para sua validação.

Os equipamentos desenvolvidos e atualmente inseridos no processo de beneficiamento da areia de britagem são (CHAVES, 2005):

- Britador VSI (*Vertical Impact Shaft*): faz com que haja o impacto de rocha contra rocha. É um impactador de eixo vertical que se diferencia dos convencionais pela utilização de acúmulos de rocha dentro da máquina para minimizar o desgaste metálico. Diz Almeida; Silva (2005) que “este britador é o mais adequado para a obtenção de areia artificial.
- Classificador *Sturtevant*, cujo processo se dá da seguinte maneira: o material passante no deque é depositado em uma pilha para posterior classificação a seco, realizada por um classificador *Sturtevant*, com capacidade nominal de 200kg/h. Sua alimentação é realizada com o auxílio de um alimentador vibratório. Os produtos oriundos do classificador são a areia de britagem (produto grosso) para concreto e o filler (produto fino) para argamassa.

A produção de areia de brita somente pôde ser obtida após o uso de novos equipamentos que conseguiram produzir materiais que atendiam às especificações desejadas.

Até então, a areia produzida distanciava-se cada vez mais das necessidades das concreteiras, à medida que o concreto bombeado passou a ser predominante, sobretudo devido ao produto que era disponibilizado pelas pedreiras, que tinham a predominância de partículas lamelares e carência de frações finas.

Com a introdução dos novos britadores, algumas vantagens foram obtidas, como, por exemplos, a melhor eficiência energética, melhor graduação da areia e maior controle sobre a geração de micro-finos (OHASHI, 2006).

A Figura 2.9 mostra um britador em processo de beneficiamento de agregados miúdos.



Figura 2.9 – Britador em processo de produção – Britador de eixo vertical

2.4.2.2 Lavra e beneficiamento da areia de brita

A lavra de brita é feita a céu aberto, em meia encosta, e as operações se iniciam com a execução do plano de fogo para desmonte primário (perfuração + detonação por explosivos), que fragmenta cada trecho das bancadas da frente de lavra.

A Figura 2.10 mostra uma jazida de bancadas usada para extração de agregados.



Figura 2.10 – Bancada para extração de agregados (HOLCIM, 2007).

Caso o material não esteja com as dimensões adequadas para a entrada na planta de beneficiamento - fragmentos maiores que 1m^3 - efetua-se o desmonte secundário, por fogacho, rompedores hidráulicos ou *drop-ball*

A fase do desmonte secundário é mostrada na Figura 2.11.



Figura 2.11 – Desmonte secundário por rompedor secundário (CUCHIERATO, 2000).

Em seguida, efetua-se o carregamento dos fragmentos rochosos com as pá-carregadeiras em caminhões, que depositam o material em locais próximos às instalações de britagem, conhecidos como praças de alimentação, para armazenagem temporária e alimentação dos britadores. A Figura 2.12 mostra uma representação da praça de alimentação.



a)



b)

Figura 2.12 – Praça de alimentação – a) Área de estocagem. b) Alimentação de pedregulhos, iniciando o processo de britagem.

As operações de beneficiamento são puramente mecânicas e consistem em britagem primária, secundária e rebitagem em uma ou duas etapas (britagem terciária e quaternária), que podem ser realizadas a seco ou a úmido. O britador primário, de mandíbulas, faz a fragmentação dos matacões. Nesse ponto, pode ou não ocorrer lavagem da pedra para a diminuição de material pulverulento durante a cominuição e a classificação da rocha.

A Figura 2.13 ilustra a operação dos britadores de eixo vertical.



Figura 2.13 – Britadores da planta de britagem - Britagran.

No caso de ocorrer lavagem, as partículas menores são estritamente produzidas nas fases seguintes e são isentas de quaisquer impurezas anteriores, como capeamento, matéria orgânica, dentre outras. Quando não há lavagem, é comum a separação de bica corrida após a primeira britagem, onde o material é enviado para ser comercializado.

Após a fragmentação no britador primário, há a formação de pilhas-pulmão, que alimentam os britadores secundários. O britador secundário pode ser de mandíbulas ou do tipo cônico.

Os britadores terciários e quaternários são cônicos ou de impacto e são atualmente usados na tentativa de reduzir a lamelalidade do agregado e a produção de excesso de fino. O transporte de brita entre os britadores e ou rebitadores é feito, normalmente, por um sistema de correias transportadoras. A Figura 2.14 mostra um sistema de correias lançando areia de brita em pilhas de armazenamento.

Para diminuir o pó em suspensão provocado pela atividade de britagem, algumas pedreiras utilizam sistemas de aspersores de água instalados nas bocas dos britadores e nas correias transportadoras.



Figura 2.14 – Pilha de areia de brita produzida por via seca.

2.4.2.3 Diagnóstico da produção de areia de britagem no Estado de Goiás

No eixo Goiânia-Brasília, o mercado de agregados constitui-se no terceiro mercado consumidor do País. Somente em Goiânia, com uma população de 1,4 milhão de habitantes, são consumidos atualmente cerca de 100.000 m³ de pedra britada por mês. Da produção de pedra britada resultam, aproximadamente, 20% da rocha desmontada em areia britada. Portanto, verifica-se que existe uma importante produção de areia britada, capaz de atender a crescente demanda por agregados miúdos (AREIA & BRITA, 2004).

A Figura 2.15 apresenta a evolução de produção de brita no Estado de Goiás e a Tabela 2.2 demonstra a distribuição regional e setorial da quantidade consumida de rocha britada no cenário brasileiro.

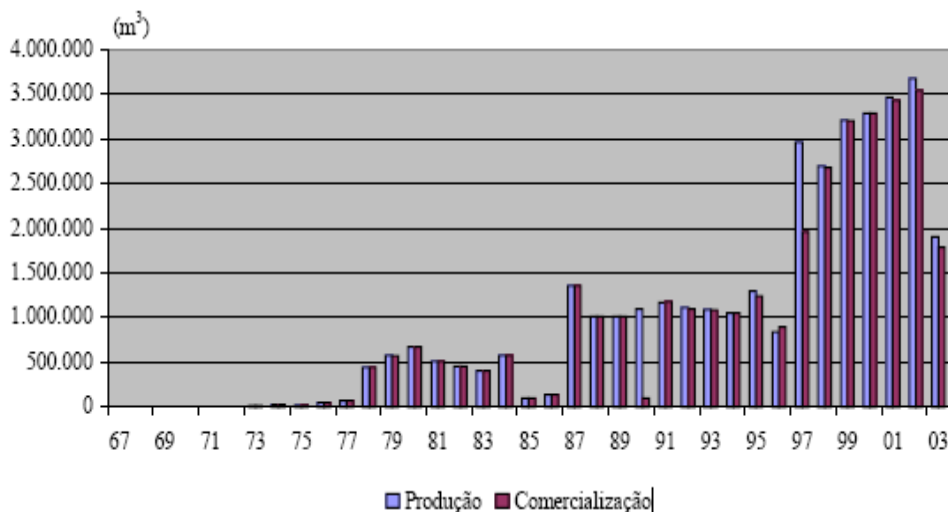


Figura 2.15 – A evolução da produção e comercialização de britas em Goiás (DNPM, 2003).

Segundo o último anuário mineral brasileiro divulgado, a produção beneficiada consumida somente no estado de Goiás foi da ordem de 4.077.608 m³, o que representa um expressivo aumento se comparado com os dados da Figura 2.15 acima representada, oficializando, portanto, sinais evidentes de uma recuperação do setor (DNPM, 2006).

Tabela 2.2 – Distribuição Regional e Setorial da Quantidade Consumida de rochas britadas – Produto beneficiado (DNPM, 2006).

DISTRIBUIÇÃO REGIONAL	SETORES DE CONSUMO / USO
SP (43.29%), MG (8.17%), RJ (6.93%), SC (6.27%), RS (5.67%), ES (3.78%), PR (3.67%), BA (2.97%), GO (2.15%), PE (1.11%), CE (1.02%), MS (1.01%), MA (0.65%), PB (0.30%), AL (0.20%), AC (0.16%), MT (0.16%), PI (0.16%), RO(0.12%),SE (0.12%), TO (0.09%), RN (0.07%), PA (0.05%), RR (0.02%), Outras UFs(0.00%), Mercado Externo (0.01%), Não Informado (11.85%).	Construção Civil (59.16%), Construção/Manutenção de Estradas (9.11%), Pavimentação Asfáltica (3.70%), Artefatos de Cimento (3.37%), Siderurgia (1.85%), Comércio de Materiais de Construção (1.22%), Aterro (0.64%), Cal (0.48%), Lastro (Ferrovias) (0.39%), Extração e Beneficiamento de Minerais (0.35%),Corretivo de Solos (0.31%), Papel e Celulose (0.17%), Aparelhamento de Pedras - para Construção (0.17%), Pisos e Revestimentos (0.15%), Aterro Sanitário (0.14%), Enrocamentos(0.13%), Cerâmica Branca (0.12%), Artefatos de Concreto (0.09%), Cimento (0.08%), Concreto para Construção (0.08%),Tratamento de Água/Esgoto (0.03%), Argamassa para Construção (0.02%), Não Informado (18.24%).

2.4.3 Agregados reciclados de RCD

Agregados reciclados são os materiais resultantes do processo de reciclagem dos resíduos da construção e demolição. Trata-se de um produto que pode ser utilizado no mesmo local onde foi gerado, ou seja, na construção civil (RILEM; HENDRIKS, 1994, 1998).

Os resíduos de construção, demolição e reforma (RCD) são definidos pela resolução Conama nº 307 (2002), em seu artigo 3º, item I, como os resíduos de Classe A, reutilizáveis ou recicláveis como agregados para concretos e argamassas, tais como os oriundos de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação, solos provenientes de terraplanagem e os oriundos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações. São eles os componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento e demais materiais cerâmicos) e as argamassas e concretos provenientes de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obra.

As Figuras 2.16 e 2.17 ilustram o aspecto geral de agregados reciclados.



Figura 2.16 - Aspecto do agregado miúdo reciclado (ZORDAN, 1997).



Figura 2.17 – Aspecto do agregado graúdo reciclado (ZORDAN, 1997).

2.4.3.1 Beneficiamento

A reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD) vem sendo feita desde a Antigüidade. Após a Segunda Guerra Mundial esta prática foi muito utilizada na reconstrução da Europa (JOHN; AGOPYAN, 2000).

Os resíduos de construção e demolição são compostos de vários materiais e alguns deles são indesejados na composição dos agregados para concreto, como madeira, plástico e materiais ferrosos. No processo de beneficiamento dos resíduos, é feita a retirada desses materiais não desejados, porém não de forma qualitativa.

Segundo John; Agopyan (2000), o processo de beneficiamento dos resíduos de construção e demolição compreende as etapas de classificação, separando as fases indesejáveis nos agregados, britagem e, normalmente, o peneiramento.

A Tabela 2.2 mostra os principais equipamentos de britagem existentes e utilizados no beneficiamento de RCD (LEVY, 1997).

Tabela 2.3 – Equipamentos de britagem mais utilizados no beneficiamento de RCD (LEVY, 1997).

Tipo de Britador	Características
De Impacto	Equipamento robusto. Possui unidades primárias e secundárias, alta redução das dimensões dos resíduos. Gera grãos de forma cúbica com boas características mecânicas. Baixa emissão de ruídos. Distribuição granulométrica boa para obras de pavimentação
De Mandíbula	Não reduzem muito o tamanho das partículas. Portanto, são mais utilizados na britagem primária. Distribuição granulométrica adequada para uso em concretos. Alta emissão de ruídos, menor produtividade que os britadores de impacto
Moinhos de Martelo	Produzem material de granulometria fina, são pouco utilizados
Cones de Britagem	Britagem apenas de material já previamente britado. Portanto, utilizados para britagem secundária

2.5 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Diversos são os fatores que interferem na produção dos agregados de emprego imediato na construção civil. Devido à disponibilidade de rocha dura, que por sua vez possui baixo custo na produção do agregado, na maioria das regiões metropolitanas, as unidades produtoras de brita tendem a se localizar o mais próximo possível do mercado consumidor, o que diminui o custo do insumo em função do valor do frete.

No entanto, não existem, atualmente, políticas eficientes quanto ao uso e à ocupação do solo, podendo-se verificar, freqüentemente, conflitos de localização, à medida que ocorre o “sufocamento” das unidades produtoras, pelo avanço desordenado da urbanização, conforme ilustra a Figura 1.1. Tendo em vista tal crescimento das cidades e ao elevado consumo desses materiais no desenvolvimento das mesmas, as unidades produtoras vêm sofrendo com este problema (AREIA & BRITA, 2006).

Devido ao quadro desfavorável, está havendo o surgimento de Planos Diretores de Mineração em Áreas Metropolitanas, cujo objetivo principal é buscar a adoção de uma metodologia específica de planejamento estratégico participativo que assegure os pré-requisitos para o este desenvolvimento sustentável, cita-se como exemplo e fruto desta iniciativa a Agenda 21 (AREIA & BRITA, 2006).

De encontro a estes anseios, Goiânia está entre as capitais que estão adotando tais medidas.

Em relação ao alto consumo de agregados na construção civil, uma importante alteração quanto a sua utilização vem ocorrendo, já que possuem cota significativa em relação aos problemas ambientais, quando de sua extração nas regiões metropolitanas. As principais tendências são a reciclagem de entulho de construção e demolição (RCD) e a utilização de areia de brita (areia artificial) em substituição à areia natural.

Mesmo não sendo o enfoque deste trabalho, cabe aqui salientar que o desenvolvimento sustentável não é a simples preservação do meio ambiente e sim o desenvolvimento econômico e social objetivando o progresso dos povos, por meio de atividades que possam garantir a perpetuação da produção, neste caso, a produção de minerais. Para tal, alguns estudiosos afirmam que certas ações devem ser implantadas, como;

- a) políticas de preservação mineral aliada à ambiental, com o foco no desenvolvimento sustentável;
- b) preservação das reservas e extrações existentes mais próximas dos centros consumidores;
- c) zoneamento municipal ou estadual que contemple as reservas com potencial;
- d) melhoria de transporte seja ele rodoviário ou ferroviário;

- e) aumento da qualidade organizacional e tecnológica da atividade, melhorando principalmente o relacionamento com a comunidade.

Porém, recentemente, foi criado, efetivamente, pelo Ministério de Minas e Energia, um grupo de trabalho para a elaboração do Plano Nacional de Aproveitamento de Agregados, que, se bem dirigido e implantado, pode trazer grandes benefícios à sociedade, garantindo e preservando o abastecimento desse mineral fundamental para o setor da construção civil.

Além disso, num futuro próximo, todas as nações terão de considerar a economia indireta que representa a utilização adequada dos resíduos industriais, reduzindo a poluição e preservando as fontes de recursos naturais, ao invés de lançá-los irresponsavelmente no meio ambiente.

2.5.1 Impactos ambientais referentes à extração de areia natural e da produção da areia britada

2.5.1.1 Impactos negativos da extração da areia natural

As atividades mineradoras representam riscos ambientais, caso medidas mitigadoras não sejam adotadas. Os próprios minerais correm riscos pela sua condição de serem não-renováveis e, portanto, passíveis de se esgotarem dentro de alguns anos. A extração de areia interfere direta ou indiretamente sobre as características ambientais de uma área explorada, como a remoção da cobertura vegetal, escoamento superficial, solos e a própria ocupação humana. Devido às escavações realizadas, há uma remoção da cobertura vegetal e a desagregação dos solos, com conseqüentes danos ao meio físico, tais como inundações, assoreamento, processos erosivos, desmatamentos, poluição hídrica, sonora e visual (MEDEIROS et al., 2002).

Os autores dizem ainda, que a poluição hídrica, entendida como os processos que alteram as condições da qualidade da água, manifestadas na área pelo carregamento de resíduos e minerais que permanecem em suspensão, altera a cor das águas. A poluição sonora, junto à visual, é de efeito imediato, proporcionado pelo barulho das máquinas e tráfego constante, que, além da irritabilidade, pode vir

a causar problemas futuros de saúde, como perda auditiva e danos no sistema nervoso dos trabalhadores do setor.

A exploração dos recursos naturais de forma empresarial é cada vez mais intensa, a fim de atender às necessidades de matéria-prima, principalmente às da construção civil. No entanto, essa mineração tem ficado muitas vezes à margem das autoridades responsáveis, aparentemente demonstrando pouca preocupação na importância da amenização dos problemas causados pela atividade de mineração ao meio ambiente (MEDEIROS et al., 2002).

Dentre os vários aspectos negativos associados à extração do agregado miúdo, segundo Lelles, L. C. et al. (2005), são verificados os seguintes pontos:

- a) Depreciação da qualidade do ar, devido ao lançamento de gases provenientes dos motores e de partículas sólidas, em virtude da utilização de maquinarias em diferentes operações. Ocorre em lavra por dragagem e por desmonte hidráulico;
- b) Aumento da concentração de partículas em suspensão (turbidez) no curso d'água, em virtude do surgimento de fenômenos erosivos, decorrentes da exposição do solo às intempéries. Ocorre em lavra por dragagem;
- c) Contaminação do curso d'água causada pelos resíduos (óleos, graxas, lubrificantes) provenientes de maquinarias utilizadas nos diferentes tipos de operações. Ocorre em lavra por dragagem;
- d) Aumento da concentração de partículas em suspensão (turbidez) no curso d'água, devido ao atrito do material mineral com o corpo líquido, durante o processo de extração de areia. Ocorre em lavra por dragagem;
- e) Assoreamento dos rios. Ocorre em lavra por dragagem;
- f) Além de provocar o assoreamento dos rios, as atividades dos areiais são responsáveis pela suspensão de argila, deixando a água turva e dificultando o tratamento nas estações. Ocorre em lavra por dragagem;
- g) As escavações produzem lagos propício ao surgimento do mosquito da dengue. Ocorre em lavra por desmonte hidráulico;

- h) Depreciação das qualidades física, química e biológica da água superficial, pelo lançamento de efluentes advindos do esgoto sanitário dos areiais. Ocorre em lavra por dragagem e por desmante hidráulico;
- i) Alteração da calha original dos cursos d'água, em virtude do uso de equipamentos de extração de areia nos leitos dos rios. Ocorre em lavra por dragagem;
- j) Possibilidade de interferência na velocidade e direção do curso d'água, tendo em vista a eliminação de bancos de sedimentos presentes nos leitos dos rios. Ocorre em lavra por dragagem; e
- k) Comprometimento da vegetação original e do ecossistema ciliar. Ocorre em lavra por dragagem e por desmante hidráulico.

Referente aos impactos ambientais provados por desmante hidráulico, Bertoldo (2002) reforça que ocorre o impedimento do uso do solo para o desenvolvimento da pecuária, cuja atividade é comum nessas áreas, uma vez que, após a extração, formam-se açudes devido às escavações feitas para extração, que ficam cheias e abandonadas, pois é menos oneroso deixar assim que fazer a recomposição da topografia exigida pelos órgãos de fiscalização.

A Figura 2.18 mostra um rio do interior de Santa Catarina com sua vegetação ciliar comprometida.

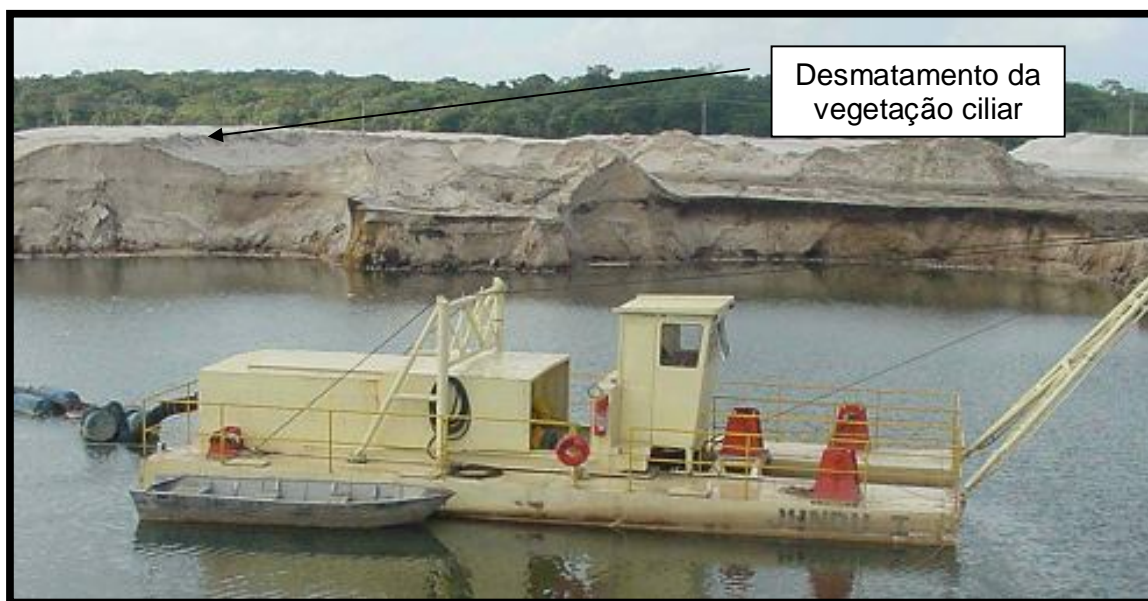


Figura 2.18 – Assoreamento provocado pela extração mineral (Barra do sul – SC).

2.5.1.2 Areia de britagem e o seu impacto ambiental

A quantidade de areia consumida atualmente na construção civil brasileira é de 320 milhões de metros cúbicos, volume que daria para construir 7.100 estádios como o Maracanã. Quase todo esse material é retirado nas baixadas e dos leitos de rios.

O impacto ambiental pode ser amenizado somente com a disponibilidade no mercado de novos equipamentos de britagem, que já conseguem produzir areia de britagem com especificações adequadas, podendo-se então, promover a redução da extração natural.

A princípio, os resíduos compreendem todo material que atualmente não tem aproveitamento econômico, com suas especificações variando de acordo com o bem mineral produzido, tipo de depósito mineral, método de lavra e porte da mineração. Algumas empresas produtoras de brita já operam, porém, com aproveitamento integral do material lavrado para usos menos nobres dos produtos finais do processo. Antevendo a possibilidade de um melhor aproveitamento econômico da produção, passou-se a dar atenção à fração abaixo de 4,8mm produzida pelas minerações de brita, com beneficiamento a seco ou a úmido, que compreende tanto o material descartado como o rejeito (FRAZÃO, 2002).

Nas pedreiras, o volume de material descartado na lavra é relativamente pequeno, representado basicamente por capeamento e rochas alteradas, que é colocado em “botas-fora”. A quantidade dos materiais originados de rochas graníticas e gnáissicas são subaproveitadas pelas indústrias de aplicação, porém, varia de caso a caso. Nas pedreiras com beneficiamento a seco, a produção de pó-de-pedra chega, em alguns casos, a 40 % do total da produção de brita. Para as pedreiras com beneficiamento a úmido, a quantidade de finos descartados não passa de 10 %.

Entretanto, de modo geral, a estocagem ou armazenamento do pó-de-pedra é um grande problema para a maioria das pedreiras, pois as pilhas de estocagem expostas à ação dos ventos podem liberar materiais particulados, que provocam poluição do ar, ou, sob a ação das chuvas, podem ocorrer carreamento dos finos para a rede de drenagem, provocando o entupimento das tubulações e o assoreamento. Esses fatores são, ainda, agravados com a proximidade das

comunidades que vêm se instalando nos arredores da mineração. A porcentagem de finos gerados é da ordem de 10 a 15% da produção total de brita e é variável em função dos equipamentos de britagem e da natureza da rocha.

É importante destacar que os impactos ambientais associados à produção da areia de brita são potencializados, sobretudo devido ao grande teor de finos provenientes das etapas de cominuição de rocha. Sendo assim, boa parte da responsabilidade referente aos problemas do meio ambiente tem relação direta a este subproduto.

Dessa forma, o aproveitamento tecnológico desse material pode contribuir para a diminuição do agregado disposto em pilhas de estoque e de conseqüentes agravantes ao meio ambiente. Mas, para isso, deverá fomentar o aumento da economia dos empreendimentos minerários, mostrando para os consumidores desses bens que essa é uma boa alternativa e com características para usos potenciais.

2	AGREGADOS MIÚDOS PARA CONCRETOS	32
2.1	HISTÓRICO	32
2.2	ORIGEM E CLASSIFICAÇÃO MINERALÓGICA.....	36
2.2.1	Rochas ígneas.....	36
2.2.2	Rochas sedimentares.....	37
2.2.3	Rochas metamórficas.....	38
2.3	DEFINIÇÕES	39
2.3.1	Concreto	39
2.3.2	Cimento.....	40
2.3.3	Agregados	40
2.3.3.1	Terminologias relativas à natureza	40
2.3.3.2	Terminologias relativas a dimensões dos agregados	41
2.3.3.3	Terminologia relativos às substâncias nocivas	42
2.3.4	Água.....	43
2.3.5	Outros componentes.....	43
2.4	TIPOS E PROCESSOS DE OBTENÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS.....	44
2.4.1	Agregados naturais	44
2.4.1.1	Lavra por desmonte hidráulico.....	44
2.4.1.2	Lavra por dragagem.....	45
2.4.1.3	Beneficiamento dos agregados naturais.....	46
2.4.1.4	Diagnóstico da produção de areia natural no Estado de Goiás	47
2.4.2	Agregados artificiais	47
2.4.2.1	Produção.....	48
2.4.2.2	Lavra e beneficiamento da areia de brita.....	51
2.4.2.3	Diagnóstico da produção de areia de britagemno Estado de Goiás	55
2.4.3	Agregados reciclados de RCD.....	57
2.4.3.1	Beneficiamento	57
2.5	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	58
2.5.1	Impactos ambientais referentes à extração de areia natural e da produção da areia artificial	60
2.5.1.1	Impactos negativos da extração da areia natural.....	60
2.5.1.2	Areia de britagem e o seu impacto ambiental	63

Figura 2.1 – Usina hidrelétrica de Itaipu.....	33
Figura 2.2 – Ilustração de rochas ígneas.	36
Figura 2.3 – Ilustração do transporte e sedimentação das rochas (FOSSIL, 2006)..	37
Figura 2.4 – Diagrama ilustrativo do processo de formação da rocha metamórfica (GEOCITIES, 2006).	38
Figura 2.5– Desenho esquemático geral do desmonte hidráulico (IPT 2001).....	45
Figura 2.6 – Esquema geral da lavra por dragagem (RIBEIRO, 2001).	46
Figura 2.7 – Esquema geral do beneficiamento de agregados em pedreiras (METSO, 2007).....	49
Figura 2.8 – Diagrama esquemático do circuito geral de britagem (ALMEIDA; SILVA, 2005).....	49
Figura 2.9 – Britador em processo de produção.	51
Figura 2.10 – Bancada para extração de agregados (HOLCIM, 2007).	52
Figura 2.11 – Desmonte secundário por rompedor secundário (CUCHIERATO, 2000).....	52
Figura 2.12 – Praça de alimentação (CUCHIERATO, 2000).....	53
Figura 2.13 – Britadores da planta de britagem da Britagran.....	54
Figura 2.14 – Pilha de areia de brita produzida por via seca.....	55
Figura 2.15 – A evolução da produção e comercialização de britas em Goiás (DNPM, 2003).....	56
Figura 2.16 - Aspecto do agregado miúdo reciclado (ZORDAN, 1997).....	57
Figura 2.17 – Aspecto do agregado graúdo reciclado (ZORDAN, 1997).	57
Figura 2.18 – Assoreamento provocado pela extração mineral (Barra do sul–SC)...	62

Tabela 2.1 – Características físicas das rochas (ALVES, 1999).	39
Tabela 2.2 – Distribuição Regional e Setorial da Quantidade Consumida de rochas britadas – Produto beneficiado (DNPM, 2006).....	56
Tabela 2.3 – Equipamentos de britagem mais utilizados no beneficiamento de RCD (LEVY, 1997).....	58

3

INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS MIÚDOS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO

Os agregados, segundo Frazão et al., (2007), são usados no concreto tanto por razões técnicas quanto econômicas e suas funções no concreto são:

- contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes e à ações de intempéries;
- reduzir as variações de volume;
- reduzir custos do concreto.

No entanto, os agregados, para exercerem suas funções adequadamente no concreto, devem apresentar no geral, as seguintes características:

- ter uma boa distribuição granulométrica para permitir uma boa compactação do concreto;
- forma de partículas mais equidimensional possível;
- adequada resistência mecânica;
- adequada composição mineralógica;
- ausência de impurezas que possam diminuir a durabilidade do concreto;
- propriedades térmicas dentro dos limites, de forma que não causem, durante o endurecimento da mistura, anisotropias físicas nefastas.

A NBR 7.211 (ABNT, 2005), estabelece as características exigíveis para a recepção e a produção de agregados miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Esta norma define que o agregado miúdo como sendo a areia de origem natural ou resultante do britamento de rochas estáveis, podendo também ser uma mistura de ambas, cujos grãos passam pela peneira ABNT de 4,8mm e ficam retidos na peneira de malha

0,075mm. No entanto, a areia de britagem possui considerável material pulverulento passante na peneira # 200, que é por vezes classificado como sendo uma substância deletéria para o concreto, quando em quantidades superiores às especificadas pela norma. Para concreto submetido a desgaste superficial, o limite especificado era de 3%. Na norma revisada, este percentual passou para 10%. Para o concreto protegido do desgaste superficial o limite especificado era de 5%, enquanto que na norma revisada, o percentual passou a ser 12%.

Por outro lado, estudos mostram que areias de britagem que apresentam porcentagem de material pulverulento variando de 7% a 20%, dependendo da litologia, podem ser utilizados, pois colaboram na melhoria da aglomeração das partículas maiores presentes no concreto.

A utilização da areia de britagem como agregado miúdo no concreto, quer por motivos econômicos, quer por aspectos relacionados à durabilidade, vem sendo analisado e tem despertado grande interesse, não só pelos aspectos ambientais, mas também pelos aspectos técnicos e econômicos. Assim, o interesse por parte das pedreiras vem aumentando, pois poderão comercializar um produto oriundo do rejeito da produção de brita que tinha pouco valor, que causavam transtornos no que diz respeito à estocagem e ao meio ambiente, e que passou a ser um produto com um custo interessante para o mercado da construção em geral.

3.1 PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

Segundo Neville (1997), o uso do concreto fresco tem interesse apenas transitório e deve ser ressaltado que a resistência de um concreto com determinadas proporções é seriamente influenciada pelo grau de adensamento. Portanto, é essencial que a consistência da mistura do concreto seja tal que o concreto possa ser transportado, lançado, adensado e acabado com suficiente facilidade e sem segregação.

3.1.1 Trabalhabilidade

A trabalhabilidade é a propriedade que identifica a maior ou a menor aptidão para manuseio e aplicação de um concreto, sem perda de homogeneidade.

Depende de fatores internos e externos:

- Fatores internos: consistência, traço, granulometria dos agregados, forma dos grãos, finura do cimento;
- Fatores externos: finalidade do uso, dimensões e armadura da peça, tipo de mistura, tipo de transporte, modo de lançamento e tipo de adensamento.

Em termos de elementos que compõem uma argamassa, pode-se dizer que a trabalhabilidade melhora quando o módulo de finura diminui, mantendo-se a continuidade granulométrica, e piora quando se tem agregado de grãos angulosos (CINCOTTO, SILVA e CASCUDO, 1995) Esta afirmação, segundo os pesquisadores, pode ser compreendida, também, para concretos produzidos com areias britadas devido à forma lamelar de seus grãos.

De acordo com a NBR 6.118 (ABNT, 2003), a trabalhabilidade de um concreto deverá ser compatível com as dimensões da peça a concretar, com a distribuição das armaduras e com os processos de lançamento e adensamento a serem usados.

Neville (1997) comenta que não existe um ensaio aceitável que determina diretamente a trabalhabilidade. Têm sido realizadas diversas tentativas para correlacionar essa consistência com alguma grandeza física, fácil de ser determinada. Entretanto, todas as tentativas têm limitações por não conseguir introduzir todas as variáveis no fenômeno, embora possam proporcionar informações úteis.

Segundo Mehta; Monteiro (1994), trabalhabilidade envolve certas características do concreto fresco, tais como consistência e coesão, que genericamente definem consistência como sendo a medida da umidade do concreto avaliada em termos de abatimento de cone, ou seja, quanto mais úmida a mistura maior o abatimento. Coesão é definida pelos mesmos autores como sendo uma medida da facilidade de adensamento e de acabamento, a qual é geralmente avaliada por uma suposta facilidade de desempenar e avalia-se visualmente sua resistência à segregação.

A coesão está intimamente relacionada aos materiais mais finos em função da sua superfície específica. Assim, pode ser alterada variando-se a área específica dos sólidos e quantidade de água presente em uma mistura. A coesão interna acontece pela força de atração Van der Waals (CALLISTER, 2002).

Segundo Neville (1997), segregação ou exsudação é conhecida como separação da água, é uma forma de segregação em que parte da água de mistura tende a subir para a superfície de um concreto recém aplicado. É resultado do processo em que os constituintes sólidos da mistura são incapazes de reter a água quando tendem a descer, pois, de todos os constituintes, a água é a que tem menor massa específica.

O processo de exsudação pode causar:

- enfraquecimento da aderência pasta agregado e parte da armadura;
- aumento da permeabilidade;
- formação de nata de cimento sobre a superfície de concreto.

A perda de abatimento está relacionada com a capacidade do concreto fresco em reter a água de amassamento.

Um dos fatores para retardar a evaporação de água de uma mistura seria a quantidade de finos por possuir uma maior superfície específica, retendo maior quantidade de água.

3.1.2 Teor de ar incorporado

A porosidade da matriz da pasta de cimento, de acordo com Mehta; Monteiro (1994) é determinada na maioria das vezes pela relação a/c. No entanto, quando há a incorporação de ar, seja por adensamento inadequado, seja pelo uso de aditivos, pode também aumentar a porosidade e diminuir a resistência do concreto.

Os autores afirmam, ainda, que essa máxima pode apresentar outra interpretação, desde que seja considerado que o ar incorporado melhora a trabalhabilidade e a compacidade da mistura, fazendo com que haja um aumento de resistência substancial na zona de transição, especialmente nas misturas com baixo teor de água, acarretando por sua vez um aumento na resistência à compressão de um determinado corpo de concreto.

3.2 PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO

3.2.1 Durabilidade

Atualmente, ainda é comum a especificação de um concreto tomando-se como critério de durabilidade a resistência mecânica do mesmo. Contudo, a realidade tem mostrado a deterioração precoce de muitas estruturas, invalidando o critério mencionado. Portanto, critérios de durabilidade também devem levar em conta os processos de deterioração, além da resistência mecânica. O concreto armado pode ter a sua vida útil comprometida em função de diversas causas que o conduzam a uma deterioração, e estas podem ter origens internas ou externas ao concreto.

Quando se fala em durabilidade, imediatamente o assunto é associado à porosidade dos concretos e, sob esse aspecto, a literatura tem sido unânime, pois considera a durabilidade dependente da sua estrutura de poros do concreto e do meio onde está situado.

É consenso que a durabilidade de um concreto ou de uma argamassa está diretamente ligada ao comportamento da rede de poros do seu interior, embora explicitamente entende-se que outras variantes têm de estar esclarecidas. Sob o ponto de vista da porosidade, o que realmente interessa para que um concreto seja durável é a avaliação da intercomunicabilidade e a distribuição dos diâmetros e os tamanhos dos poros (GRIGOLI; HELENE, 2002). Eles afirmam ainda, que entre as vantagens do uso de adições minerais no concreto, a redução da porosidade é a maior responsável pela proteção das armaduras contra a ação da corrosão. Os autores completam, focando que o uso de adições tem sido incrementado, não só por aspectos técnico-econômicos, mas também por aspectos ecológicos.

A durabilidade do concreto é função de uma série de fatores, iniciando pela concepção e pelo projeto das estruturas, passando pelos materiais empregados e pela qualidade de execução, chegando-se até seu uso e manutenção. Por outro lado, o seu processo de deterioração está diretamente relacionado às facilidades de penetração dos agentes agressivos no concreto de cobrimento das armaduras, ou seja, em função da sua porosidade.

3.2.1.1 Reação álcali-agregado

Essa reação é citada por Hasparyk (1999) como sendo um termo geral utilizado para descrever a reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos provenientes principalmente do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado utilizado. Como resultados da reação, são formados produtos que, na presença de umidade, são capazes de expandir, provocando fissurações, deslocamentos e podendo levar a um comprometimento das estruturas.

Dentre uma série de definições, verifica-se que, segundo Kihara (1986), a reação álcali-agregado é uma reação lenta e complexa que ocorre entre os álcalis ativos e algumas espécies de minerais presentes em alguns tipos de agregados, que, em condições especiais, provocam a deterioração do concreto, por meio de fissuras, deslocamentos e uma exsudação de gel que nem sempre é presente.

Em relação à reatividade do material, tal parâmetro foi avaliado nesta pesquisa e os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM C-1260 (2001). No presente estudo, foi proposta analisar a possibilidade desta ocorrência, uma vez que, em outras avaliações do agregado artificial em questão, foi classificado como um material deletério aos 28 dias de ensaio, conforme demonstra a Figura 3.1. e o complemento desta avaliação será apresentada no relatório DCT.T.0529.2005- Furnas.

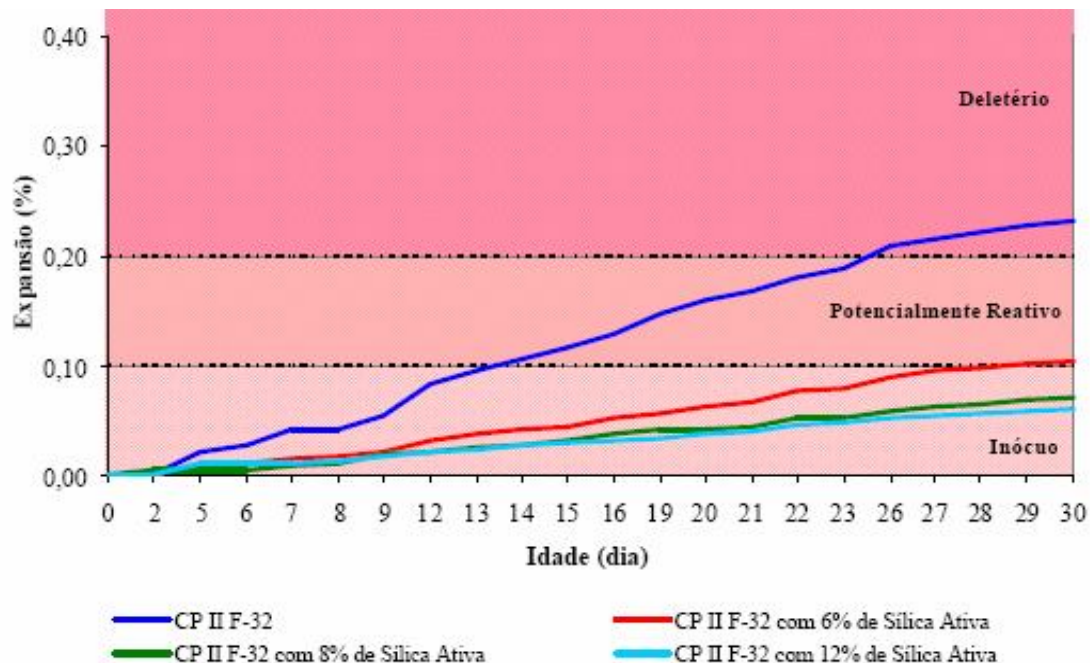


Figura 3.1 – Reatividade Potencial (DCT.C . 01 . 047. 2006 . RO - Furnas) – ANEXO D.

A Figura 3.1 mostra que, com a adição de 8% e 12% de sílica ativa, aos 30 dias tem-se uma expansão abaixo de 0,1%, o que indica um concreto com compostos de reatividade inócua. Porém, na amostra onde os agregados estão sem adição, o concreto teve expansão do tipo deletéria aos 30 dias, confirmando com isso, a reatividade da areia de britagem ora estudada.

Dentre os diversos fatores que interferem na reação, destacam-se o cimento com alto teor de álcalis disponíveis para reagir, agregados potencialmente reativos e fatores ambientais tais como elevadas temperaturas e umidades.

Os principais indícios que levam à suspeita da presença da reação álcali-agregado em uma estrutura de concreto são: fissuras padrão tipo mapa – em concreto armado as fissuras tendem a ser orientadas; eflorescência e exsudação do gel; descoloração do concreto, agregados graúdos com bordas de reação, poros do concretos preenchidos total ou parcialmente por material esbranquiçado com composição do gel; microfissuração da argamassa com preenchimento de material branco, e outros.

a) Agregados

A reatividade depende de vários fatores associados ao agregado utilizado. Os fatores abrangem tanto os constituintes mineralógicos: tipo, histórico tectônico e de alteração quanto àqueles relativos à rocha: estrutura, tamanho de grãos, porosidade, permeabilidade, área específica e composição (BULLETIN 79. 1991).

b) Teor de álcalis no concreto

Os álcalis presentes no concreto podem ser divididos em duas categorias, os álcalis solúveis (presentes nos sulfatos alcalinos) e os álcalis insolúveis (provenientes das soluções sólidas das fases presentes no clínquer, tais como C_3S , C_2S , C_3A e C_4AF). A presença de álcalis em solução provoca um aumento no PH da solução dos poros do concreto, proporcionando também um aumento na concentração de íons hidroxilas (OH^-) que são responsáveis pela reação álcali-agregado.

c) Umidade

As expansões ocorrem quando da presença da umidade. Por esse motivo, as obras hidráulicas, bem como partes do concreto em contato com terrenos úmidos, atmosfera úmida ou as construções expostas constantemente à chuva, estão mais susceptíveis às reações álcali-agregado.

d) Temperatura

A maioria das reações químicas são ativadas por temperaturas elevadas. Com isso, esse parâmetro também funciona como acelerador da RAA (BICZOK, 1972). Nessas condições, o gel torna-se menos viscoso percorrendo mais facilmente as fissuras e os vazios do concreto (BULLETIN 79, 1991).

e) Tempo

O surgimento de fissuras não ocorre em um determinado tempo específico. As expansões podem eventualmente parar quando todos os minerais reativos presentes no agregado tiverem sido consumidos. Em alguns casos de barragens do EUA esse fenômeno foi observado somente após 30 (trinta) anos, por meio de análise de microscopia eletrônica de varredura (BULLETIN 79, 1991).

3.2.1.2 Ensaios para avaliação de RAA em concretos

Com o objetivo de se determinar a reatividade de um agregado diversos métodos são utilizados, direcionando os pesquisadores, engenheiros e técnicos a fazerem as escolhas adequadas de utilização de um agregado, evitando assim que danos ocorram a uma estrutura de concreto com o tempo.

a) Análise Petrográfica ASTM 295 (ASTM, 1997), ASTM 856 (ASTM, 1997) e NBR 7389 (ABNT, 1992)

Segundo Silva, O. I. (2007) a análise petrográfica fornece informações importantes sobre a composição mineralógica dos agregados usados em concretos, podendo detectar a presença de minerais potencialmente reativos com os álcalis do cimento. Este método de ensaio pode ser realizado baseando-se nas normas ASTM 295 (ASTM, 1997), ASTM 856 (ASTM, 1997) e NBR 7389 (ABNT, 1992). Segundo a NBR 7389 (ABNT, 1992) a apreciação petrográfica é um estudo macroscópico, se necessário com utilização de lupa, dos materiais naturais, identificando seus elementos constituintes e propriedades, visando à sua utilização.

A Tabela 3.1 traz um resumo das análises petrográfica de determinadas rochas. Verifica-se que todos os agregados ensaiados apresentaram uma composição mineralógica potencialmente reativa em relação à reação álcali-agregado, por apresentarem quartzo com extinção ondulante, quartzo microcristalino e feldspatos alcalinos.

Tabela 3.1 - Resumo dos resultados obtidos da análise petrográfica dos agregados graúdos (ANDRADE et al., 2006)

Classificação	Natureza	Observações
Granito	Ígnea	Granulação grossa a média. Maioria do quartzo com extinção ondulante de alto grau (>25°). Presença de K-feldspato.
Granito gnaisse	Ígnea	Granulação média a fina. Quartzo com extinção ondulante moderada (<25°). Mostrou feições texturais evidenciando deformação tectônica. Presença de K-feldspato.
Biotita granito	Ígnea	Granulação muito grossa. Quartzo com intensa extinção ondulante (>25°). Presença de K-feldspato.
Biotita granito	Ígnea	Granulação muito grossa. Quartzo com extinção moderada a forte. Presença de K-feldspato.
Milonito gnaisse	Metamórfica	Granulação média e fina. Textura cataclástica, evidenciada pela fragmentação dos cristais de feldspatos, com freqüente extinção ondulante. Presença de K-feldspato. Rocha originalmente granítica, submetida a deformação e recristalização (principalmente do quartzo). Quartzo estirado e de granulometria muito fina.
Biotita granito	Ígnea	Granulação média a muito grossa. Extinção ondulante moderada a forte. Presença de K-feldspato.

b) Microscopia estereoscópica

A Microscopia estereoscópica é um método de avaliação no qual se utiliza o microscópio estereoscópico de luz refletida (ou lupa binocular) para a análise das amostras de concreto e/ou argamassas em superfícies de fratura ou semi-polidas. Nesta análise de investigação preliminar uma observação dos aspectos estruturais dos concretos são verificados fissuras, porosidade, bordas de reação ao redor dos agregados e presença de produtos de RAA (SILVA, O. I., 2007).

Para melhor representar uma micrografia estereoscópica é mostrado na Figura 3.2, uma argamassa feita por Hasparyk (1999), em seu estudo sobre os mecanismos da reação álcali-agregado. A ilustração mostra os efeitos da cinza de casca de arroz e da sílica ativa.

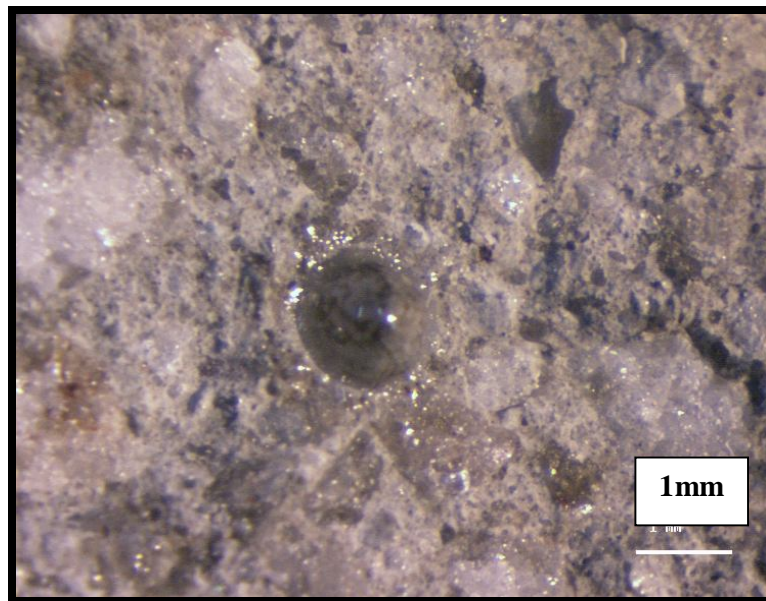


Figura 3.2 - Amostra de referência com quartzito: poro com aspecto vítreo (HASPARYK, 1999)

c) Método Químico NBR 9774, ABNT (1987) e ASTM 289, ASTM (1997)

O Método Químico permite avaliar a reatividade potencial álcali-sílica de um agregado por meio da relação entre a concentração de sílica dissolvida e a redução de alcalinidade. As normas NBR 9774 (ABNT, 1987) e ASTM 289 (ASTM, 1997) prescrevem esta metodologia.

d) Ensaio Acelerado em barras de argamassa ASTM 1260 (ASTM, 1997) e ASTM 1567 (ASTM, 2004)

Segundo Silva, I. O. (2007) foi desenvolvido por Oberholster em 1985 (NBRI- National Building Research Institut South Africa), este método utilizam as barras fundamentadas no método ASTM C-227 e NBR 9773 (ABNT, 1987), sendo estas imergidas em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) em uma temperatura de 80°C, por um período de 28 dias.

O ensaio preconiza que deverão ser moldados 3 corpos de prova os quais terão uma leitura diária de expansão, sendo a do 16º dia a de referência para comparação com o valor limite. Se as expansões forem inferiores a 0,10% no 16º dia, identifica-se um comportamento inócuo. Porém, se ocorrerem expansões superiores a 0,20%, uma grande possibilidade de ocorrência de expansões nocivas existirá. Se os valores ficarem compreendidos entre 0,10% e 0,20%, sugere-se que sejam feitas investigações adicionais.

Enquanto que a ASTM 1260 (ASTM, 1997) avalia a potencialidade dos agregados em barras de argamassa, a ASTM 1567 (ASTM, 2004) permite a análise aos 16 dias da reatividade deletéria da combinação de materiais cimentícios e agregados em barras de argamassa. Segundo a norma americana ASTM 1567 (ASTM, 2004), caso adições como a sílica ativa ou metacaulim sejam utilizadas em substituição ao cimento Portland, um aditivo redutor de água deverá ser utilizado, quando necessário, para prover dispersão e trabalhabilidade adequada para a mistura de forma que a consistência seja mantida na faixa de $\pm 7,5\%$ em relação à amostra de referência (sem adição). Para manter a relação água : aglomerante igual a 0,47, a água do aditivo deve ser descontada.

3.2.2 Resistência à compressão

A resistência à compressão pode ser considerada como a propriedade mais importante do concreto, por estar diretamente relacionada com sua estrutura interna, indicando uma estimativa do desempenho em termos mecânicos e, indiretamente, da durabilidade (DAL MOLIN, 1995)

Segundo Metha; Monteiro (1994), nos sólidos existe uma relação fundamental inversa entre porosidade (fração de volume de vazios) e resistência. Portanto, no concreto, por tratar-se de um material de várias fases, a porosidade de cada componente pode tornar-se fator limitante da resistência. Nos concretos com agregados naturais, geralmente densos e resistentes, a porosidade da matriz, que é a pasta de cimento endurecida, assim como a zona de transição entre a matriz e o agregado graúdo, é que influenciam essa propriedade.

Estes autores ratificam, ainda, que baseados nos estudos de Abrams, em concretos de baixas e médias resistências, preparados com agregados comuns, as porosidades da zona de transição e da matriz determinam a resistência e é válida a

relação direta entre a relação água/cimento e a resistência do concreto.

Embora a zona da interface de maior interesse seja aquela que se forma na superfície do agregado graúdo, forma-se também esse tipo de zona em volta de partículas de agregado miúdo. Neste caso, é menor a espessura da zona, mas os efeitos de superfície que se originam nas partículas menores interferem com aquelas do agregado graúdo, influenciando assim a extensão final do efeito da zona de transição.

Completa-se a isso, segundo Aïtcin (2000), que a elevada relação água/cimento dos concretos convencionais é traduzida, em termos microestruturais, por uma microestrutura porosa em volta do agregado, em que se observa uma zona de transição de espessura variável e com maior porosidade. A maioria das propriedades mecânicas do concreto convencional está relacionada à resistência da pasta de cimento hidratado, ou a sua relação água/cimento.

Para Cánovas (1996), um concreto bem compactado possui um menor volume de ar no seu interior, no entanto, se esta compactação não foi bem executada, o volume de ar se tornará maior, diminuindo suas resistências.

Neville (1997) define a aderência entre o agregado e a pasta de cimento como um importante fator da resistência do concreto, especialmente da resistência à flexão. A aderência é dividida, em parte, ao intertravamento do agregado e da pasta de cimento hidratada, propiciada pela aspereza da superfície das partículas do agregado. Uma superfície mais áspera resulta numa melhor aderência, devido ao intertravamento mecânico.

Quando a aderência é boa, o corpo de prova rompido deve apresentar algumas partículas de agregado rompidas, porém, se a quantidade de partículas rompidas for muito grande, pode significar baixa resistência do agregado.

Neville (1997) afirma ainda que, a rigor, a resistência do concreto depende de modo geral de apenas dois fatores: relação água/cimento e o grau de adensamento.

A NBR 5.739 (ABNT, 1994) prescreve o método pelo qual devem ser ensaiados à compressão dos corpos-de-prova, cilíndricos de concreto moldados. Os principais fatores que afetam a resistência mecânica são: relação água/cimento, idade, forma e graduação dos agregados, forma e dimensões dos corpos-de-prova, velocidade e duração de aplicação de carga.

3.2.3 Resistência à tração por compressão diametral

Andriolo; Sgarboza (1993) afirmam que a resistência à compressão é a propriedade mais utilizada nos cálculos de estruturas de concreto, ou é explorada como parâmetro de qualidade do mesmo, porém, tem-se que, em determinadas estruturas, armadas ou não, as solicitações de tração passam a ser determinantes.

Em projetos estruturais de concreto armado, o aço é o elemento proposto a absorver os esforços de tração. A resistência à tração é importante para verificação de fissuração no concreto, quando a estrutura é submetida às condições de serviço. Em estruturas de concreto maciço, tais como barragens, é impraticável o uso de barras de aço. No entanto, uma estimativa confiável da resistência à tração do concreto é necessária, especialmente para se avaliar a segurança da barragem sob abalos sísmicos e retração (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Os autores afirmam, ainda, que a resistência à tração para concretos convencionais é em torno de 0,1 a 0,15 (10 a 15%) da resistência à compressão. Essa grande diferença é atribuída à estrutura heterogênea e complexa do concreto e, quanto maior a resistência à compressão do concreto, maiores são as relações.

Vale salientar que os parâmetros que influenciam nas características da microestrutura da matriz de cimento e da zona de transição dos agregados com a pasta de cimento, são fatores decisivos no valor da resistência à tração do concreto.

Ademais das correlações entre as resistências à tração e à compressão axial simples, é conclusivo que todos os fatores que influem na resistência à compressão influem também na resistência à tração. Há, no entanto, um agravante com relação à resistência à tração e que se refere à textura do agregado. Para concretos de mesmo consumo e quantidade de pasta, agregados com textura lisa, em geral seixos rolados, podem proporcionar concretos menos resistentes à tração do que quando usados agregados com textura mais rugosa, devido a sua aderência com a pasta (ANDRIOLO; SGARBOZA, 1993).

Embora o concreto não seja projetado para resistir à tração, o conhecimento dessa propriedade é útil para estimar a carga à qual ocorre a fissuração. Neville (1997) afirma que a ausência de fissuração é muito importante para se conservar a continuidade de uma estrutura de concreto e, em muitos casos, para prevenção de corrosão da armadura.

3.2.4 Módulo de deformação

De modo geral, todos os materiais, quando submetidos a tensões, podem apresentar deformações elásticas ou plásticas. No primeiro caso, a deformação desaparece quando a tensão é removida. No caso das deformações plásticas, ocorre um deslocamento permanente dos átomos que constituem o material. Este tipo de deformação é irreversível e praticamente proporcional à tensão aplicada (VAN VLACK, 1970). Na Figura 3.3 são mostrados os gráficos típicos de relação tensão-deformação elástica e plástica.

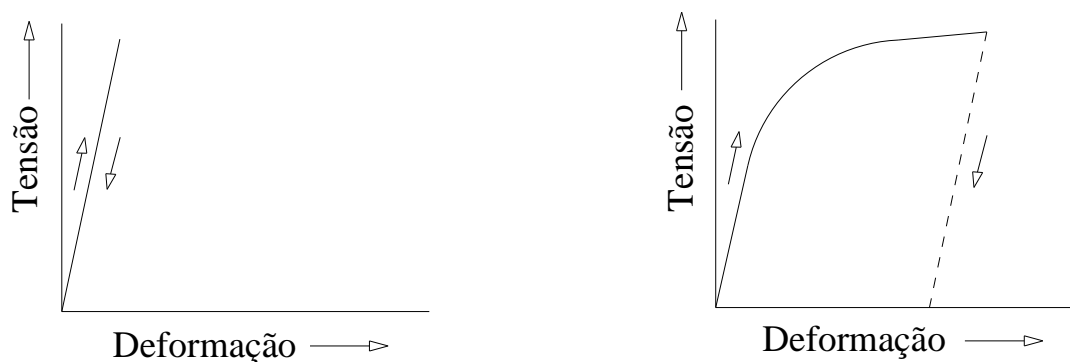


Figura 3.3 – Relação tensão-deformação elástica (à esquerda) e plástica (à direita) (VAN VLACK, 1970).

Pela Lei de Hooke, dentro do limite elástico, quando se aplica uma carga de compressão ao concreto, ocorre uma deformação proporcional à tensão aplicada. O quociente entre a tensão aplicada (σ) e a deformação elástica resultante (ϵ) é denominado de módulo de elasticidade. Portanto, o módulo de elasticidade é uma medida da resistência à deformação elástica do material (ANDRADE et al., 1997).

Para o caso particular do concreto, as deformações plásticas iniciam-se em patamares de tensão menores do que 50% da carga de ruptura. Baseados nesse aspecto, alguns pesquisadores citam a preferência pela utilização do termo módulo de deformação, visto que o conceito de elasticidade pressupõe que, cessada a solitação, a deformação desaparece em qualquer nível de carregamento.

O conhecimento de módulo de deformação é fundamental na análise das deformações no concreto. Isso porque as estruturas devem ser projetadas de modo a sofrer apenas pequenas deformações, que não ultrapassem os valores de tensão-deformação correspondentes ao trecho reto do diagrama. Embora o concreto não seja um material tipicamente elástico para qualquer estágio de carregamento a que esteja submetido (BEER; JOHNSTON, 1995).

Com relação aos constituintes do concreto, vale ressaltar que porosidade, módulo de deformação, dimensão máxima, forma, textura superficial, granulometria e composição mineralógica do agregado graúdo são de relevante importância. Neville (1997) afirma que o módulo de deformação do concreto é afetado tanto pelo módulo de deformação do agregado como por seu conteúdo volumétrico dentro do concreto.

De acordo com Mehta; Monteiro (1994), dentre as características do agregado graúdo que afetam o módulo de deformação do concreto, a porosidade é a mais importante, visto que determina a rigidez do agregado. Sabendo que a rigidez controla a capacidade do agregado em restringir deformações do concreto, pressupõe-se que agregados densos, com alto módulo de deformação, resultarão em concretos com módulos de deformação maiores.

O módulo de deformação, segundo Andriolo; Sgarboza (1993) é influenciada fundamentalmente pelos seguintes fatores:

- nas primeiras idades, pelo teor de aglomerante;
- e após, pelas características elásticas do agregado e idade do concreto (aos sete dias abrange entre 65% e 85% do valor, aos 28 dias, e entre 28 e 180 dias, o módulo cresce em torno de 20% e, depois, praticamente estabiliza-se), pelo tipo litológico e quantidade do agregado; pela proporção entre o teor de pasta e o agregado; pela porcentagem de ar incorporado.

Vale salientar que, quando submetidos isoladamente a tensões, tanto a pasta de cimento como o agregado, demonstram relações tensão-deformação bastante próximas da linearidade, conforme pode ser visto na Figura 3.4.

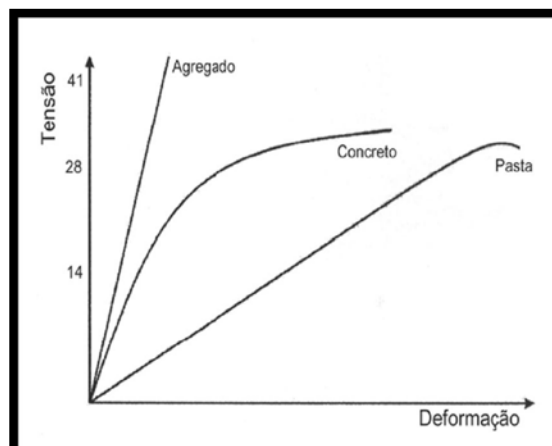


Figura 3.4 – Curva tensão-deformação da pasta de cimento, agregado e concreto (SENA RODRIGUES, 2003).

A curvatura da relação tensão-deformação do concreto deve-se à presença da zona de transição entre o agregado e a pasta de cimento. Essa zona de transição possui características que afetam o módulo de deformação do concreto, como, por exemplo, a presença de espaços vazios, a concentração de cristais de hidróxido de cálcio e as microfissuras. A zona de transição está sujeita, ainda, à porosidade controlada por fatores como a relação água/cimento, adições minerais, características de execução, a distribuição granulométrica do agregado, interação química entre o agregado e a pasta de cimento e o grau de hidratação (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

De acordo com Mehta; Monteiro (1994), baseados nos estudos de Abrams, em concretos de baixas e médias resistências, preparados com agregados comuns, as porosidades da zona de transição e da matriz determinam a resistência, e é válida a relação direta entre a relação água/cimento e a resistência do concreto.

A zona de transição está sujeita ainda à porosidade controlada por fatores como relação água/cimento, adições minerais, características de execução, distribuição granulométrica do agregado, interação química entre o agregado e a pasta de cimento e o grau de hidratação.

Além disso, o uso de agregados bem graduados proporciona menores espessuras nas zonas de transição devido ao melhor espalhamento da pasta de cimento, bem como menor número e tamanho dos vazios, e pelo preenchimento dos espaços, tanto pelos agregados bem graduados como pela pasta de cimento.

Neville (1997) menciona que o aparecimento de fissuras na interface pasta-agregado significa que a energia acumulada é transformada em energia de superfície das novas faces das fissuras. Com o desenvolvimento progressivo das microfissuras ocorre um acréscimo localizado e progressivo de tensões.

A Figura 3.5 mostra quatro estágios do comportamento do concreto representando a evolução da tensão-deformação e suas microfissuras.

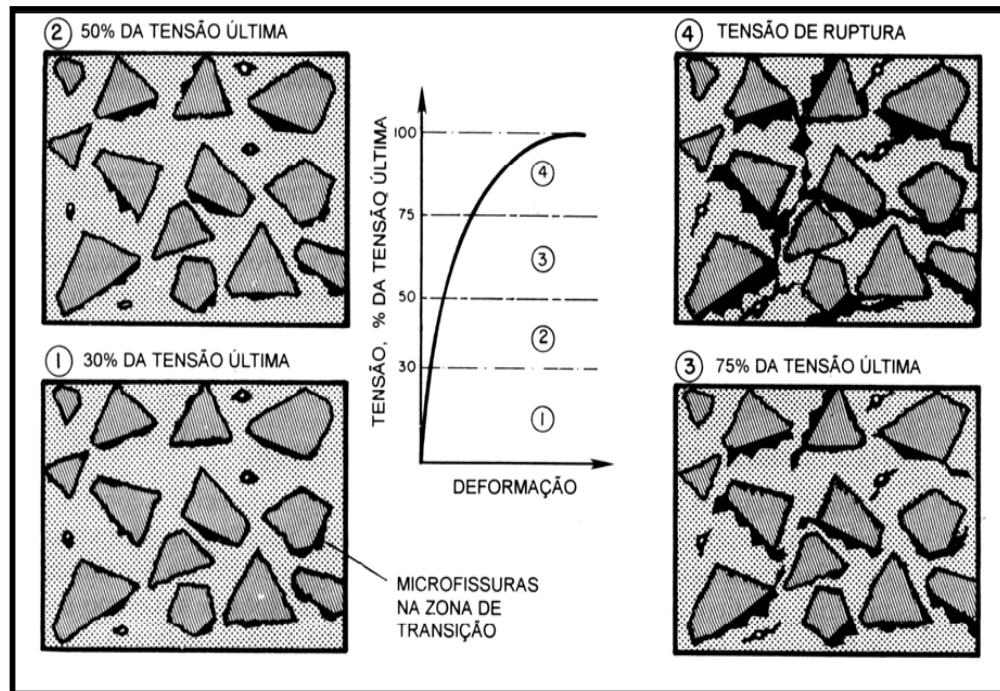


Figura 3.5 – Representação esquemática do comportamento tensão-deformação do concreto sob compressão uniaxial até a ruptura (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

3.2.5 Absorção de água por imersão

É a relação entre o volume ocupado pelos vazios e poros com o volume total. A porosidade pode ser, segundo Bastos (2002):

- fechada: os poros não comunicam entre si e não podem ter circulação de água no material;
- aberta: os vazios são interligados por canais e com o meio externo; em períodos secos, os vazios são preenchidos por ar; em períodos úmidos, a água pode substituir o ar sob certas condições, até atingir um estado de equilíbrio.

A compactidade e a porosidade são complementares, tendo um papel importante no estudo de materiais, com influência sobre o peso, a resistência mecânica, a absorção de água, a permeabilidade à água e o isolamento térmico e acústico.

3.3 CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS VERSUS PROPRIEDADES DO CONCRETO

O conhecimento de certas características dos agregados foi verificado por alguns pesquisadores como sendo uma exigência de considerável relevância para a dosagem dos concretos de forma geral.

Eles não têm a função de apenas preencher para economizar cimento. Sem os agregados, teríamos sérios problemas de retração. A qualidade do agregado interfere na resistência e na deformabilidade do concreto, além de influir em sua condutibilidade térmica, resistência ao fogo, massa específica e durabilidade (TECHNE, 2004).

Mehta; Monteiro (1994) citam que a porosidade, a massa específica, a composição granulométrica, a forma e a textura superficial dos agregados determinam as propriedades dos concretos no estado fresco. Acrescenta, ainda, que, além da porosidade, a graduação mineralógica do agregado afeta a sua resistência à compressão, à dureza, ao módulo de elasticidade e à sanidade, que são propriedades do concreto endurecido.

Os pesquisadores afirmam, ainda, que é apropriado dividir as características dos agregados nos seguintes grupos:

- as dependentes da porosidade: massa específica, absorção de água, resistência, dureza, módulo de elasticidade e sanidade;
- as dependentes das condições prévias de exposição e de fabricação: tamanho, forma e textura de partículas;
- as dependentes da composição química e mineralógica: resistência, dureza, módulo de elasticidade e substâncias deletérias presentes.

As areias naturais extraídas de rios são, geralmente, de natureza quartzosa rolada, de origem fluvial ou eólica (SBRIGHI, 1999). Quando comparadas aos agregados provenientes de britagem de rocha, as diferenças quanto à

distribuição granulométrica, à forma, à textura e à resistência mecânica das partículas são evidentes. Há necessidade, então, de adequação desses agregados, de modo a satisfazer as necessidades específicas para sua aplicação.

Na Tabela 3.2, são relacionados algumas das características dos agregados que influenciam as principais propriedades do concreto.

Tabela 3.2 – Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado (MENOSSEI, 2004).

Propriedades do Concreto	Características Relevantes do Agregado
Resistência Mecânica	Resistência mecânica
	Textura superficial
	Limpeza
	Forma dos grãos
	Dimensão máxima
Retração	Módulo de elasticidade
	Forma dos grãos
	Textura superficial
	Limpeza
	Dimensão máxima
Massa unitária	Massa específica
	Forma dos grãos
	Granulometria
	Dimensão máxima
Economia	Forma dos grãos
	Granulometria
	Dimensão máxima
	Beneficiamento requerido
	Disponibilidade

De modo geral, a areia é caracterizada pelo seu módulo de finura, especificações de faixas granulométricas ou é selecionada a partir de normas que especificam a granulometria dentro de certas faixas. Não existe um consenso entre os autores nacionais, pois curvas granulométricas distintas podem levar ao mesmo módulo de finura. Algumas vezes utiliza-se também o coeficiente de uniformidade. Esse coeficiente traduz uma continuidade na distribuição granulométrica da areia. É

definida como sendo a relação entre os diâmetros correspondentes à abertura da malha pela qual passam 60% e 10%, em massa, de areia (CARNEIRO, 1999).

3.3.1 Influência da granulometria

Dentre os diversos problemas que uma dosagem inadequada pode causar, conforme Alves (1999), o fator básico que deverá ser observado consiste no estabelecimento da composição granulométrica da mistura sólida. Esta composição tem como finalidade o ajuste da graduação, evitando qualquer excesso de grãos de um mesmo tamanho que possa interferir no conjunto, pois geralmente, quando há o excesso ou a falta de um determinado agregado da graduação desejada, a consequência é uma falta de trabalhabilidade e um comportamento insatisfatório do concreto.

Gastaldini (1986) verificou que a melhor distribuição granulométrica para dosagem de concreto na mistura de agregado miúdo e areia britada foi conseguida com proporções de 50% de cada material.

A composição granulométrica tem grande influência nas propriedades futuras dos concretos. A finalidade primordial dos estudos granulométricos é encontrar a composição ideal que dê a maior compacidade possível, e, para isso, é requisito básico uma boa pasta de aglomerante. Com isso, como já foi evidenciado por outros pesquisadores, há um ganho em economia e aumento da resistência dos concretos.

A granulometria é o parâmetro físico mais analisado dos agregados, pois influencia a compacidade e a resistência aos esforços mecânicos.

Segundo Carneiro et al., (1997), a areia de granulometria muito uniforme, independentemente do formato dos grãos, compromete a trabalhabilidade da argamassa. Nestes casos há um enrijecimento, impedindo o deslizamento dos grãos de areia entre si e, conseqüentemente, há uma maior demanda por consumo de pasta.

Segundo Basílio (1995), é especialmente na fração fina do agregado que se canalizam os maiores esforços, objetivando, com isso, um concreto mais econômico e de melhor qualidade.

Já Rodrigues (1984), afirma que, devido a sua elevada área específica, qualquer alteração do teor de areia no concreto provocará alterações significativas

no consumo de água e, conseqüentemente, no consumo de cimento e na trabalhabilidade. Concluindo, Carneiro et al., (1997) afirmam que, de uma forma geral, a heterogeneidade granulométrica da areia é altamente positiva, pois permite o preenchimento completo de vazios e a conseqüente economia de cimento.

Os agregados são subdivididos, segundo a NBR 7.211 (ABNT, 2005), em:

- graúdos ($d_n > 4,8$ mm);
- miúdos ($d_n < 4,8$ mm).

A norma NBR 7.211 (ABNT, 2005) definiu novos limites de utilização para agregados miúdos. Anteriormente, esta norma classificava o agregado miúdo em muito fino (zona 1), fino (zona 2), médio (zona 3) e grosso (zona 4). Agora, conforme o módulo de finura (MF), classifica em zona utilizável inferior (MF varia de 1,55 a 2,20), zona ótima (MF varia de 2,20 a 2,90) e zona utilizável superior (MF varia de 2,90 a 3,50). Nas Figuras 3.6, 3.7 e 3.8 estão apresentados os limites inferior e superior para a zona utilizável inferior, a zona ótima e a zona utilizável superior, respectivamente.

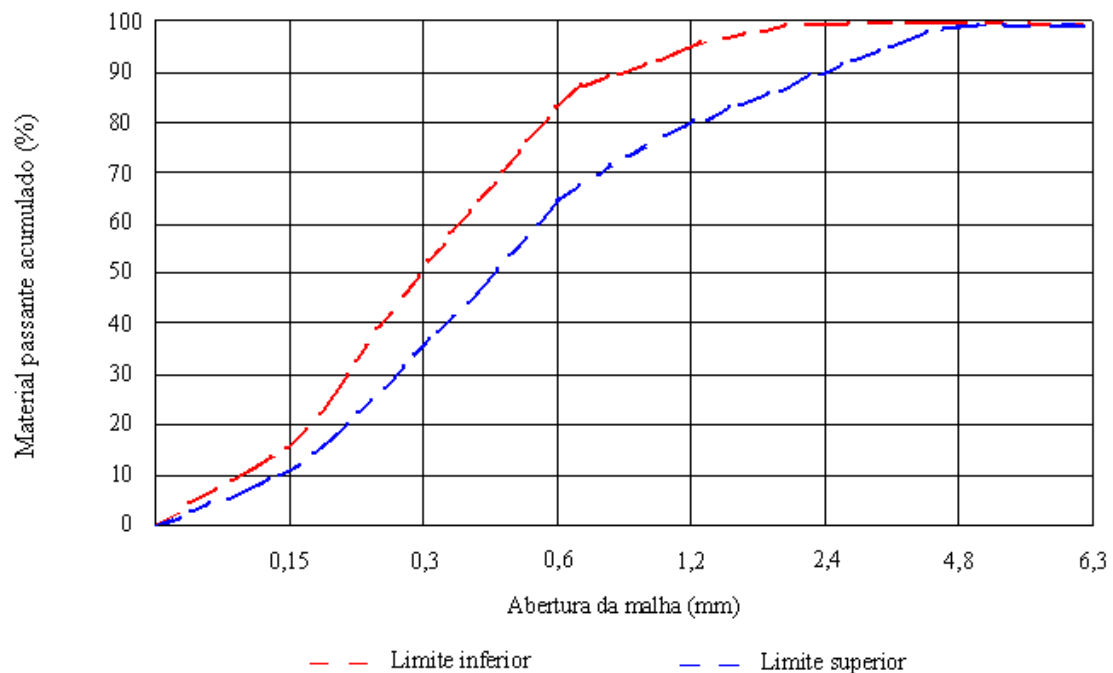


Figura 3.6– Zona utilizável inferior. Fornece limite inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia entre 1,55 e 2,20 NBR 7.211 (ABNT, 2005).

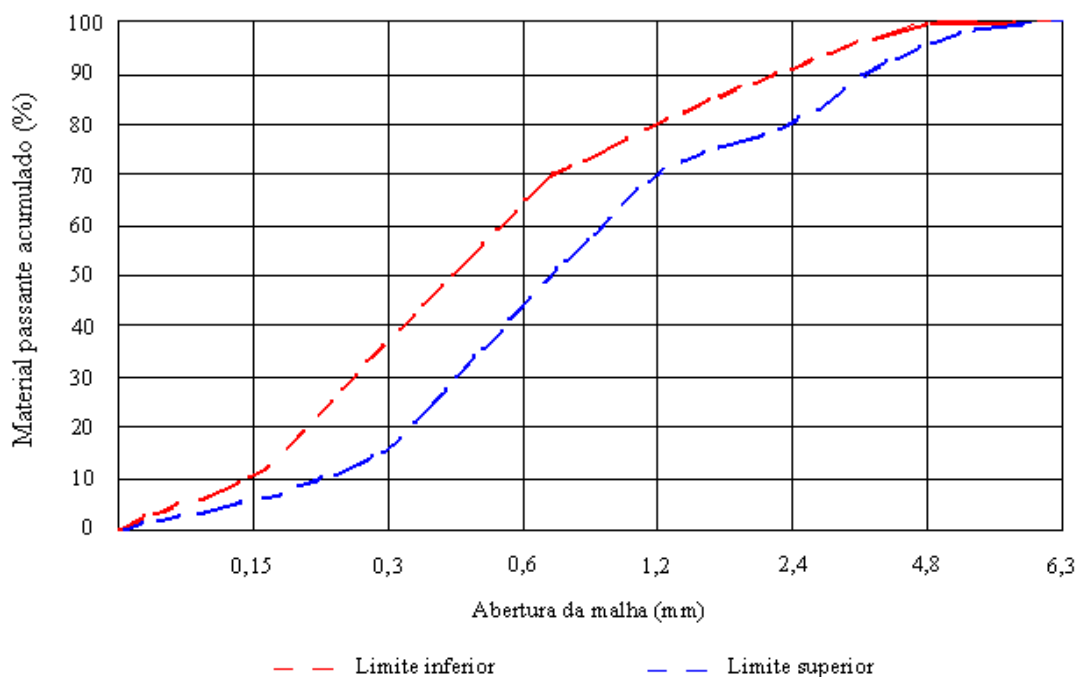


Figura 3.7– Zona ótima. Fornece limite inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia entre 2,20 e 2,90 NBR 7.211 (ABNT, 2005).

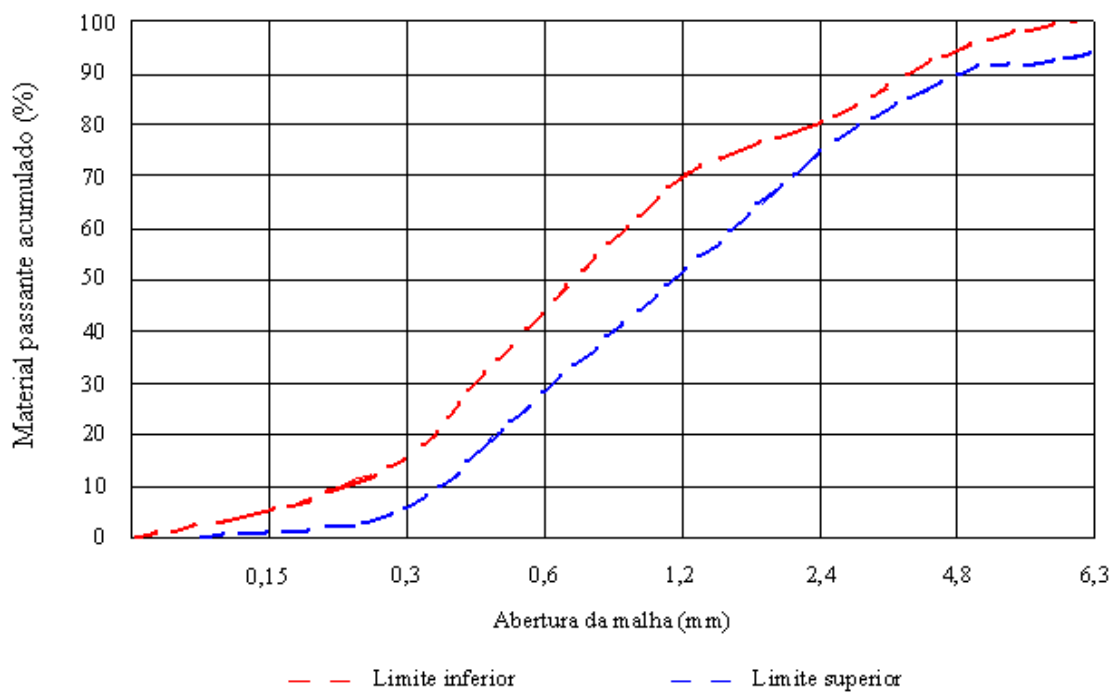


Figura 3.8 – Zona utilizável superior. Fornece limite inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia entre 2,90 e 3,50 NBR 7.211 (ABNT, 2005).

De acordo com a classificação de Selmo (1986), o agregado miúdo que se encontra na zona utilizável inferior pode ser considerado como areia fina. Aquele que se encontra na zona ótima é uma areia média e aquele que se encontra na zona utilizável superior, é uma areia grossa.

Bauer (1987) explica que a composição granulométrica de um agregado é a proporção relativa, expressa em porcentagem, em que se encontram os grãos de determinado agregado, nos diferentes tamanhos que constituem o material. Essa composição granulométrica tem grande influência nas propriedades futuras das argamassas e concretos confeccionados com esse agregado.

Além da distribuição do tamanho dos grãos, a análise granulométrica permite obter dois parâmetros de interesse, segundo Frazão et al. (2007): a dimensão máxima característica (*DMC*) dos fragmentos e o módulo de finura (*MF*). A *DMC* é correspondente à abertura da malha, na qual 5% do material ficam retidos acumulados, ou valor imediatamente inferior. O *MF* é um número correspondente à soma das porcentagens acumuladas em cada uma das peneiras da série normal dividida por 100.

A granulometria ou a distribuição dos diferentes tamanhos dos grãos de um agregado pode apresentar agregado com granulometria contínua, descontínua ou uniforme. A Figura 3.9 ilustra as três formas granulométricas de um agregado e suas respectivas variações de volumes de vazios.

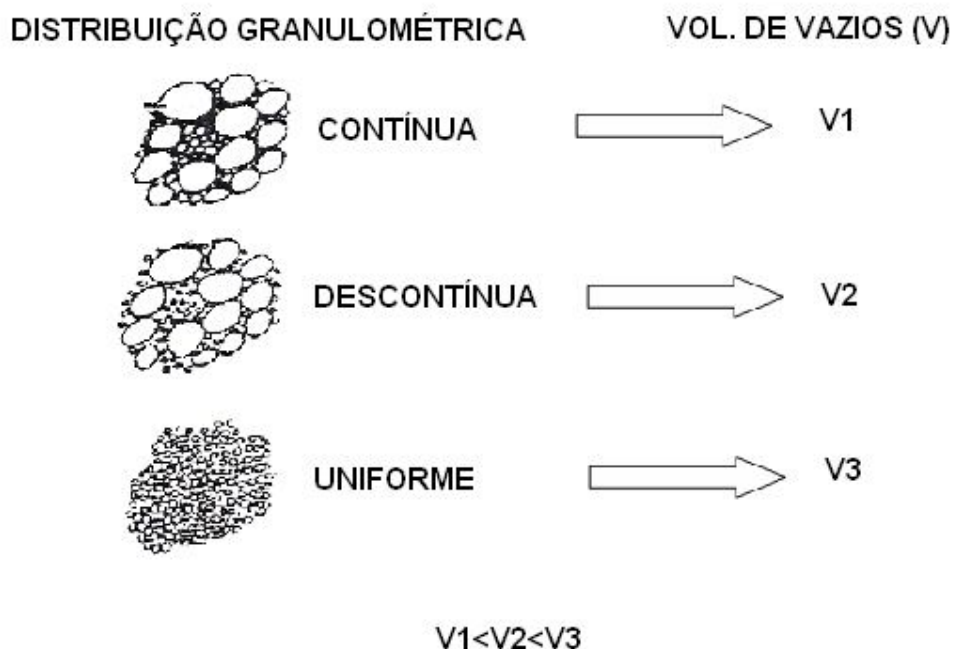


Figura 3.9– Forma de distribuição e comparação das respectivas variações de volumes de vazios (SELMO, 1986).

3.3.2 Influência das substâncias nocivas

De acordo com a NBR 12.654 (ABNT, 1992), que normaliza o controle tecnológico dos componentes do concreto, tem-se que os agregados a serem empregados na produção do concreto devem atender ao estabelecido na NBR 7211 (ABNT, 2005), independentemente da graduação dos agregados.

Em relação aos limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas, seguem, na Tabela 3.3 os novos limites estabelecidos pela NBR 7211 (ABNT, 2005).

Tabela 3.3 – Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material NBR 7211 (ABNT, 2005).

Determinação	Método de ensaio		Quantidade máxima relativa à massa do agregado miúdo (%)
Torrões de argila e materiais friáveis	NBR 7218 (ABNT, 1987)		3,0
Material Carbonoso (1)	ASTM C 123	Concreto aparente	0,5
		Concreto não aparente	1,0
Material fino que passa através da peneira 0,075mm por lavagem (material pulverulento)	NBR NM 46 (ABNT, 2003)	Concreto submetido a desgaste superficial	10,0
		Concretos protegidos do desgaste superficial	12,0
Impurezas orgânicas (2)	NBR NM 49 (ABNT, 2001)		A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão
	NBR 7.221 (ABNT, 1994)	Diferença máxima aceitável entre os resultados de resistência à compressão comparativos	10,0

1) Quando não for detectada a presença de materiais carbonosos durante a apreciação petrográfica, pode-se prescindir do ensaio de quantificação dos materiais carbonosos ASTM C 123

2) Quando a coloração da solução obtida no ensaio for mais escura do que a solução-padrão, a utilização do agregado miúdo deve ser estabelecida pelo ensaio previsto na NBR 7.221 (ABNT, 1994)

3.3.2.1 Torrões de argila e materiais friáveis

Os torrões de argila que podem apresentar-se em agregados de mina, têm pouca resistência, absorvem muita água e originam vazios no concreto, com sua desagregação (IOSHIMOTO et al., 1980). Os efeitos indesejáveis dessas partículas são: o aparecimento de buracos, a redução da tensão de ruptura na compressão e a diminuição da resistência ao intemperismo e ao desgaste (FRAZÃO et al., 2007).

3.3.2.2 Materiais pulverulentos

Entre as características que foram analisadas neste trabalho, o teor de material pulverulento consagrou-se como sendo um dos aspectos de maior importância, uma vez que, nos concretos, o mesmo pode ser benéfico ou nocivo, dependendo da maneira como este se apresenta nos agregados, da proporção de vazios e também das condições da operação de mistura e da quantidade de água de amassamento.

O material pulverulento, dentro de certos limites, pode contribuir para preencher os vazios influenciando para que o cimento envolva melhor os grãos dos agregados, diminuindo a porosidade e aumentando a resistência do concreto (GIAMUSSO, 1992).

O autor acrescenta ainda que, caso o material pulverulento forme uma película envolvendo cada grão, sua ação é prejudicial ao concreto, pois impede a aderência da pasta de cimento aos agregados, além de aumentar a necessidade de água para se manter uma mesma trabalhabilidade, modificando com isso a relação a/c.

Frazão et al., (2007) insistem que, quando reveste as partículas, impede que sobre estas ocorra uma cristalização regular e homogênea dos compostos do cimento, o que pode reduzir a resistência à compressão uniaxial do concreto em cerca de 20 a 30% e mais ainda na tração.

No entanto, os autores mencionam que quando o material pulverulento é de calcário, pode haver benefício por aumentar a tensão de ruptura na compressão do concreto em até 10%, isso nos casos em que o pó participe com cerca de 7% em relação ao peso do cimento.

Segundo Takashima et al., (1998 apud Bastos, 2002), um cuidado deve ser tomado referente à areia de britagem, que é o de manter a proporção de material pulverulento constante, pois, se houver uma variação, afetará a granulometria da dosagem, acarretando perda de abatimento e variação na relação água/cimento.

El-kourid et al., (1989) realizaram um trabalho em Ciyadh, na Arábia Saudita, onde os agregados miúdos, tanto a areia de britagem quanto o natural, são resultante de rochas calcárias. Os materiais pulverulentos presentes nos agregados miúdos usados eram na forma de silte, argila ou calcário em pó e conforme a

quantidade desses materiais pode influenciar nas propriedades do concreto no estado fresco e endurecido.

Estes autores observaram, ainda, que, no concreto fresco, quanto maior o teor de substituição, maior a quantidade de água necessária para a mistura.

Em relação aos materiais pulverulentos, o item 5.2.2 da norma NBR 7.211 (ABNT, 2005) demonstra que quando o material fino que passa através da peneira 75 μ m por lavagem, constituído totalmente de grãos surgidos durante a britagem de rocha, teve seus limites alterados de 3% para 10%, para concreto submetido a desgaste superficial. E de 5% para 12%, para concreto protegido de desgaste superficial, desde que seja possível comprovar, por análise mineralógica, que os grãos constituintes não interferem nas propriedades do concreto, cita ainda, como exemplo, de materiais inadequados os micáceos, ferruginosos e argilo-minerais expansivos.

Materiais pulverulentos, a argila (< 2 μ m) e o silte (entre 2 μ m e 6 μ m) exercem um efeito prejudicial quando envolvem os grãos do agregado, pois impedem que ocorra uma boa aderência com o aglomerante. Por terem elevada superfície específica, podem aumentar a relação água/cimento. Em alguns casos, a lavagem pode melhorar o desempenho do agregado (THOMAZ, 2001).

Não existe objeção ao uso de agregados com materiais pulverulentos presentes, desde que não haja atividade química. Entretanto, a sua quantidade presente na massa total do agregado deve ser controlada, pois, devido a sua finura, requer uma quantidade maior de água para a mesma característica de argamassa ou concreto (NEVILLE, 1997).

Os materiais com dimensão das partículas inferiores a 75 μ m contribuem para a plasticidade das argamassas, independentes de serem do aglomerante, de adição plastificante ou do agregado miúdo (MIRANDA et al., 1999).

3.3.2.3 Impurezas orgânicas

A matéria orgânica passível de ocorrer nos agregados, principalmente na areia natural, é constituída basicamente de húmus, proveniente da decomposição de vegetais, que se apresentam como lodo orgânico. A matéria orgânica influi no concreto por meio do retardamento da pega e do endurecimento, o que provoca redução da resistência inicial e, às vezes, até da final (FRAZÃO et al., 2007).

Os agregados miúdos podem ser suficientemente resistentes ao desgaste e, ainda assim, não serem satisfatórios para uso em concreto se contiver impurezas orgânicas que possam interferir com as reações químicas da hidratação (NEVILLE, 1997).

3.3.2.4 Teor de cloretos e sulfatos solúveis

Os sais minerais, quando associados aos agregados, promovem mudanças na pega e no endurecimento da pasta, além de provocar deterioração do concreto, cuja ocorrência se dá devido a reações de compostos deletérios, como sulfatos e cloretos, com o cimento e por ataque às armaduras ou ferragens do concreto (FRAZÃO et al., 2007).

Embora a relação Cl^-/OH^- seja considerada como o parâmetro mais adequado para se prever o início do processo corrosivo, a obtenção desse valor é difícil, em função da grande quantidade de intervenientes, além da variabilidade verificada no momento da medição do mesmo concreto (Alonso et al., 2000).

Assim, a maioria das normas refere-se à quantidade de cloretos por unidade de massa de cimento ou concreto. Alguns teores críticos são apresentados na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Teor crítico de cloretos em relação à massa de cimento (SILVA, F. G., 2006).

AUTORES / NORMA	TEOR MÁXIMO DE CLORETOS (%)
BRE	1
ACI Committee 222	0,20
ACI Committee 318	0,15
BS 8110: Part 1 – BSI	0,4 para concreto armado 0,1 para concreto protendido
Andrade (1992)	0,4
Thomas (1996)	0,2 – para concretos com 50% ciza volante 0,7 – para concretos sem cinza volante
NBR 6118*	Não há especificação

* Antes da revisão, a norma fixava a quantidade máxima de cloretos em 500mg/l em relação à água de amassamento, para um consumo de cimento de 340 kg/m³ e uma relação a/c igual a 0,55.

3.3.3 Influência da massa específica e da massa unitária

Para efeito de dosagem do concreto, é importante conhecer o volume ocupado pelas partículas do agregado, incluindo os poros existentes dentro das partículas (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Para tanto, é determinada a massa específica, cuja fórmula é a massa por unidade do volume dos grãos dos agregados, incluindo o material sólido e os vazios permeáveis e impermeáveis. Pode ser determinado pelo frasco de Chapman. Seu valor é utilizado no cálculo do consumo de materiais em concretos e argamassas (BASTOS, 2002).

Pode ser dividida como a massa específica absoluta e a massa específica aparente.

- massa específica absoluta: é o volume de material sólido, excluídos todos os poros, e é definida como a relação entre a massa do sólido, no vácuo, e o volume desse mesmo sólido a uma temperatura estabelecida.
- massa específica aparente: é o volume total do sólido, incluindo os poros impermeáveis, e pode ser calculada no estado seco e no estado saturado. Quando determinada no estado de umidade natural, o teor de umidade deve ser conhecido.

Neville (1997) acrescenta que a massa específica do agregado é usada nos cálculos de quantidades, mas o valor da massa específica não é uma medida da qualidade dos agregados; porém, a exceção está relacionada ao concreto massa para barragens de gravidade, em que uma massa específica mínima do concreto é condição de estabilidade da estrutura.

Massa unitária é a relação da massa total de certo volume de agregados, e esse volume, considerados os vazios existentes entre os grãos do agregado. É por meio dela que se torna possível converter as composições das argamassas e concretos dados em massa para volume e vice-versa, conforme a NBR 7.251 (ABNT, 1982a).

Carneiro et al., (1997) utilizaram em seu trabalho a massa unitária da areia definida como sendo a quantidade de massa capaz de ser acomodada em um recipiente de volume unitário. Nesse trabalho, conclui-se que a massa unitária da areia é um parâmetro relevante no estudo do desempenho da argamassa. Porém,

sugerem os autores que estudos mais detalhados das curvas granulométricas da areia sejam realizados, a fim de se estabelecer melhores correlações com as propriedades das argamassas.

Frazão et al., (2007) afirmam que, a depender da maneira como se arranjam os agregados, estes alcançarão uma maior ou menor compacidade pelo fato de a massa unitária ser também influenciada pela forma das partículas e pela sua distribuição granulométrica.

O cálculo da massa unitária deverá ser determinado, segundo Mehta; Monteiro (1994), pois não é possível empacotar as partículas dos agregados juntas de tal forma que não haja espaços vazios.

3.3.4 Influência da absorção de água e do inchamento

Bastos (2002), diz que a presença de poros internos nas partículas está relacionada com a massa específica do agregado. E que a porosidade, a permeabilidade e a absorção influenciam nas propriedades, como a aderência entre o agregado e a pasta de cimento hidratada.

Quando os poros dos agregados estão preenchidos de água e não há um filme do líquido na superfície, diz-se que o agregado nessas condições está saturado e com a superfície seca (SSS).

A capacidade de absorção é definida como a quantidade total de água requerida para trazer um agregado da condição seca em estufa para a condição SSS; e a absorção efetiva é definida como a quantidade de água necessária para trazer um agregado da condição seca ao ar para a condição SSS (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Os autores mencionam, ainda, que os dados relativos à capacidade de absorção, absorção efetiva e umidade superficial são invariavelmente necessários para a correção das proporções de água e de agregado em misturas para concreto, feitas a partir de materiais estocados.

Os níveis da umidade de um agregado estão representados na Figura 3.10.

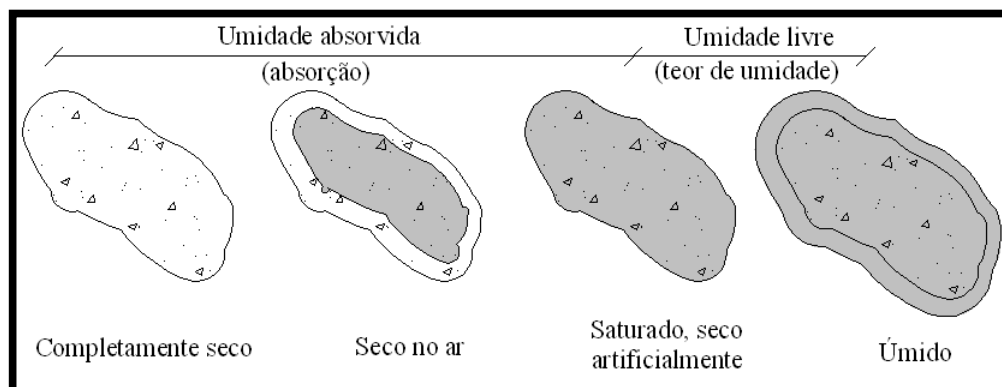


Figura 3.10 – Representação esquemática da umidade do agregado (NEVILLE, 1997).

Os minerais que formam o agregado têm geralmente certa porosidade, isto é, alguns vazios internos que podem provocar absorção de água pelo agregado. Por isso, essa característica deve ser conhecida, pois um agregado totalmente seco pode absorver água do concreto, interferindo na sua consistência e prejudicando a trabalhabilidade.

As propriedades das rochas são muito influenciadas pela absorção da água. Rochas com alta absorção apresentam aumento na massa específica aparente saturada, enquanto a resistência mecânica diminui (FRAZÃO et al., 2007).

De acordo com a NBR 6.467 (ABNT, 1987), o inchamento é um fenômeno da variação do volume aparente, provocado pela absorção de água livre pelos grãos e que incide sobre a sua massa unitária.

Neville (1997), afirma que o inchamento é o aumento de volume de uma massa de areia devido às películas de água, deslocando as partículas tentando separá-las, resultando no inchamento do conjunto. Embora não altere a quantificação dos materiais em massa, na quantificação em volume, o inchamento resulta numa menor massa de areia ocupando o mesmo volume em uma caixa de medida.

Por essa razão, o autor afirma que a mistura apresenta-se com falta de agregado miúdo, aparentemente com excesso de pedra. Com isso, o concreto tende à segregação.

O inchamento varia com a umidade do agregado miúdo, chegando-se ao inchamento máximo com teores de umidade entre 4 e 6%. A partir do inchamento máximo ou umidade crítica, o mesmo não aumenta com o incremento da umidade,

permanecendo praticamente constante. Observa-se, também, que o agregado miúdo de granulometria mais fina apresenta inchamento maior do que o agregado de granulometria mais grossa. Isso pode ser explicado pela área específica do conjunto mais fino ser maior para o mesmo volume (PETRUCCI, 1971).

Foi verificado em outras pesquisas que o agregado miúdo britado incha mais do que a areia natural e que areias extremamente finas podem apresentar inchamento de até 40% para umidade de 10%. No entanto, para ambos os casos a produção de concretos de qualidade não se confirmou.

3.3.5 Influência da textura e índice de forma do grão

A forma geométrica e a textura do agregado miúdo são de difícil definição pela forma tridimensional do grão de areia. No entanto, alguns índices indicam limites para o uso do agregado, sem que a forma ou a textura prejudiquem de modo acentuado a trabalhabilidade dos concretos frescos.

Vários métodos indiretos de determinação da forma do agregado miúdo foram objeto de uma retrospectiva crítica de Gaynor e Meininger, mas não existe nenhum método disponível plenamente aceito.

Cita-se dentro dos índices avaliados o arredondamento, que normalmente não é definido por números, mas por termos analíticos, a saber: anguloso, subanguloso, subarredondado e arredondado (MINEROPAR, 2006).

A forma da partícula do agregado britado depende da natureza do mineral de origem, do tipo de britador e da sua relação de redução, isto é, da relação entre o tamanho de material que entra e do material que sai do britador (ISHIKAWA, 2003).

O grau de arredondamento e a esfericidade dos agregados miúdos são demonstrados na Figura 3.11.

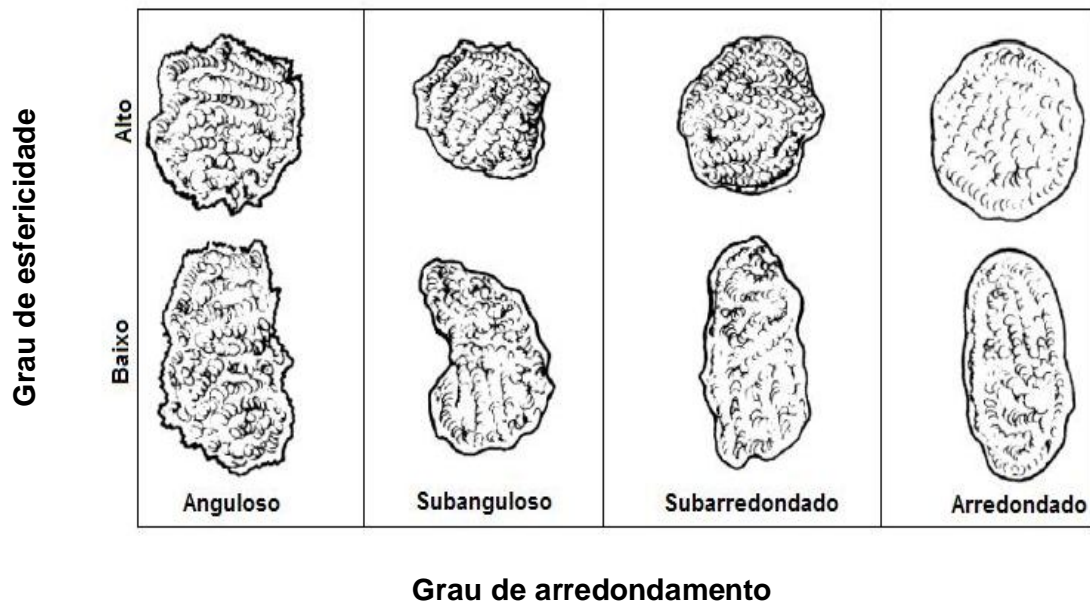


Figura 3.11 – Representação esquemática da avaliação do grau de arredondamento e esfericidade dos agregados NBR 7.389 (ABNT, 1992).

O interesse tecnológico quanto à forma da partícula do agregado é devido a sua influência na trabalhabilidade do concreto. Partículas alongadas ou lamelares apresentam área específica maior do que as partículas de forma regular, e, assim, influem de modo negativo na trabalhabilidade (NEVILLE, 1997).

A Tabela 3.5 mostra uma classificação da forma das partículas de acordo com a norma BS 812 (1975).

Tabela 3.5– Classificação da forma de partículas, BS 812 (1975).

Classificação	Descrição	Exemplos
Arredondado	Completamente erodido pela água ou pelo atrito	Seixo de rio ou de praia, areia de rio ou deserto
Irregular	Naturalmente irregular ou parcialmente desgastado por atrito, com cantos arredondados	Outros seixos, opalas
Lamelar	Material em que a espessura é pequena em relação às outras dimensões	Rochas laminadas
Anguloso	Possuem arestas bem definidas, formados pela interseção de faces relativamente planas	Pedras britadas em geral
Alongado	Geralmente anguloso, em que o comprimento é bem maior do que as outras dimensões	
Discóide	Comprimento muito maior do que a largura e a largura muito maior do que a espessura	

A esfericidade é outro aspecto analisado, onde se verifica o grau de aproximação de uma partícula à forma perfeitamente esférica, podendo as partículas serem assim classificadas: esferoidais ou equidimensionais, achatados ou em forma de disco, prismáticos ou em forma de bastão, lamelares e outros (MINEROPAR, 2006).

Segundo Neville (1997), esfericidade é definida como uma função da relação entre a área superficial das partículas e o seu volume e está relacionada

com a estratificação, com a clivagem da rocha-mãe e também está influenciada pelo tipo de equipamento de britamento. O autor alerta ainda que partículas com elevada relação entre a área superficial e o volume apresentam um interesse particular porque aumentam a demanda de água para uma dada trabalhabilidade do concreto.

A Figura 3.11 ilustra algumas dos tipos de formas de um agregado miúdo.

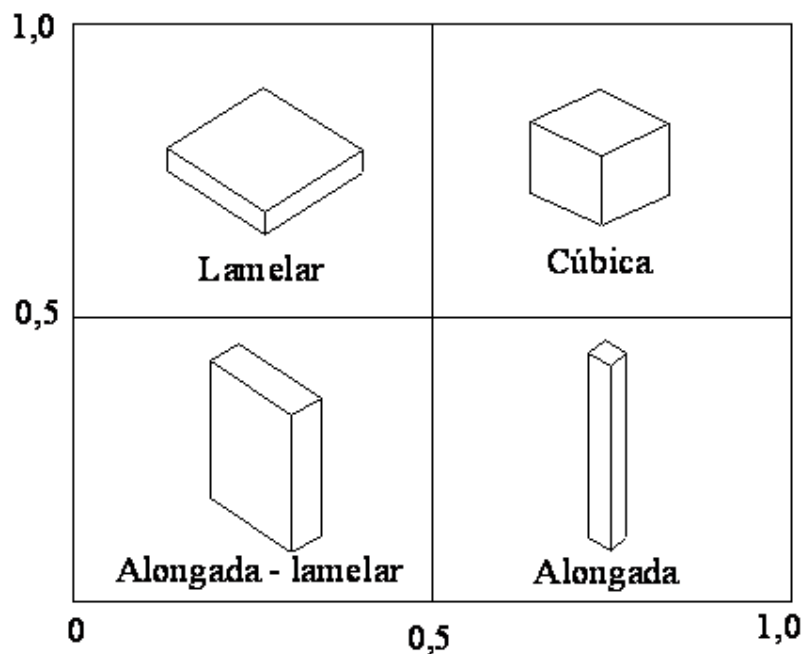


Figura 3.12 – Representação esquemática dos tipos de forma NBR 6.954 (ABNT, 1989).

No que se refere à textura superficial do agregado, sua avaliação é feita pelo grau de polimento ou rugosidade da superfície da partícula, sendo função principalmente da dureza, do tamanho do grão e das características dos poros da rocha matriz (MINEROPAR, 2004). Assim, a superfície dos grãos é avaliada de forma visual com lentes e podem ser classificadas como: polida, fosca, lisa, granulada, rugosa, cristalina, esponjosa ou poros conforme método da NBR 7.389 (ABNT, 1992).

A textura superficial do agregado tem influência sobre a sua aderência à pasta de cimento e também a demanda de água da mistura, especialmente no caso do agregado miúdo.

A Tabela 3.6 mostra uma classificação da textura superficial das partículas de acordo com a norma BS 812 (1975).

Tabela 3.6 – Classificação da Textura superficial BS 812 (1975).

GRUPO	TEXTURA	CARACTERÍSTICA	EXEMPLOS
1	Vítrea	Fatura conchoidal	Calcedônia, escória vitrificada
2	Lisa	Erodido por água, ou devido a fratura de cristais finos ou laminares	Seixo, ardósia, mármore, alguns riólitos
3	Granulosa	Fratura mostrando grãos uniformes mais ou menos arredondados	Arenito, oolito
4	Áspera	Fratura áspera de rochas finas ou grosseiramente granuladas com cristais não facilmente visíveis	Basalto, felsito, calcário
5	Cristalina	Com constituintes cristalinos facilmente visíveis	Granito, gabro, gnaisse
6	Alveolar	Com poros e cavidades visíveis	Tijolo, pedra pomes, espuma de escória, clínquer, argila expandida

Ainda não é completamente conhecido o papel da forma e da textura do agregado na evolução da resistência do concreto, mas acredita-se que uma textura mais áspera resulte em maiores forças de aderência entre as partículas e a matriz de cimento (NEVILLE, 1997).

A forma e a textura das partículas dos agregados influenciam mais as propriedades do concreto no estado fresco; comparando às partículas lisas e

arredondadas, as partículas de textura áspera, angulosas e alongadas requerem mais pasta de cimento para produzir misturas trabalháveis e, portanto, aumentam o custo do concreto.

3	INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS MIÚDOS NAS PROPRIEDADES DO CONCRETO	65
3.1	PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO	66
3.1.1	Trabalhabilidade	66
3.1.2	Teor de ar incorporado	68
3.2	PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO	69
3.2.1	Durabilidade	69
3.2.1.1	Reação álcali-agregado	70
3.2.1.2	Ensaio para avaliação de RAA em concretos	73
3.2.2	Resistência à compressão	76
3.2.3	Resistência à tração por compressão diametral	78
3.2.4	Módulo de deformação	79
3.2.5	Absorção de água por imersão	82
3.3	CARACTERÍSTICAS DOS AGREGADOS VERSUS PROPRIEDADES DO CONCRETO	83
3.3.1	Influência da granulometria	85
3.3.2	Influência das substâncias nocivas	89
3.3.2.1	Torrões de argila e materiais friáveis	90
3.3.2.2	Materiais pulverulentos	91
3.3.2.3	Impurezas orgânicas	92
3.3.2.4	Teor de cloretos e sulfatos solúveis	93
3.3.3	Influência da massa específica e da massa unitária	94
3.3.4	Influência da absorção de água e do inchamento	95
3.3.5	Influência da textura e índice de forma do grão	97

Figura 3.1 – Reatividade Potencial (Fonte: DCT.T.0529.2005- Furnas).	71
Figura 3.2 - Amostra de referência com quartzito: poro com aspecto vítreo (HASPARYK, 1999)	75
Figura 3.3 – Relação tensão-deformação elástica (à esquerda) e plástica (à direita) (VAN VLACK, 1970).	79
Figura 3.4 – Curva tensão-deformação da pasta de cimento, agregado e concreto (SENA RODRIGUES, 2003).	81
Figura 3.5 – Representação esquemática do comportamento tensão-deformação do concreto sob compressão uniaxial até a ruptura (MEHTA; MONTEIRO, 1994).....	82
Figura 3.6– Zona utilizável inferior. Fornece limite inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia entre 1,55 e 2,20 NBR 7.211 (ABNT, 2005).....	86
Figura 3.7– Zona ótima. Fornece limite inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia entre 2,20 e 2,90 NBR 7.211 (ABNT, 2005).	87
Figura 3.8 – Zona utilizável superior. Fornece limite inferior e superior para agregados miúdos com módulo de finura que varia entre 2,90 e 3,50 NBR 7.211 (ABNT, 2005).....	87
Figura 3.9– Forma de distribuição e comparação das respectivas variações de volumes de vazios (SELMO, 1986).....	89
Figura 3.10 – Representação esquemática da umidade do agregado (NEVILLE, 1997).....	96
Figura 3.11 – Representação esquemática da avaliação do grau de arredondamento e esfericidade dos agregados NBR 7.389 (ABNT, 1992).....	98
Figura 3.12 – Representação esquemática dos tipos de forma NBR 6.954 (ABNT, 1989).....	100

Tabela 3.1 - Resumo dos resultados obtidos da análise petrográfica dos agregados graúdos (ANDRADE et al., 2006)	74
Tabela 3.2 – Propriedades do concreto influenciadas pelas características do agregado (MENOSSI, 2004).	84
Tabela 3.3 – Limites máximos aceitáveis de substâncias nocivas no agregado miúdo com relação à massa do material NBR 7211 (ABNT, 2005).	90
Tabela 3.4 – Teor crítico de cloretos em relação à massa de cimento (SILVA, F. G., 2006).	93
Tabela 3.5– Classificação da forma de partículas, BS 812 (1975).	99
Tabela 3.6 – Classificação da Textura superficial BS 812 (1975).	101

4

PROGRAMA EXPERIMENTAL: SELEÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E METODOLOGIAS DE ENSAIOS.

4.1 INTRODUÇÃO

A metodologia utilizada para a realização dos ensaios da pesquisa foi baseada em ensaios normalizados, onde se buscou atender aos objetivos da dissertação, como também serviram para alicerçar o desenvolvimento das técnicas de pesquisa e de ensaio para agregados alternativos.

Neste capítulo da dissertação apresenta-se a metodologia para avaliar as características dos agregados miúdos e as propriedades dos concretos frescos e endurecido produzidos com as diferentes proporções de areia artificial³ em substituição à areia natural.

Portanto, foi proposta uma metodologia para verificar a influência da areia artificial (AA) de rocha britada em substituição à areia natural (AN), na qualidade do concreto no estado fresco e endurecido, levando-se em conta os aspectos mecânicos, físico, químicos e microestruturais.

Assim, o programa de pesquisa foi realizado com base em 15 (quinze) tipos diferentes de traços de concreto, obtidos pelo método IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992).

- Traço rico (1: 3,5) com as seguintes substituições de AN por AA: (REF, 25%, 50%, 75% e 100%);
- Traço médio (1:5,0) com as seguintes substituições de AN por AA: (REF, 25%, 50%, 75% e 100%);
- Traço pobre (1:6,5) com as seguintes substituições de AN por AA: (REF, 25%, 50%, 75% e 100%); os mesmos englobaram os ensaios descritos a seguir.

³ Areia Artificial segundo Sbrighi, (2006) este termo está sendo alterado para uma expressão mais usual pelos profissionais e técnicos do meio é denominada agora como sendo areia britada ou areia de britagem.

Na caracterização dos agregados miúdos, foi feita uma análise comparativa entre as duas areias, seguindo os seguintes procedimentos normativos da NBR 7211 (ABNT, 2005): granulometria, torrões de argila e materiais friáveis, material pulverulento, impurezas orgânicas, teor de cloretos, teor de sulfatos solúveis, massa específica, massa unitária, absorção de água, inchamento e, sobretudo, textura e índice de forma do grão.

No concreto fresco, foram realizados as avaliações de abatimento do tronco cone, teor de ar incorporado e massa específica.

No concreto endurecido, foram realizados os ensaios de resistência à compressão, tração por compressão diametral, módulo de deformação, ensaios de determinação da absorção de água por imersão e reação álcali-agregado.

Para avaliar os parâmetros de forma e textura dos grãos, foram feitas observações e registros fotográficos por intermédio do estereoscópio.

Para análise e comparação dos custos unitários da produção de cada traço estudado, foram pesquisados os preços dos insumos no mercado da construção civil da Grande Goiânia. Posteriormente, foram elaboradas as composições de custo unitário.

Deve-se ressaltar que a seleção dos materiais utilizados nesta pesquisa deu-se, principalmente, pela disponibilidade dos mesmos na região. Outro fator determinante está relacionado ao crescente uso desses materiais alternativos por parte dos construtores na execução de edificações habitacionais.

4.2 LOCAIS DOS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados nos seguintes laboratórios:

- a) Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia Civil, chamado de LMC/EEC/UFG;
- b) Laboratório Concremat – Qualimat, em São Paulo – SP, chamado nesta pesquisa de Concremat;
- c) Laboratório Carlos Campos, onde foram realizados alguns dos ensaios de caracterização.

Obteve-se suporte técnico das empresas Britagran e Agrecon, cujos materiais cedidos foram respectivamente a areia britada coletada em sua planta de

britagem, localizada em Nova Veneza – GO e a areia natural foi coletada nas jazidas de extração em Faina-GO.

4.3 PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS

As variáveis dependentes, independentes e os parâmetros fixos referentes às metodologias do programa experimental seguem descritos nos itens 4.3.1, 4.3.2 e 4.3.3, respectivamente.

4.3.1 Variáveis dependentes

4.3.1.1 Abatimento do tronco de cone

A trabalhabilidade pode ser entendida, de acordo com a ASTM C 125 (ASTM, 2003), como sendo a propriedade que determina o esforço necessário para manipular uma quantidade de concreto fresco com perda mínima de homogeneidade, incluindo-se no significado do termo manipular, operações como lançamento, adensamento e acabamento do concreto.

No presente trabalho, optou-se pela produção de concretos com diferentes proporções de substituição de agregados miúdos, porém, manteve-se a relação a/c nas famílias dos concretos. Com isso, foram analisadas as diferenças do comportamento reológico dos concretos estudados. Dessa forma, tal procedimento permitiu que se verificassem informações pertinentes ao abatimento e à trabalhabilidade em função das diferentes proporções de agregados miúdos.

De acordo com Campos (2007), a energia de moldagem também é um fator determinante, pois em um corpo-de-prova de 10x20cm, por exemplo, se for aplicada 10 golpes a mais por camada, correspondem a um aumento na resistência de até 50%.

4.3.1.2 Teor de ar incorporado

Utilizou-se deste ensaio no concreto fresco para verificar se há variação do teor de ar incorporado nos concretos devido ao uso das diferentes proporções de

substituição de agregado natural por agregado artificial, uma vez que este possui maior teor de material pulverulento.

Um teor de 3 a 4% de ar pode garantir considerável aumento de trabalhabilidade no concreto, trazendo benefícios ao seu lançamento e cura. Essa incorporação é recomendável em misturas cujo comportamento reológico obtido não é satisfatório, compensando, inclusive eventuais perdas de resistência (AÏTCIN, 2000).

4.3.1.3 Resistência à compressão

Nos sólidos existe uma relação inversa fundamental entre porosidade (fração do volume de vazios) e resistência. Com isso, os agregados naturais, por serem normalmente densos e resistentes, permitem que a porosidade da pasta de cimento endurecida, as características da zona de transição entre matriz (pasta) e o agregado graúdo determinem a resistência dos concretos usuais (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

No entanto, segundo Helene, (1993), qualquer modificação na uniformidade, na natureza e no proporcionamento dos materiais poderá levar a uma variação na resistência, pois esta é uma propriedade muito sensível, sendo, portanto, a propriedade do concreto que melhor o qualifica.

Dessa forma, optou-se por realizar este ensaio para verificar e comparar a influência na resistência à compressão dos concretos, quando da utilização dos agregados artificiais em diferentes proporções de substituição.

4.3.1.4 Tração por compressão diametral

A resistência à tração por compressão diametral do concreto se fez necessária pelos mesmos motivos já apresentado na análise da resistência à compressão (Item 4.3.1.3).

4.3.1.5 Módulo de deformação

Um material é considerado elástico se possuir a capacidade de se deformar quando submetido a um carregamento e que essas deformações sejam reversíveis e recuperáveis quando retirado o carregamento (ANDRIOLO et al., 1995).

Este autor afirma, ainda, que os agregados na composição dos concretos, com volume de sólidos que varia de 65 e 85%, e por terem, dependendo do tipo da rocha, diferentes módulos podem variar de 800.000 kgf/cm² a 2.000.000 kgf/cm². Os agregados estudados podem, portanto, ter influência direta nessa propriedade, sendo evidente a importância deste ensaio para a pesquisa.

4.3.1.6 Absorção de água por imersão

O referido ensaio é apropriado para avaliação comparativa entre diferentes concretos submetidos a diferentes dosagens, porém, em algumas experiências realizadas pelo autor, ocorreu grande variabilidade nos resultados.

Nesta pesquisa, utilizou-se desse ensaio para avaliar a qualidade do material empregado e se há alteração desta propriedade devido ao formato diferenciado das partículas, devido ao diferente teor de finos e devido também a variação do teor de AA na mistura do concreto. O objetivo é analisar o fechamento da mistura e a compacidade do concreto no estado endurecido devido à provável ocupação dos vazios pelos finos do agregado artificial. Este ensaio foi importante, também, pois permitiu verificar se houve aumento ou não na porosidade nos corpos-de-prova analisados.

4.3.1.7 Reação álcali-agregado

Para a avaliação da RAA, foi utilizado o método das expansões em barra de argamassa, cujo ensaio é preconizado pela norma ASTM C – 1260 (ASTM, 2005).

Tal procedimento se fez necessário, uma vez que o fenômeno patológico vem sendo discutido por vários pesquisadores e tecnólogos do concreto, principalmente quando se trata do uso de agregados alternativos.

4.3.2 Variáveis independentes

Foram consideradas como variáveis independentes desta pesquisa a idade dos ensaios e o método de dosagem.

4.3.2.1 Idade dos ensaios

As idades para a realização dos ensaios foram estabelecidas em função do tempo disponível e da necessidade específica de cada ensaio. Procurou-se adotar idades de ensaio comumente utilizadas na análise de comportamento de concreto.

4.3.2.2 Método de dosagem

Para a dosagem do concreto convencional, empregou-se o método IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992), pois é um método de dosagem de fácil desenvolvimento e execução. É totalmente experimental e baseia-se na determinação de um teor ideal de argamassa da mistura, ou seja, cobrimento adequado dos grãos por argamassa. Para o cálculo do consumo de cimento, adotou-se o procedimento experimental desenvolvido por Alves (1999).

4.3.3 Parâmetros fixos

Dos parâmetros fixos, tem-se a cura, as dimensões dos corpos-de-prova e os teores de substituição do AN pelo AA.

4.3.3.1 Cura

Foi utilizada a condição de 7 (sete) dias de cura úmida e, após este período, a amostra permaneceu no laboratório sem controle de umidade e temperatura até a data dos ensaios relacionados nesta pesquisa.

4.3.3.2 Dimensões dos corpos-de-prova

Foram moldadas as amostras em corpos-de-prova (CPs) cilíndricos de dimensões 10X20cm, para todos os ensaios relacionados na verificação das propriedades no concreto endurecido. Foi adotado o processo de adensamento manual, conforme a norma NBR 5738 (ABNT , 2003).

4.3.3.3 Teores de substituição do AN pelo AA

Foram estabelecidas as proporções de substituição de areia natural pelo areia artificial. Seguiu-se a mesma condição para os 15 traços estudados e em todos os casos, a dosagem foi realizada em função da massa dos agregados.

4.3.4 Planejamento dos ensaios

A Figura 4.1 mostra o fluxograma de planejamento geral dos ensaios de caracterização realizados com os agregados miúdos, bem como o planejamento dos ensaios para os concretos no estado fresco e endurecido.

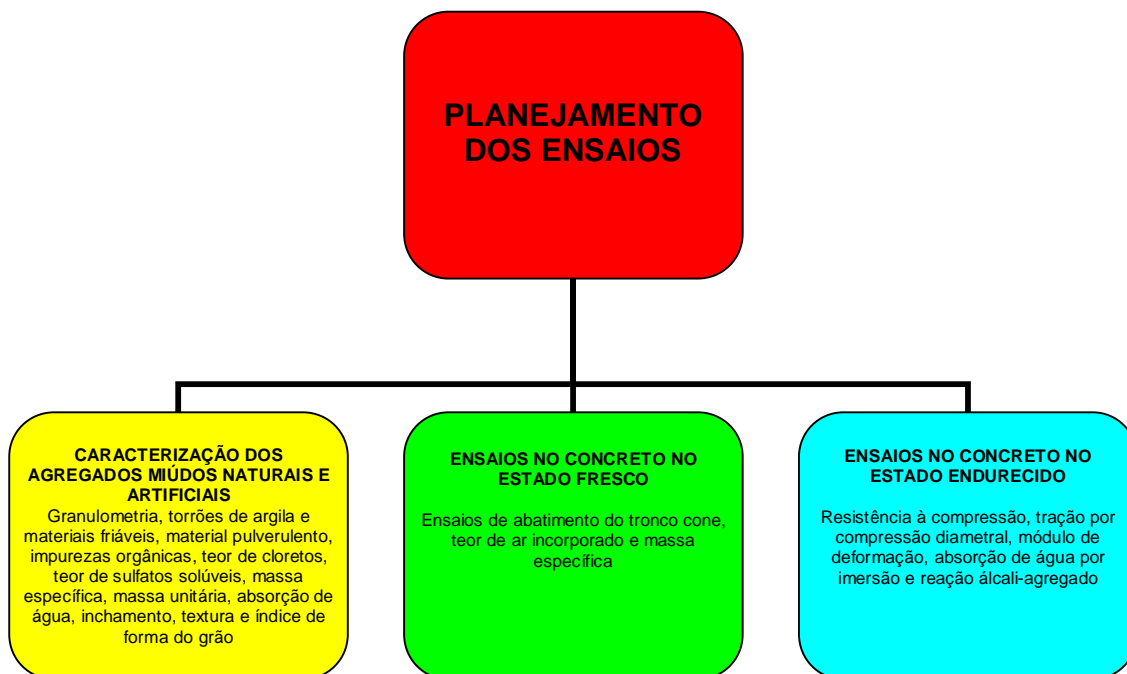


Figura 4.1 – Planejamento dos ensaios

A Figura 4.2 mostra o fluxograma de planejamento das famílias de traços de concretos que foram produzidas para realização dos ensaios. E para o melhor entendimento dos tipos de concretos estudados, é apresentada na Tabela 4.1 a nomenclatura dos componentes dos traços.

Tabela 4.1 – Componentes e abreviações.

Item	Componentes	Abreviações
1	Areia Natural	AN
2	Areia Artificial	AA
3	Concreto de referência	CR
4	Concreto com 25% de AA e 75% de AN	CAA25
5	Concreto com 50% de AA e 50% de AN	CAA50
6	Concreto com 75% de AA e 25% de AN	CAA75
7	Concreto com 100% de AA	CAA100

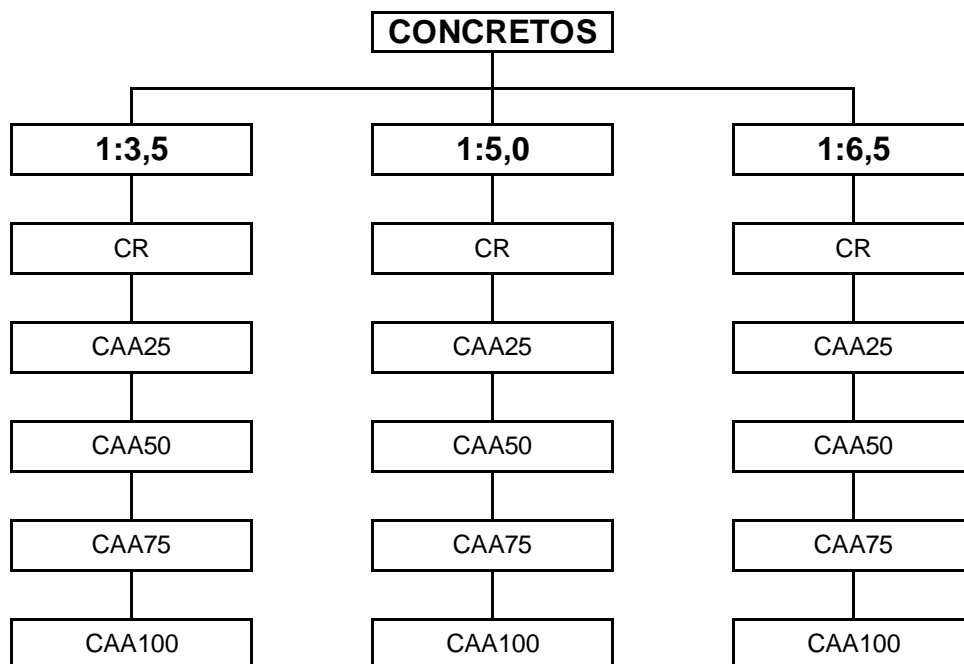


Figura 4.2 – Fluxograma com as famílias de traços empregados.

4.4 MATERIAIS EMPREGADOS NA PESQUISA

Neste item, estão apresentados os materiais utilizados na pesquisa. Alguns deles são provenientes de diferentes localidades do Estado de Goiás.

4.4.1 Cimento Portland

O cimento utilizado nos concretos de todo o programa experimental foi o Cimento Portland CPlI – F, Classe 32, por ser o mais utilizado na região da Grande Goiânia e por estar em conformidade com a NBR EB 2.138 (ABNT, 1991).

4.4.2 Agregado miúdo natural

O agregado miúdo natural foi proveniente do leito do Rio do Peixe, localizada no município de Faina – GO, distante aproximadamente 250km de Goiânia.

Na Região Centro-Oeste, em especial na região metropolitana da capital goiana, foi verificado que, na construção civil, onde há a necessidade do uso de agregados miúdos, grande parte deste material empregado na produção de concreto hidráulico continua sendo o agregado miúdo natural. Portanto, o mesmo compôs integralmente o concreto de referência.

A caracterização física da areia natural utilizada na pesquisa foi realizada no LMC/EEC/UFG e no laboratório da empresa Carlos Campos.

A caracterização química das amostras dos agregados naturais foi realizada no Laboratório Concremat.

A areia natural foi previamente secada e estocada em tambores isolados de umidade e de fontes de calor. Foi devidamente armazenada no LMC/EEC/UFG antes de sua utilização nos experimentos.

Os resultados da caracterização do agregado miúdo natural são apresentados na Tabela 5.3.

A Figura 4.3 mostra a areia natural armazenada no LMC/EEC/UFG.



Figura 4.3 – Agregado miúdo natural.

4.4.3 Agregado miúdo artificial

O agregado miúdo artificial utilizado no programa foi fornecido pela empresa Britagran, cujas instalações de britagem estão localizadas no município de Nova Veneza – GO, distante aproximadamente 30km do Centro de Goiânia.

A caracterização física da areia artificial utilizada na pesquisa foi realizada no LMC/EEC/UFG e no laboratório da empresa Carlos Campos.

A caracterização química das amostras de agregados artificiais foi realizada no Laboratório Concremat.

A areia artificial foi previamente secada e estocada em tambores isolados de umidade e de fontes de calor. Foi devidamente armazenada no LMC/EEC/UFG antes de sua utilização nos experimentos.

Os resultados da caracterização deste insumo são apresentados na Tabela 5.5.

A Figura 4.4 mostra o agregado miúdo artificial armazenado no LMC/EEC/UFG.



Figura 4.4 – Agregado miúdo artificial.

4.4.4 Agregado graúdo

O agregado graúdo utilizado na pesquisa, tanto para os concretos de referência como para os demais, foram fornecidos pela empresa Britagran e o mesmo é mostrado na Figura 4.5.

A caracterização física dos agregados graúdos utilizados na pesquisa está apresentada na Tabela 5.1 e foram realizados no LMC/EEC/UFG.



Figura 4.5 – Agregado graúdo.

O agregado graúdo britado é de composição granito-gnaiss de origem ígnea-metamórfica, conforme relatório DCT. T.01.000.2005 – R0 de Furnas (ANEXO C).

4.4.5 Água

A água utilizada na produção das amostras de concreto foi proveniente da rede de abastecimento pública da Saneago.

4.5 METODOLOGIAS DE ENSAIO

4.5.1 Caracterização dos agregados

Para os ensaios de caracterização dos materiais, os agregados foram submetidos a um processo de preparação que envolveu secagem dos grãos ao ar livre e depois em estufa a $100\pm 5^\circ\text{C}$, por 24 horas, e homogeneização por meio de sucessivos quarteamentos, para garantir a reprodutibilidade dos resultados.

4.5.1.1 Granulometria

O procedimento adotado para a determinação da composição granulométrica das areias fez-se com uso da norma NBR NM 248 (ABNT, 2003d).

Os resultados da determinação da composição granulométrica das areias natural e artificial estão apresentados na Tabela 5.3 e na Tabela 5.5, respectivamente, do Item 5.2.2. O procedimento de ensaio é ilustrado pelas Figuras 4.6 e 4.7.



Figura 4.6 – Peneiras utilizadas no ensaio da determinação da composição granulométrica.



Figura 4.7 – Areia sendo peneirada.

4.5.1.2 Torrões de argila e materiais friáveis

O ensaio foi realizado conforme a norma NBR NM 44 (ABNT, 2005).
Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no Item 5.2.2.1.

4.5.1.3 Material pulverulento

O ensaio foi realizado conforme a norma NBR NM 46 (ABNT, 2003a).
Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no Item 5.2.2.1.

4.5.1.4 Impurezas orgânicas

A determinação das impurezas orgânicas somente pode ser realizada para agregados miúdos. No presente estudo, esse ensaio foi realizado conforme o método preconizado pela NBR NM49 (ABNT, 2001b).

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no Item 5.2.2.1.

4.5.1.5 Teor de cloretos e sulfatos solúveis

Esse ensaio foi realizado conforme a norma NBR 9.917 (ABNT, 1987g) no laboratório da Concremat.

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no Item 5.2.2.1.

4.5.1.6 Massa específica

Massa específica pode ser definida como sendo a massa do agregado por unidade de volume, incluindo os vazios internos do mesmo.

A massa específica do agregado é necessária para os cálculos das quantidades de materiais em algumas metodologias de dosagem de concreto e, quando de posse do traço unitário em massa, é útil no cálculo do consumo de materiais por volume de concreto.

O ensaio para determinação da massa específica dos agregados miúdo natural e artificial seguiu as recomendações da NBR NM 52 (ABNT, 2003b).

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no Item 5.2.2.1.

4.5.1.7 Massa unitária

É a massa por unidade de volume do agregado compactado segundo um determinado processo, considerando-se os vazios entre os grãos. É usado para a escolha da mistura de agregados mais compacta em dosagens de concreto.

O ensaio foi realizado segundo as recomendações da NBR 7.251 (ABNT, 1982b).

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no Item 5.2.2.1.

4.5.1.8 Absorção de água

O ensaio foi realizado conforme a NBR NM 30 (ABNT, 2001a).

Os resultados da determinação da absorção são apresentados na Tabela 5.7 e discutidos no Item 5.2.2.1. O procedimento de ensaio é ilustrado pelas Figuras 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11.



Figura 4.8 – Secagem ao ar.



Figura 4.9 – Cone com areia de rio.



Figura 4.10 – Cone de agregado saturado.



Figura 4.11 – Recipiente com areia e água.

4.5.1.9 Inchamento

O método de ensaio foi realizado conforme a NBR 6467 (ABNT, 1987a).

Os resultados da determinação do inchamento estão apresentados e discutidas no Item 5.2.2.1. O procedimento de ensaio é ilustrado pelas Figuras 4.12, 4.13 e 4.14.



Figura 4.12 – AN sendo umedecido.



Figura 4.13 – AN sendo homogeneizada.



Figura 4.14 – AN sendo preparada para pesagem.

4.5.1.10 Textura e índice de forma do grão

A microscopia estereoscópica é um método de avaliação que utiliza o microscópio estereoscópico de luz refletida (ou lupa binocular) para a análise de amostras.

Este método foi utilizado para análise das partículas dos agregados que podem se apresentar com diversas texturas (entre lisa e áspera), com diversas formas, com diversos graus de esfericidade, enfim, com muitos aspectos a serem analisados. Para analisar tais parâmetros com esse aparelho, observou-se e registrou-se por fotografias porções de três tipos diferentes de agregado miúdo: areia natural, areia artificial e areia normal. A partir dessas imagens, foi feita uma bateria de comparações quanto à forma, à textura, à quantidade de finos, dentre outros.

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no Item 5.2.2.1.

4.5.2 Produção dos corpos-de-prova

4.5.2.1 Corpos-de-prova

O dimensionamento das amostras, ou seja, a quantidade dos corpos de provas a serem ensaiados, foi determinada conforme o número de experimentos estabelecidos para verificação das propriedades no estado endurecido e foi considerada, sobretudo, uma quantidade suficiente para representar estatisticamente o fenômeno estudado.

A Tabela 4.2 qualifica os ensaios e o número dos corpos-de-prova necessários para as análises das propriedades do concreto endurecido.

Tabela 4.2 – Corpos-de-prova utilizados para avaliação das propriedades do concreto endurecido.

TRAÇO	TIPO	DIMENSÃO DO CP	RESIST. À COMPRESSÃO	TRAÇÃO P/ COMPRESSÃO DIAMETRAL	MÓD. DE ELASTICIDADE	ABSORÇÃO P/ IMERSÃO
			Nº DE CP's	Nº DE CP's	Nº DE CP's	Nº DE CP's
1 : 3,5	CR	10 X 20	8	4	4	2
	CAA25	10 X 20	8	4	4	2
	CAA50	10 X 20	8	4	4	2
	CAA75	10 X 20	8	4	4	2
	CAA100	10 X 20	8	4	4	2
SUB-TOTAL DE AMOSTRAS			40	20	20	10
1 : 5,0	CR	10 X 20	8	4	4	2
	CAA25	10 X 20	8	4	4	2
	CAA50	10 X 20	8	4	4	2
	CAA75	10 X 20	8	4	4	2
	CAA100	10 X 20	8	4	4	2
SUB-TOTAL DE AMOSTRAS			40	20	20	10
1 : 6,5	CR	10 X 20	8	4	4	2
	CAA25	10 X 20	8	4	4	2
	CAA50	10 X 20	8	4	4	2
	CAA75	10 X 20	8	4	4	2
	CAA100	10 X 20	8	4	4	2
SUB-TOTAL DE AMOSTRAS			40	20	20	10
SUB-TOTAL GERAL DE AMOSTRAS			120	60	60	30
TOTAL GERAL DE AMOSTRAS			270			

Foram moldados 270 corpos-de-prova cilíndricos. Desse total, 120 foram para os ensaios de resistência à compressão com rupturas aos 7, 28 e 56 dias. Para o ensaio de tração por compressão diametral, foram previstos 60 corpos-de-prova, com rupturas aos 7 e 28 dias. Para o ensaio de módulo de deformação, foram preparados 60 corpos-de-prova e previstos testes aos 28 dias. Para os ensaios de absorção por imersão, foram realizados testes aos 28 dias e moldados 30 corpos-de-prova.

4.5.2.2 Definição do método de dosagem e dos traços

O método de dosagem utilizado foi o IPT/EPUSP (HELENE; TERZIAN, 1992). Este método prevê a elaboração de um traço intermediário 1 : m, (cimento : agregados), onde verificou-se o abatimento para um determinado teor de argamassa e também a coesão da mistura. Após análise do abatimento ajustou-se experimentalmente, até a um patamar ideal de trabalhabilidade, e de coesão e, principalmente, verificou-se o teor de argamassa.

O teor de argamassa é dado pela equação 4.1:

$$\alpha = \frac{1 + a}{1 + m} \quad \text{Equação (4.1)}$$

Onde:

α = **Teor de argamassa seca;**

a = **agregado miúdo seco (areia);**

m = **agregados secos (pedra + areia).**

No procedimento de preparação das dosagens, foi adotado o volume de argamassa como sendo constante para as diferentes substituições. E, para o cálculo do consumo de cimento, adotou-se o procedimento experimental de acordo com Alves (1999), que sugere no ajuste das dosagens os seguintes parâmetros:

- a) Água ajustado por m³ de concreto;
- b) Teor de ar; e
- c) Volume de argamassa constante (Volume de pasta + Volume de agregado miúdo).

Adotou-se, portanto a equação 4.2 para o cálculo do consumo de cimento, conforme o traço em análise:

$$C = \frac{(1000 - ar)}{\left(\frac{1}{\delta_c} + \frac{m}{\delta_m} + \frac{a}{C} \right)}$$

Onde que:

$$C \left(\frac{1}{\delta_c} + \frac{m}{\delta_m} \right) + a = (1000 - ar)$$

Temos que:

$$C = \frac{(1000 - ar - a)}{\left(\frac{1}{\delta_c} + \frac{m}{\delta_m} \right)} \quad \text{Equação (4.2)}$$

Em seguida, foram produzidos mais dois traços, um mais rico e outro mais pobre em cimento. Após a ruptura dos corpos-de-prova e de posse dos valores de resistência à compressão, elaborou-se um diagrama de dosagem, o qual correlaciona resistência à compressão, relação água/cimento, consumo de cimento e traço unitário em massa.

O primeiro passo foi ajustar o traço de 1: 5,0 para o concreto de referência, isto é, com 100% AN. Chegou-se a um teor ideal de argamassa de 54%, relação água/cimento de 0,63, com bom padrão de trabalhabilidade e coesão, mostrando abatimento do tronco de cone de 110mm.

De posse do teor ideal de argamassa, calcularam-se os demais traços estabelecidos no estudo (1: 3,5 e 1: 6,5).

A Tabela 4.3 apresenta os traços calculados de cada mistura de concreto e a Tabela 4.4 apresenta o traço unitário em massa.

Tabela 4.3 – Proporcionalamento dos concretos utilizados.

Nº da Mistura	Composição	m	Relação a/c	Cimento (kg/m ³)	AN (kg/m ³)	AA (kg/m ³)	Brita (kg/m ³)	Água (kg/m ³)
1	CR	3,5	0,5	457,15	653,72	0	946,30	228,57
2	CAA25	3,5	0,5	460,27	492,49	165,70	952,76	230,13
3	CAA50	3,5	0,5	461,97	330,31	330,31	956,28	230,98
4	CAA75	3,5	0,5	463,21	166,75	495,63	958,84	231,60
5	CAA100	3,5	0,5	464,46	0	664,18	961,43	232,23
6	CR	5,0	0,63	344,71	772,15	0	951,40	217,17
7	CAA25	5,0	0,63	348,23	585,03	195,01	961,11	219,38
8	CAA50	5,0	0,63	349,27	391,18	391,18	963,98	220,04
9	CAA75	5,0	0,63	349,96	195,98	587,93	965,89	220,47
10	CAA100	5,0	0,63	351,01	0	786,26	968,79	221,14
11	CR	6,5	0,79	273,20	833,26	0	942,54	215,83
12	CAA25	6,5	0,79	276,61	633,44	210,22	954,30	218,52
13	CAA50	6,5	0,79	278,06	424,04	424,04	959,31	219,67
14	CAA75	6,5	0,79	278,65	211,77	638,11	961,34	220,13
15	CAA100	6,5	0,79	279,81	0	853,42	965,34	221,05

Tabela 4.4 – Traço unitário de cada mistura, em massa.

Nº da Mistura	Composição	m	Cimento	Areia Natural	Areia Artificial	Brita	a/c
1	CR	3,5	1	1,43	0	2,07	0,5
2	CAA25	3,5	1	1,07	0,36	2,07	0,5
3	CAA50	3,5	1	0,715	0,715	2,07	0,5
4	CAA75	3,5	1	0,36	1,07	2,07	0,5
5	CAA100	3,5	1	0	1,43	2,07	0,5
6	CR	5,0	1	2,24	0	2,76	0,63
7	CAA25	5,0	1	1,68	0,56	2,76	0,63
8	CAA50	5,0	1	1,12	1,12	2,76	0,63
9	CAA75	5,0	1	0,56	1,68	2,76	0,63
10	CAA100	5,0	1	0	2,24	2,76	0,63
11	CR	6,5	1	3,05	0	3,45	0,79
12	CAA25	6,5	1	2,29	0,76	3,45	0,79
13	CAA50	6,5	1	1,52	1,52	3,45	0,79
14	CAA75	6,5	1	0,76	2,29	3,45	0,79
15	CAA100	6,5	1	0	3,05	3,45	0,79

É importante destacar que a seleção dos materiais componentes dos concretos é o primeiro passo na busca da obtenção de concretos com certas características de desempenho. O passo seguinte é o processo de dosagem por meio do qual é obtida a proporção ideal entre esses componentes (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

O ideal, de acordo com as conclusões de Mehta; Monteiro (1994) seria a comparação de concretos com as mesmas relações água/cimento.

Segundo Helene (1992), as propriedades funcionais do concreto endurecido como, por exemplo, resistência, durabilidade e aparência, somente podem ser asseguradas se a trabalhabilidade do concreto fresco for compatível com as condições de trabalho.

O teor ideal de argamassa é segundo Helene; Terzian (1992), de grande importância para a qualidade dos concretos. A falta de argamassa em uma mistura de concreto ocasiona uma maior porosidade e o surgimento de falhas durante a concretagem. Já o seu excesso provoca o risco de fissuração de origem térmica e de retração por secagem, devido à alta quantidade de cimento.

A etapa seguinte do estudo de dosagem consiste na elaboração de um diagrama que correlaciona as três leis básicas para dosagens: Lei de Abrams, Lei de Lyse e Lei de Molinari.

a) Lei de Abrams

A curva de Abrams é a relação entre as resistências à compressão e as respectivas relações água/cimento. É de grande importância o formato dessa curva, pois ela pode indicar tendência e ser utilizada para futuras dosagens de concreto. A Lei de Abrams admite que a resistência de um concreto é inversamente proporcional a sua relação água/cimento, segundo a fórmula:

$$f = \left(\frac{A}{B^x} \right) \quad \text{Equação (4.3)}$$

Onde :

f = Resistência;

x = Relação água/cimento;

A e B = Constantes empíricas.

b) Lei de Lyse

A Lei de Lyse, utilizada no Brasil, enuncia que a consistência de um concreto, medida pelo abatimento do tronco de cone (slump), permanece constante independentemente da riqueza da mistura, caso sejam mantidos constantes o tipo e a graduação dos agregados, o teor de argamassa e a relação água/materiais secos (H). A partir dessa 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

A lei de Molinari relaciona o consumo de cimento por metro cúbico com o traço utilizado para os concretos.

4.5.3 Ensaio no concreto fresco

Após a definição da quantidade de concreto a ser produzido, do cálculo dos traços e da preparação dos agregados na condição de superfície saturada seca (SSS), foram iniciados, então, os procedimentos de mistura mecânica dos materiais, em velocidade lenta, no tempo de 3 a 4 minutos. Foram confeccionadas 15 (quinze) betonadas de concreto, que foram devidamente lançadas nos moldes cilíndricos 10x20 cm, conforme mostram as Figuras 4.15 e 4.16. Os mesmos foram adensados manualmente, conforme recomendações da NBR 5.738 (ABNT, 2003).



Figura 4.15 – Preparação de concreto na betoneira.



Figura 4.16 – Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos.

Com os concretos no estado fresco, foram realizados os ensaios de abatimento do tronco de cone, teor de ar incorporado e massa específica.

4.5.3.1 Trabalhabilidade – Abatimento do tronco de cone

O método definido na pesquisa para avaliação da trabalhabilidade foi a medida do abatimento do tronco de cone, o qual foi realizado para cada mistura.

Para este ensaio, foi utilizado o método preconizado na NBR 7223 (ABNT, 1982a).

A Figura 4.17 mostra o ensaio de abatimento do tronco de cone sendo realizado.



Figura 4.17 – Ensaio no concreto fresco: abatimento do tronco de cone.

Os resultados obtidos deste ensaio, bem como, as devidas análises, encontram-se no Item 5.4.

4.5.3.2 Teor de ar incorporado

Depois de definida a trabalhabilidade do concreto, foi medido, para cada mistura, o teor de ar incorporado, de acordo com a norma NBR 11.686 (ABNT, 1990).

O instrumento para a determinação do teor de ar incorporado no concreto fresco tem um recipiente de aproximadamente 8litros, que acompanha o conjunto, e um manômetro com escala de 0 a 100%.

A Figura 4.18 mostra o ensaio de medida do teor de ar incorporado sendo realizado.



Figura 4.18 – Ensaio no concreto fresco: teor de ar incorporado.

Os resultados obtidos neste ensaio estão apresentados e devidamente analisados no item 5.4.

4.5.3.3 Massa específica

Depois de definida a trabalhabilidade do concreto, determinou-se para cada mistura a massa específica, conforme a norma NBR 9.833 (ABNT, 1987f).

A Figura 4.19 ilustra o ensaio de massa específica sendo realizado.



Figura 4.19 – Ensaio no concreto fresco: massa específica.

Os resultados obtidos neste ensaio encontram-se no Item 5.4.

4.5.4 Ensaio no concreto endurecido

4.5.4.1 Resistência à compressão

Os ensaios foram realizados segundo a norma NBR 5.739 (ABNT, 1994a).

A Figura 4.20 mostra a prensa hidráulica sendo preparada para realização do ensaio.



Figura 4.20 – Ensaio de resistência à compressão sendo preparado.

Os resultados e as análises obtidos neste ensaio encontram-se no Item 5.5.

4.5.4.2 Tração por compressão diametral

Neste ensaio, os corpos-de-prova são submetidos a cargas de compressão ao longo de duas linhas axiais, as quais devem ser diametralmente opostas. A tensão de compressão produz uma tensão transversal que é uniforme ao longo do diâmetro vertical. As ações das forças da resistência à tração estão demonstradas na Figura 4.21.

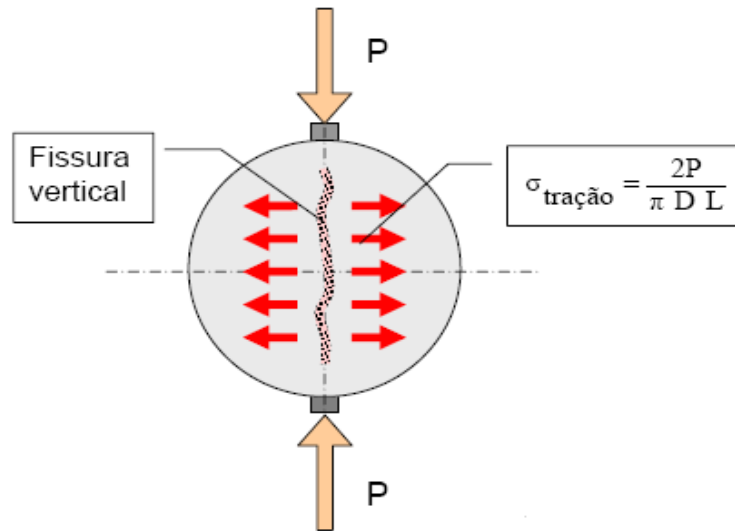


Figura 4.21 – Disposição dos esforços no corpo-de-prova (THOMAZ, 2002).

A carga de tração é calculada conforme a Equação 4.3, cuja fórmula é expressa pela seguinte representação:

$$\sigma_{tração} = \frac{2P}{\pi.D.L} \quad \text{Equação (4.4)}$$

Onde:

σ = a resistência de tração;

P = a carga de ruptura;

L = o comprimento;

D = o diâmetro do testemunho.

Os ensaios foram realizados segundo a norma NBR 7.222 (ABNT, 1994b). Os resultados e as análises obtidas neste ensaio encontram-se no Item 5.5 e a Figura 4.22 mostra o ensaio de Tração sendo realizado.

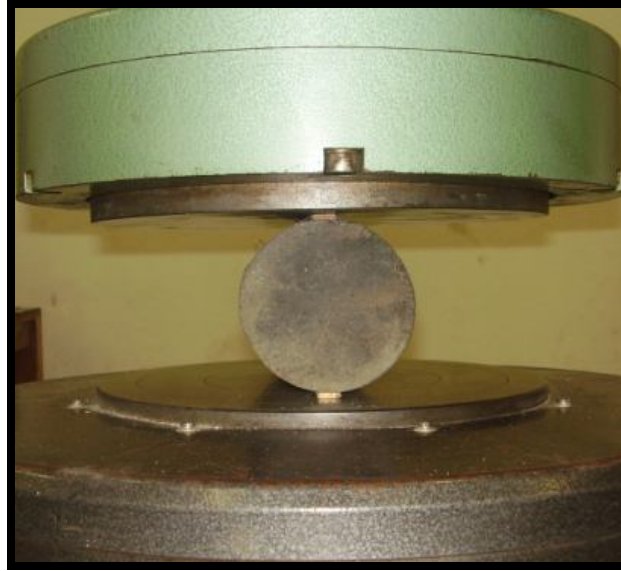


Figura 4.22 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

4.5.4.3 Módulo de Deformação

Os ensaios foram realizados segundo a norma NBR 8.522 (ABNT, 1984).

Os ensaios para avaliação do módulo de deformação foram realizados aos 28 dias de idade no LMC/EEC/UFG.

Para determinação das deformações ocorridas nos corpos-de-prova, em função da aplicação gradativa das cargas definidas pela norma, foram utilizados, inicialmente, medidor mecânico de deformação, com configuração dupla e sensores independentes para medição em cada lado do corpo-de-prova. Os medidores possuem precisão de 0,001mm.

Os resultados obtidos e as discussões pertinentes encontram-se no Item 5.5 e a Figura 4.23 mostra a realização do representa o ensaio de módulo de deformação.



Figura 4.23 – Ensaio de módulo de deformação, utilizando medidor mecânico de deformação.

4.5.4.4 Reação Álcali-agregado

Para determinar o potencial de reatividade da reação álcali-agregado, utilizou-se o método acelerado de barras de argamassa da ASTM C-1260 (ASTM, 2001). Este método permite a análise, aos 16 dias, da reatividade deletéria da combinação de compostos dos materiais cimentícios e agregados, em barras de argamassa.

As argamassas foram moldadas na relação aglomerante: agregado de 1: 2,25 (em massa), com uma consistência mantida em $\pm 7,5\%$ em relação à amostra de referência (sem adição).

As barras de argamassa moldadas permaneceram em seus moldes por 24 horas em câmara úmida. Após esse período, as barras foram desmoldadas e imersas em *contêineres* com água a 80°C, durante 24 horas. Após esse período, foi realizado a medida zero (primeira leitura de comprimento da barra de argamassa) e, depois, as barras de argamassa foram imersas em solução de 1N de hidróxido de sódio (NaOH) à temperatura de 80°C. As medidas foram realizadas por 16 dias.

Figura 4.24 mostra o ensaio de sendo realizado para verificar a susceptibilidade a reações expansivas, por reação álcali-agregado.



Figura 4.24 – Amostra prismática em ensaio de aferição de expansão por RAA.

Os resultados obtidos neste ensaio, bem como as análises, encontram-se no Item 5.5.

4.5.4.5 Absorção de água por imersão

A absorção é obtida por meio da média dos resultados de três amostras, que é definida pela Equação 4.4:

$$\frac{(M_{sat} - M_s)}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação (4.5)}$$

Onde:

M_{sat} = massa do corpo-de-prova saturado após fervura;

M_s = massa do corpo-de-prova seco em estufa.

A Tabela 4.5 reproduz os critérios do CEB-192 (CEB, 1989) para avaliação dos valores obtidos no ensaio de determinação da absorção de água pelo concreto.

Tabela 4.5 – Critérios de avaliação da absorção de água pelo concreto (COMITÉ EURO-INTERNATIONAL du BETÓN, 1989).

ABSORÇÃO (%)	ABSORÇÃO DO CONCRETO	QUALIDADE DO CONCRETO
< 3,0	Baixa	Boa
3,0 a 5,0	Média	Média
> 5,0	Alta	Pobre

Os ensaios foram realizados em amostras de corpos-de-prova do lote confeccionado para tal fim, seguindo as orientações da norma NBR 9.778 (ABNT, 1987e). Este ensaio teve seus procedimentos experimentais iniciados aos 28 dias de idade do concreto.

As Figuras 4.25 e 4.26 mostram as etapas dos procedimentos do ensaio de absorção sendo realizadas nas fases de colocação das amostras na estufa e fervura.



Figura 4.25 – Ensaio de absorção sendo realizado – CPs na estufa.



Figura 4.26 – CPs na fase de fervura.

Os resultados obtidos neste ensaio e as discussões encontram-se no Item 5.5.

4.5.5 Comparação da viabilidade econômica

O propósito do proporcionamento dos concretos é obter uma mistura de concreto que satisfaça os requisitos de desempenho ao mínimo custo possível, ou seja, pressupõe escolher os materiais com base não só naqueles mais adequados, porém, que sejam também disponíveis a preços razoáveis (MEHTA; MONTEIRO, 1994). Portanto, a determinação da combinação mais econômica desses insumos torna-se um dos fatores relevantes, desde que produza um concreto que atenda às especificações conforme as normas e os limites de ensaios.

Por isso, foi avaliado o custo para produzir 1m³ de concreto de todas as proporções estudadas. Esta análise teve como objetivo, comparar os custos das proporções e, assim, verificar quais das substituições apresentaram um parâmetro economicamente viável em relação ao concreto de referência.

Para tanto foi elaborada uma composição de custo unitário para cada mistura, na qual computaram-se os preços unitários de mercado de cada insumo. Na mesma planilha, os índices de consumo para cada componente foram baseados nos traços determinados na dosagem dos concretos. Não foram levados em consideração, os custos com mão-de-obra nem despesas com maquinários.

Os resultados obtidos da avaliação da viabilidade econômica encontram-se no Item 5.6.

4	PROGRAMA EXPERIMENTAL: SELEÇÃO, CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E METODOLOGIAS DE ENSAIOS	103
4.1	INTRODUÇÃO	103
4.2	LOCAIS DOS ENSAIOS.....	104
4.3	PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS.....	105
4.3.1	Variáveis dependentes	105
4.3.1.1	Abatimento do tronco de cone.....	105
4.3.1.2	Teor de ar incorporado	105
4.3.1.3	Resistência à compressão	106
4.3.1.4	Tração por compressão diametral.....	106
4.3.1.5	Módulo de deformação.....	106
4.3.1.6	Absorção de água por imersão.....	107
4.3.1.7	Reação álcali-agregado.....	107
4.3.2	Variáveis independentes	108
4.3.2.1	Idade dos ensaios	108
4.3.2.2	Método de dosagem	108
4.3.3	Parâmetros fixos	108
4.3.3.1	Cura.....	108
4.3.3.2	Dimensões dos corpos-de-prova.....	108
4.3.3.3	Teores de substituição do AN pelo AA	109
4.3.4	Planejamento dos ensaios	109
4.4	MATERIAIS EMPREGADOS NA PESQUISA.....	111
4.4.1	Cimento Portland	111
4.4.2	Agregado miúdo natural	111
4.4.3	Agregado miúdo artificial	112
4.4.4	Agregado graúdo	113
4.4.5	Água	114
4.5	METODOLOGIAS DE ENSAIO	114
4.5.1	Caracterização dos agregados	114
4.5.1.1	Granulometria.....	114
4.5.1.2	Torrões de argila e materiais friáveis	115
4.5.1.3	Material pulverulento.....	115
4.5.1.4	Impurezas orgânicas.....	115

4.5.1.5	Teor de cloretos e sulfatos solúveis	115
4.5.1.6	Massa específica.....	116
4.5.1.7	Massa unitária	116
4.5.1.8	Absorção de água	116
4.5.1.9	Inchamento	117
4.5.1.10	Textura e índice de forma do grão	118
4.5.2	Produção dos corpos-de-prova	118
4.5.2.1	Corpos-de-prova	118
4.5.2.2	Definição do método de dosagem e dos traços.....	120
4.5.3	Ensaio no concreto fresco	124
4.5.3.1	Trabalhabilidade – Abatimento do tronco de cone	125
4.5.3.2	Teor de ar incorporado	125
4.5.3.3	Massa específica.....	126
4.5.4	Ensaio no concreto endurecido.....	127
4.5.4.1	Resistência à compressão	127
4.5.4.2	Tração por compressão diametral.....	127
4.5.4.3	Módulo de Deformação	129
4.5.4.4	Reação Álcali-agregado	130
4.5.4.5	Absorção de água por imersão.....	131
4.5.5	Comparação da viabilidade econômica	133

Figura 4.1 – Planejamento dos ensaios.....	109
Figura 4.2 – Fluxograma com as famílias de traços empregados.	110
Figura 4.3 – Agregado miúdo natural.....	112
Figura 4.4 – Agregado miúdo artificial.	113
Figura 4.5 – Agregado graúdo.	113
Figura 4.6 – Peneiras utilizadas no ensaio da determinação da composição granulométrica.....	115
Figura 4.7 – Areia sendo peneirada.	115
Figura 4.8 – Secagem ao ar.....	117
Figura 4.9 – Cone com areia de rio.	117
Figura 4.10 – Cone de agregado saturado.....	117
Figura 4.11 – Recipiente com areia e água.....	117
Figura 4.12 – AN sendo umedecido.	118
Figura 4.13 – AN sendo homogeneizada.	118
Figura 4.14 – AN para pesagem.....	118
Figura 4.15 – Preparação de concreto na betoneira.	124
Figura 4.16 – Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos.	124
Figura 4.17 – Ensaio no concreto fresco: abatimento do tronco de cone.	125
Figura 4.18 – Ensaio no concreto fresco: teor de ar incorporado.	126
Figura 4.19 – Ensaio no concreto fresco: massa específica.	126
Figura 4.20 – Ensaio de resistência à compressão sendo preparado.....	127
Figura 4.21 – Disposição dos esforços no corpo-de-prova (THOMAZ, 2002).....	128
Figura 4.22 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	129
Figura 4.23 – Ensaio de módulo de deformação, utilizando medidor mecânico de deformação.....	130
Figura 4.24 – Amostra prismática em ensaio de aferição de expansão por RAA. ...	131
Figura 4.25 – Ensaio de absorção sendo realizado – CPs na estufa.....	132
Figura 4.26 – CPs na fase de fervura.	132

Tabela 4.1 – Componentes e abreviações.	110
Tabela 4.2 – Corpos-de-prova utilizados para avaliação das propriedades do concreto endurecido.	119
Tabela 4.3 – Proporcionamento dos concretos utilizados.	122
Tabela 4.4 – Traço unitário de cada mistura, em massa.	122
Tabela 4.5 – Critérios de avaliação da absorção de água pelo concreto (COMITÉ EURO-INTERNATIONAL du BETÓN, 1989).	132
Equação (4.1)	120
Equação (4.2)	121
Equação (4.3)	123
Equação (4.4)	128
Equação (4.5)	131

5

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo é dedicado à apresentação e à análise dos resultados obtidos na metodologia experimental. Trata-se da avaliação das caracterizações dos agregados graúdos, da areia natural, da areia de britagem também chamada aqui neste capítulo de areia artificial e fazem-se análises referentes às propriedades dos concretos nos estado frescos e endurecido. Comparou-se o custo unitário dos concretos ensaiados e estabeleceu-se uma comparação das curvas de dosagens em seus respectivos gráficos.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E SUAS PARTICULARIDADES

5.1.1 Granulometria

5.1.1.1 Agregado graúdo

A Tabela 5.1 mostra a composição granulométrica do agregado graúdo utilizado em toda a pesquisa. Este agregado é da mesma litologia da areia de britagem.

Tabela 5.1 – Composição granulométrica do agregado graúdo.

ABERTURA DAS PENEIRAS (mm)	MASSAS RETIDAS (g)	% RET. SIMPLES	% RET. ACUMULADAS	% RET. ACUMULADO PARA CÁLCULO DO M. F.
50 (2")	0	0,00	0,00	
38 (1 1/2")	0	0,00	0,00	0,00
25 (1")	0	0,00	0,00	
19 (3/4")	327	3,27	3,27	3,27
12,7 (1/2")	7967	79,67	82,94	
9,5 (3/8")	1314	13,14	96,08	96,08
4,8 (4)	207	2,07	98,15	98,15
2,4 (8)	28	0,28	98,43	98,43
PRATO	157	1,57	100,00	400,00
TOTAIS	10000	100,00		695,93

Os resultados obtidos nesta caracterização prévia do agregado graúdo são apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Caracterização do agregado graúdo.

MÉTODO	ENSAIO REALIZADO	RESULTADO
NBR –9937 (ABNT, 1987)	Absorção (%)	0,50
NBR – 7217 (ABNT, 1987)	Granulometria (MF)	6,95
NBR – 7217 (ABNT, 1987)	D. Máx.	19 (3/4")
NBR –7251 (ABNT, 1987)	Massa unitária. (Kg/cm ³)	1,43
NBR –9937 (ABNT, 1987)	Massa específica S.S.S. (g/cm ³)	2,65

O agregado graúdo britado é de composição granito-gnaiss de origem ígnea-metamórfica, conforme relatório DCT. T.01.000.2005 – R0 de Furnas (FURNAS, 2005), o qual apresentou dimensão máxima 19mm, ou seja, brita de número 1, de acordo com a NBR 7.217 (ABNT, 1987).

5.1.1.2 Areia natural

As Tabelas 5.3 e 5.4 apresentam os resultados da composição granulométrica da areia natural utilizada na pesquisa. Trata-se de uma areia natural lavada e de boa qualidade.

Tabela 5.3 – Composição granulométrica da areia natural.

Abertura das Peneiras	GRANULOMETRIA – AN								
	ENSAIO					LIMITES DA DISTRIBUIÇÃO			
	Massas retidas			% retidas		Lim. Inferiores		Lim. Superiores	
(mm)	Massa (g)	Massa (g)	Média (g)	Simples	Acum.	Utilizável	Ótima	Ótima	Utilizável
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	3,40	3,30	3,40	1	1	0	0	0	7
4,8	4,90	5,10	5,00	1	2	0	0	5	10
2,4	25,50	24,70	25,10	5	7	0	10	20	25
1,2	93,46	93,61	93,50	19	26	5	20	30	50
0,6	110,94	109,74	110,30	22	48	15	35	55	70
0,3	158,15	156,60	157,40	31	79	50	65	85	95
0,15	86,78	89,55	88,20	18	97	85	90	95	100
Prato	16,87	17,40	17,10	3	100,0	-	-	-	-
TOTAIS	500,00	500,00	500,00	100,0	100,0	-	-	-	-

Tabela 5.4 – Resumos dos resultados da areia natural.

MÉTODO	ENSAIO REALIZADO	RESULTADO
NBR NM 248 (ABNT, 2003e)	Granulometria (MF)	2,57
NBR NM 248 (ABNT, 2003e)	D. Máx. (mm)	4,8

Pôde-se observar, pela Tabela 5.3, que o agregado miúdo apresentou Dimensão Máxima Característica (DMC) igual a 4,8 mm. DMC é a abertura da malha, em milímetros, da peneira da série normal na qual ficou retida acumulada a porcentagem de agregados, em massa, igual ou imediatamente inferior a 5%. O Módulo de Finura (MF) foi igual a 2,57. MF é a soma das porcentagens, em massa, retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100. Esses parâmetros foram utilizados para a classificação dos agregados e também nas dosagens experimentais de concreto.

Por tratar-se de uma areia natural, cuja condição de extração do areal é considerada pelos construtores e pelos pesquisadores como uma das melhores jazidas de agregado miúdo natural, já se esperava um material de boa distribuição granulométrica. Ao analisar os resultados encontrados na curva granulométrica, conforme Figura 5.1, verificou-se que as expectativas foram confirmadas, uma vez que a curva encontra-se, segundo especifica a norma NBR 7.211(ABNT, 2005), dentro dos limites ótimos de utilização. Observou-se, também, que pouco menos de 5% do material ensaiado passou pela na peneira 0,15mm.

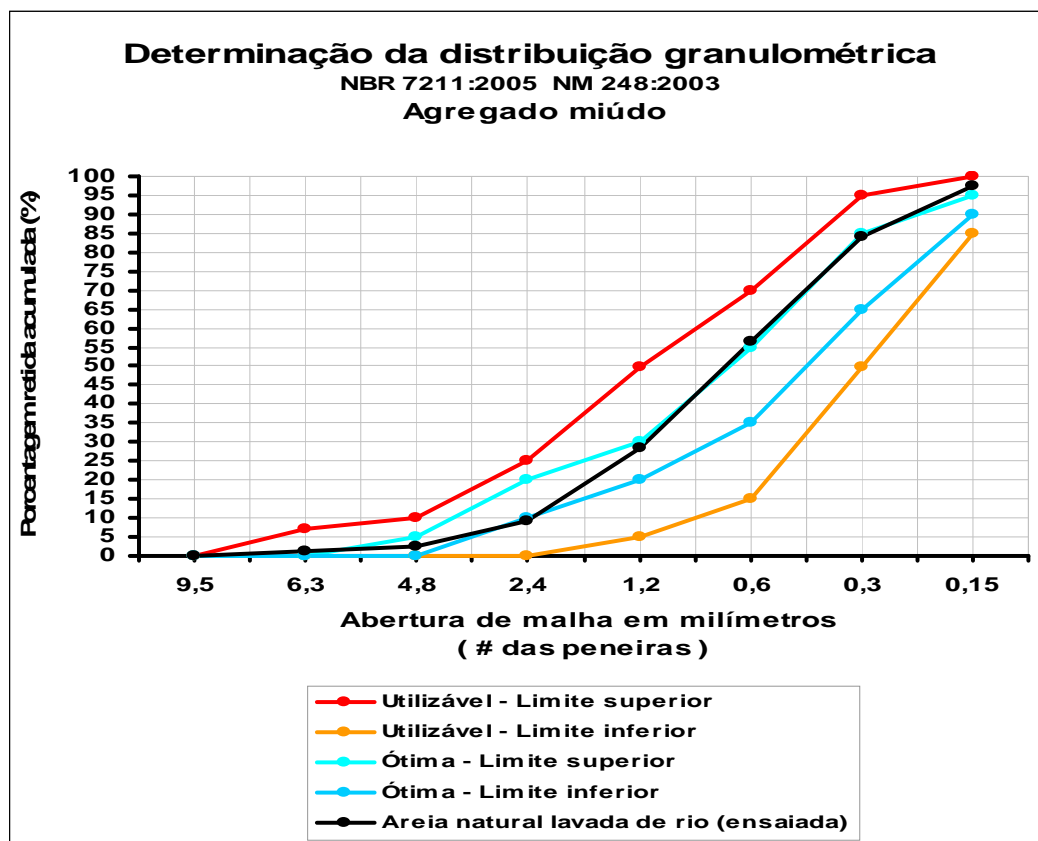


Figura 5.1 – Curva granulométrica da areia natural.

5.1.1.3 Areia de britagem

As Tabelas 5.5 e 5.6 apresentam os resultados da composição granulométrica da areia de britagem utilizada na pesquisa. O agregado artificial em estudo é uma areia produzida no processo de britamento a seco.

Tabela 5.5 – Composição granulométrica da areia de britagem.

Abertura das peneiras (mm)	GRANULOMETRIA – AA								
	ENSAIO					LIMITES DA DISTRIBUIÇÃO			
	Massas retidas			% retidas		Lim. Inferiores		Lim. Superiores	
	Massa (g)	Massa (g)	Média (g)	Simples	Acum.	Utilizável	Ótima	Ótima	Utilizável
9,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6,3	0	0	0	0	0	0	0	0	7
4,8	4,45	4,59	4,50	1	1	0	0	5	10
2,4	99,72	96,89	98,30	20	21	0	10	20	25
1,2	108,37	109,91	109,10	22	43	5	20	30	50
0,6	63,02	64,18	63,60	13	56	15	35	55	70
0,3	65,50	67,43	66,50	13	69	50	65	85	95
0,15	60,49	58,11	59,30	12	81	85	90	95	100
Prato	98,45	98,89	98,70	19	100,0	-	-	-	-
TOTAIS	500,00	500,00	500,00	100,0	100,0	-	-	-	-

Tabela 5.6 – Caracterização da areia de britagem.

MÉTODO	ENSAIO REALIZADO	RESULTADO
NBR NM 248 (ABNT, 2003e)	Granulometria (MF)	2,68
NBR NM 248 (ABNT,2003e)	D. Máx. (mm)	4,8

Pôde-se observar pela Tabela 5.6, que o agregado miúdo apresentou Dimensão Máxima Característica (DMC) igual a 4,8 mm e Módulo de Finura igual a 2,68. Esses parâmetros foram utilizados para a classificação dos agregados e também nas dosagens experimentais de concreto.

Conforme se observa na Figura 5.2, o agregado ensaiado obteve uma boa distribuição granulométrica. Sua curva mostra-se com boa parte de sua distribuição granulométrica dentro de limites ótimos de utilização, porém, nos ponto da peneira 1,2 e 0,15mm a curva saiu dos limites ótimos, mas ficou dentro dos limites utilizáveis. Observou-se, ainda, que cerca de 19% do material ensaiado ultrapassou a peneira 0,15mm. Neste caso, segundo especifica a norma NBR 9.935 (ABNT, 2005), tal material passante fica caracterizado como sendo material do tipo fíler.

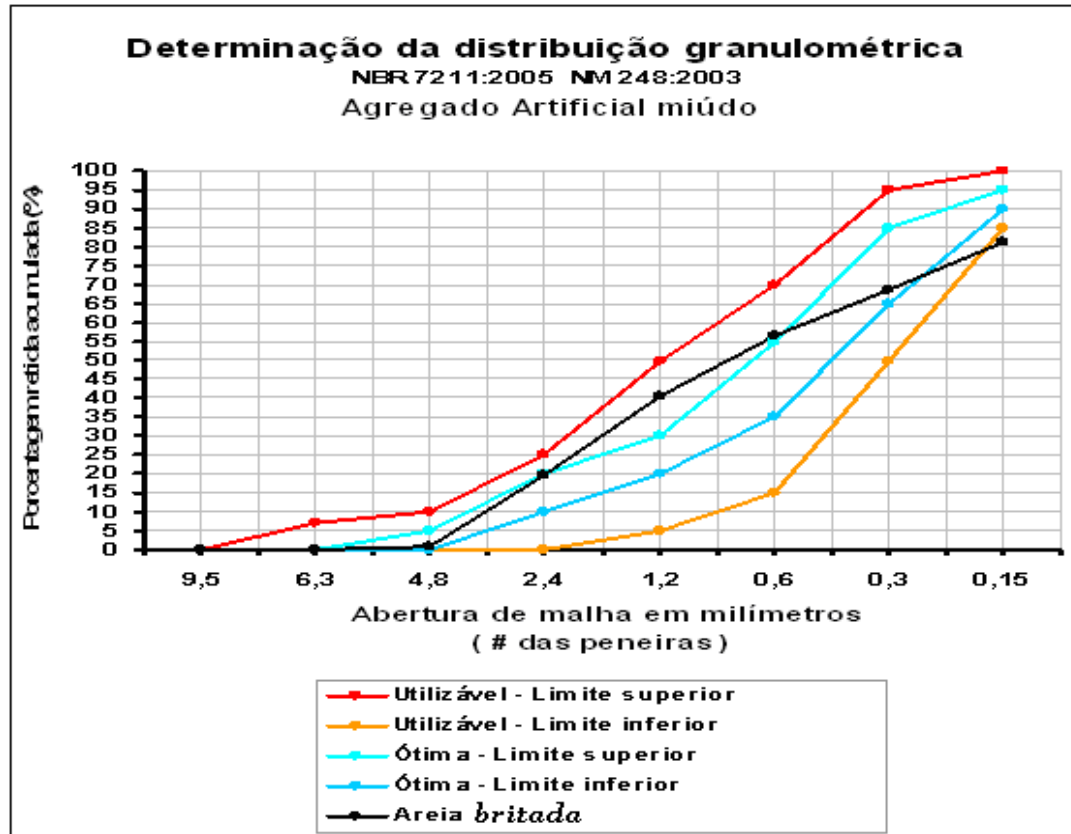


Figura 5.2 – Curva granulométrica da areia de britagem.

5.1.2 Torrões de argila e materiais friáveis

Pôde-se perceber que os resultados referentes ao material argiloso e friável para a areia natural são de 0,65%, enquanto que para a areia de britagem esse percentual é de 0,25%. Portanto, verifica-se que nas porções de agregado natural tem-se 61,5% de material argiloso e/ou friável em relação aos agregados provenientes da britagem de rochas.

5.1.3 Material pulverulento

Observou-se que a quantidade de material pulverulento para a areia alveolar natural ensaiada é de 1,2%, portanto, 90% abaixo do limite estabelecido pela norma NBR 7211 (ABNT, 2005). No entanto, verificou-se o percentual de 11,4% para o agregado artificial, ficando apenas 5% abaixo do limite permitido, portanto, os resultados permitem afirmar que os limites de norma para teores de material

pulverulento está sendo atendida, tanto para a areia natural quanto para a areia de britagem.

5.1.4 Impurezas orgânicas

Para este ensaio, a solução obtida no ensaio deveria ser mais clara do que a solução-padrão, fato que foi confirmado. A coloração obtida foi mais clara que a solução padrão para ambos os agregados miúdos analisados.

5.1.5 Teor de cloretos, sulfatos e sais solúveis

Para essas análises, foi necessário o envio de amostras para o Laboratório da empresa Concremat em São Paulo – SP, o qual encontrou as seguintes proporções químicas. Para cloretos, obteve-se o teor de 0,02% para a areia natural, portanto, 0,01% acima do limite especificado por norma e de 0,009% para a areia de artificial, portanto, abaixo do limite SABS – 1083 (SABS, 1976). Para sulfatos obteve-se o teor de 0,009% para a areia de natural, portanto, dentro dos limites especificados por norma, que é de no máximo 0,05%, e de 0,055% para a areia de britagem, evidenciando, nesse caso, estar acima dos limites especificados em 0,055%. Para os sais solúveis obtiveram-se os teores de 0,45% e 0,15%, respectivamente, para a areia natural e para a areia de britagem. No que se refere a estes parâmetros, os valores obtidos atendem aos limites estabelecidos.

5.1.6 Massa específica

Pôde-se perceber que os resultados obtidos para massa específica, representam uma diferença de cerca de 6,9% a mais para o agregado artificial em relação ao agregado convencional. Os valores obtidos são de 2,78 kg/dm³ para o alternativo e de 2,60 kg/dm³ para o convencional. Tal diferença a favor da areia de britagem pode ser explicada conforme cita a Metso (2005), que devido à origem das rochas, matéria-prima da produção do agregado artificial, pois podem ser coesas com características plutônicas onde apresentam cristalizações, tornando o material mais denso, conseqüentemente mais pesado. Já as areias por terem sua formação de maneira mais inconsolidada, logo, pressupõe-se ser um material mais leve.

5.1.7 Massa unitária

Para a massa unitária os valores obtidos são de 1,61 kg/dm³ para o agregado artificial e de 1,50 kg/dm³ para o agregado convencional, o que representa cerca de 6,8% de diferença entre uma massa e a outra. Neste caso, tal diferença a favor da areia de britagem, ocorre em função da forma lamelar das partículas artificiais e por ter maior teor de material pulverulento.

5.1.8 Absorção de água

Foi verificado por alguns autores que os minerais que formam o agregado têm, geralmente, certa porosidade, isto é, alguns vazios internos que podem absorver água para o interior do agregado. Por isso, essa característica deve ser conhecida, pois um agregado totalmente seco pode absorver água do concreto, interferindo na sua consistência, na trabalhabilidade e até mesmo na água de amassamento. Devido a essa porosidade anunciada, foi confirmado que na situação de saturada superfície seca, a areia natural contém absorvido cerca de 0,81% de água. Já para a areia de britagem na mesma situação, contém absorvido pouca mais de 0,2% de água. Uma diferença de 75% a mais de absorção por parte da areia natural.



5.1.9 Resumo das caracterizações

A Tabela 5.7 traz um breve resumo dos dados obtidos nos ensaios realizados para caracterização dos agregados miúdos naturais e artificiais. Percebeu-se que em quase todos os ensaios, os resultados foram satisfatórios em relação aos critérios e limites das normas. Naqueles em que a norma não especifica limites, os resultados foram próximos aos aceitos na literatura revisada.

Tabela 5.7 – Resumo das caracterizações

CARACTERIZAÇÃO	NORMA		UNID.	LIMITES DA NORMA	RESULTADOS A.N.	STATUS	RESULTADOS A.A.	STATUS
	MERCOSUL	BRASILEIRA						
Torrões de argila e materiais friáveis		NBR 7218, (ABNT, 1987)	(%)	1,5	0,65		0,25	
Material pulverulento	NBR NM 46, (ABNT, 2003)		(%)	12	1,2		11,4	
Impurezas orgânicas	NBR NM 49, (ABNT, 2001)	NBR 7220, (ABNT, 1987)	cor	A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão	MAIS CLARA		MAIS CLARA	
Teor de cloretos	NBR 9917, (ABNT, 1987)		(%)	0,01	0,02		0,009	
Teor de sulfatos		NBR 9917, (ABNT, 1987)	(%)	0,05	0,009		0,055	
Teor de sais		NBR 9917, (ABNT, 1987)	(%)	0,2	0,045		0,15	
Massa específica	NBR NM 52, (ABNT, 2003)	NBR 9776, (ABNT, 1987)	(kg/dm ³)	----	2,60		2,78	
Massa unitária		NBR 7251, (ABNT, 1982)	(kg/dm ³)	----	1,50		1,61	
Absorção de água	NBR NM 30, (ABNT, 2000)		(%)	----	0,81		0,2	

Legenda:

	Atende à norma
	Não atende à norma

5.1.10 Inchamento

O Anexo F, Tabela F1 traz os dados obtidos em laboratório para traçar a curva de inchamento da areia natural. A Figura 5.3 mostra a curva de inchamento para a areia natural ensaiada. O coeficiente de inchamento para esse tipo de agregado foi de 1,36 e a sua umidade crítica foi de 5,65. Ambos calculados segundo a norma NBR 6467 (ABNT, 1987).

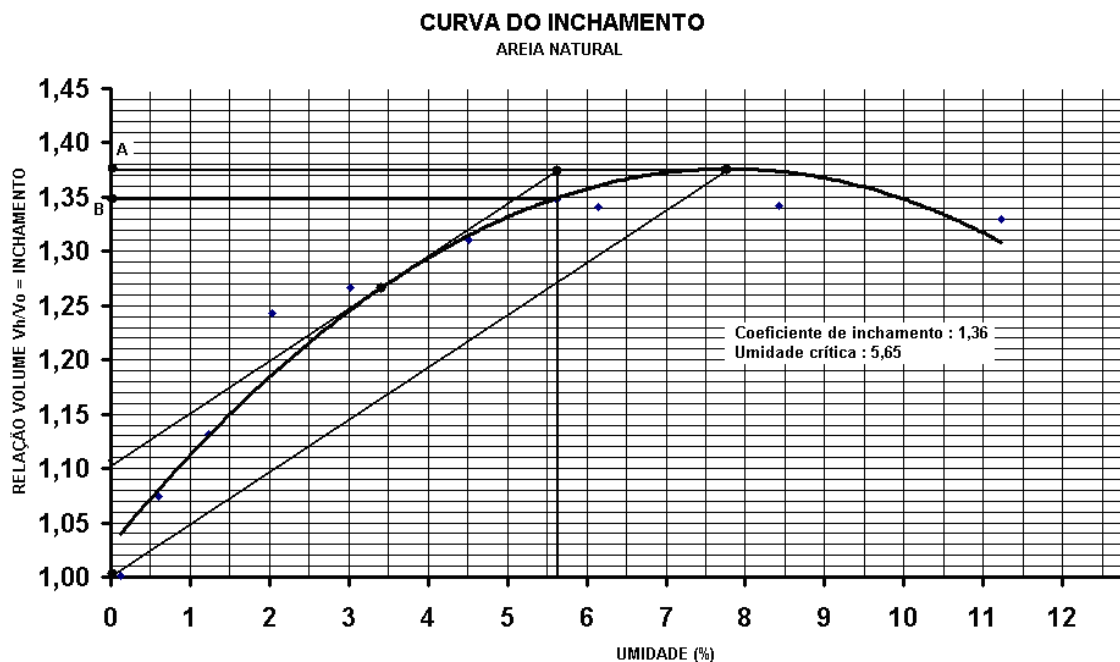


Figura 5.3 – Curva do inchamento da areia natural.

O Anexo F, Tabela F2 traz os dados obtidos em laboratório para traçar a curva de inchamento da areia de britagem. A Figura 5.4 mostra a curva de inchamento para a referida. O coeficiente de inchamento foi de 1,43 e a umidade crítica foi de 5,05 e ambos estão representados na Figura 5.4. Os valores foram calculados segundo a norma NBR 6.467 (ABNT, 1987).

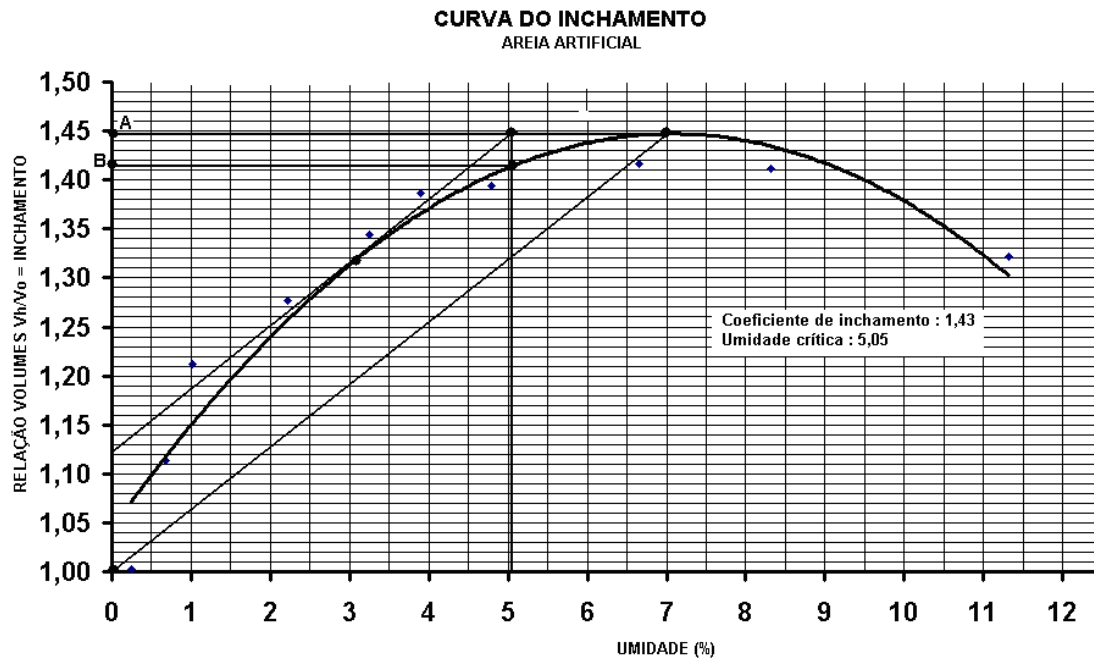


Figura 5.4 – Curva do inchamento da areia de britagem.

O valor do coeficiente de inchamento, ou seja, a relação dos volumes da areia úmida e seca, da areia britada ficou levemente superior ao da areia natural, em cerca de 4,9% superior, o que era previsto por tratar-se de um material mais fino, ou seja, possui maior superfície de contato para absorver água. Para o valor da umidade crítica, o teor de umidade, a partir do qual o crescimento do coeficiente de inchamento é muito pequeno, ocorreu o contrário, aproximadamente 10,6% inferior ao da areia natural, pois o fato de ser uma areia mais fina faz com que a mesma se sature mais rapidamente, não admitindo grandes acréscimos de água a partir desse ponto.

5.1.11 Textura e forma dos grãos

As Figuras 5.5, 5.6 e 5.7 mostram as imagens ampliadas de três tipos de agregados miúdos: a areia de britagem, areia natural e a areia normal. Essas imagens foram fotografadas após montagem de uma máquina fotográfica a um microscópio do tipo estereoscópico.



Figura 5.5 – Imagem ampliada dos grãos da areia de britagem.



Figura 5.6 – Imagem ampliada dos grãos de areia natural.



Figura 5.7 – Imagem ampliada dos grãos de areia normal.

Após a análise dessas imagens, constatou-se que as partículas de areia de britagem (Figura 5.5) oriundas da rocha granito-gnaissé apresentaram grãos com grau de esfericidade baixo, com grau de arredondamento do tipo subanguloso, com a forma das partículas do tipo lamelar e textura superficial do tipo áspera. Na imagem da areia de britagem, verificou-se, também, a evidência do alto grau de partículas finas contidas na amostra, fato confirmado nos resultados apresentados nos ensaios de teor de material pulverulento.

Para a areia natural (Figura 5,6), a imagem apresentou grãos com grau de esfericidade alto, com grau de arredondamento do tipo anguloso, com a forma das partículas do tipo arredondado, levemente irregular e apresentando textura superficial do tipo granulosa.

Em ambas, notou-se uma ocorrência da descontinuidade na forma dos grãos e na incidência de finos, sendo mais acentuada na imagem da areia de britagem.

Já para a imagem da areia normal, verificaram-se grãos com uniformidade de tamanhos, alto grau de esfericidade, forma arredondada e textura granulosa.

5.2 RESULTADOS DAS DOSAGENS

As Figuras 5.8, 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 mostram os diagramas de dosagem com os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias. Estes resultados foram gerados em função da relação a/c , do traço (1:m) e do consumo de cimento por metro cúbico, para os concretos de referência (CR c/ 100% AN) e para os concretos com areia de britagem (CAA25, CAA50, CAA75 e CAA100).

Os diagramas também mostram que as relações entre a resistência à compressão com a a/c , com o traço e o consumo de cimento dos concretos moldados para este pesquisa, tanto os com 100% de areia natural como também os concretos com algum percentual de substituição, seguem as leis de Abrams, Lyse e Molinari.

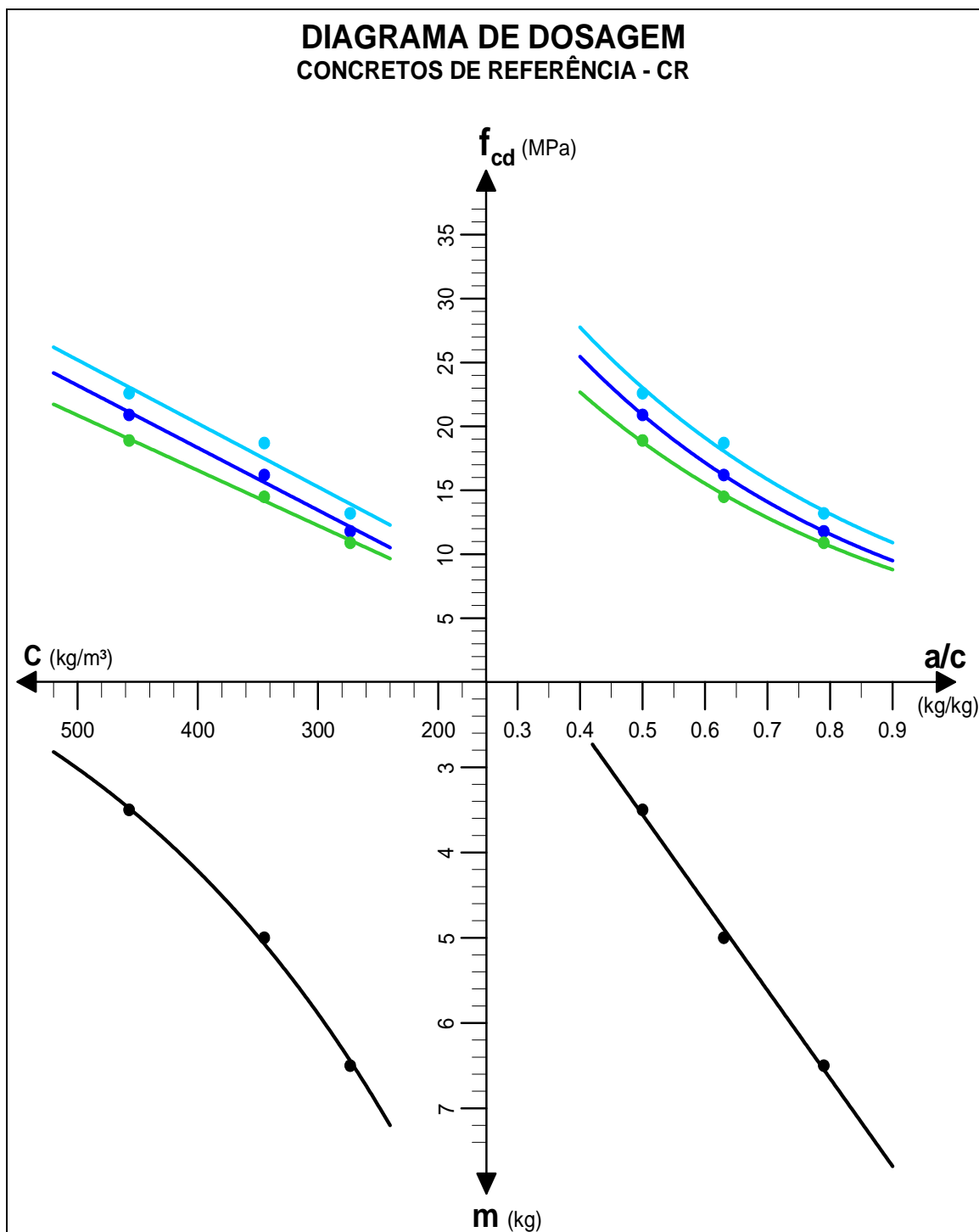


Figura 5.8– Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CR).

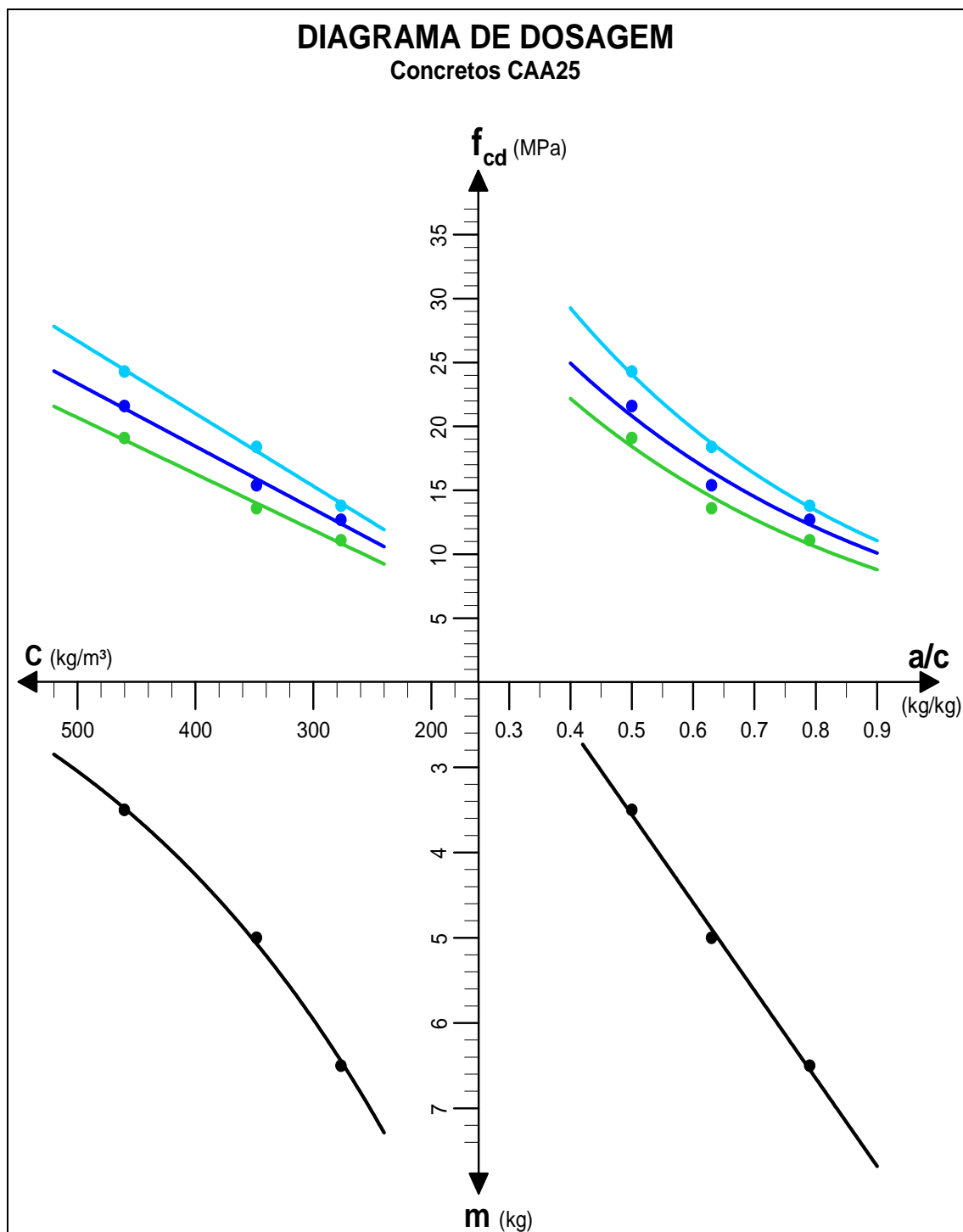


Figura 5.9 – Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA25).

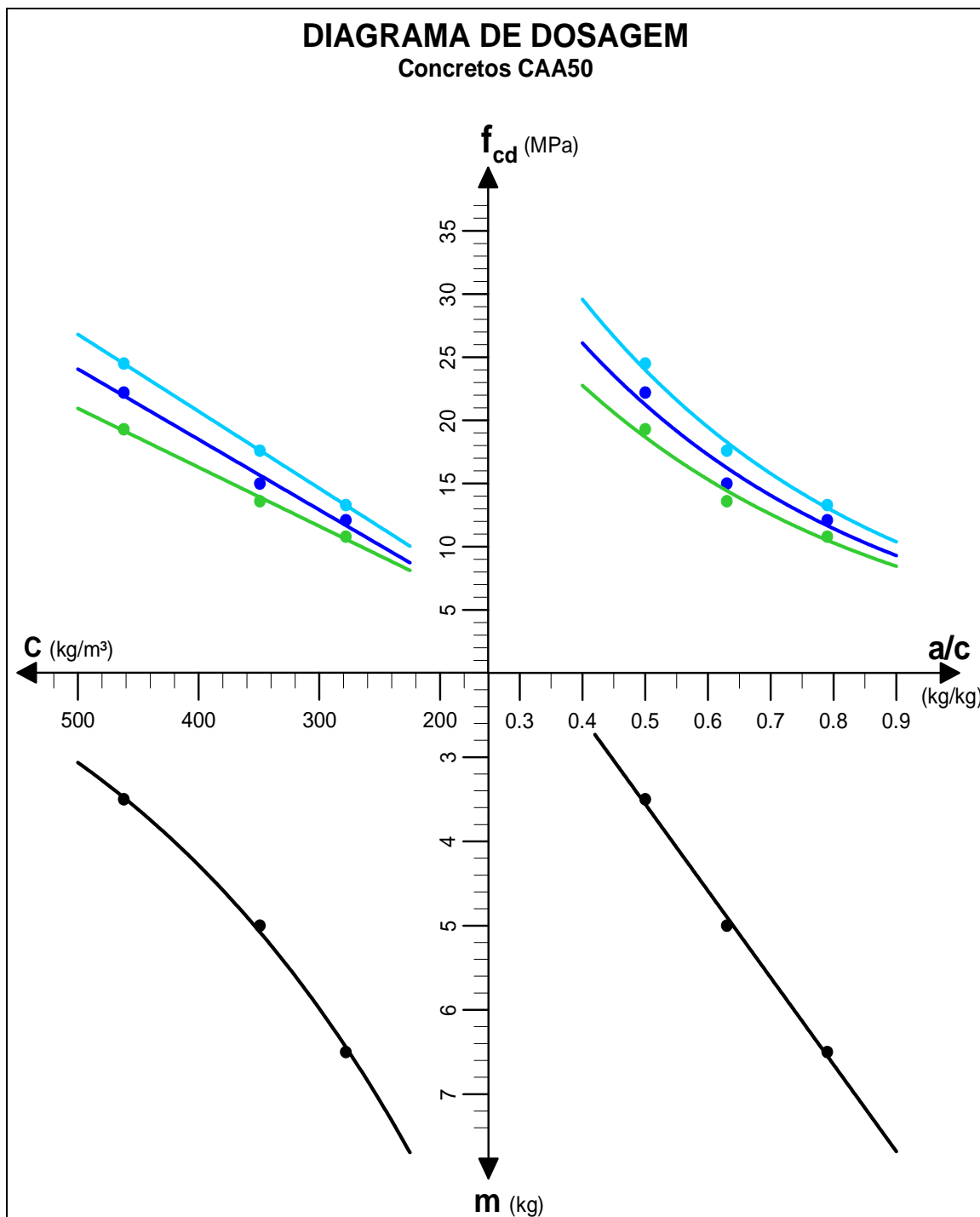


Figura 5.10 – Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA50).

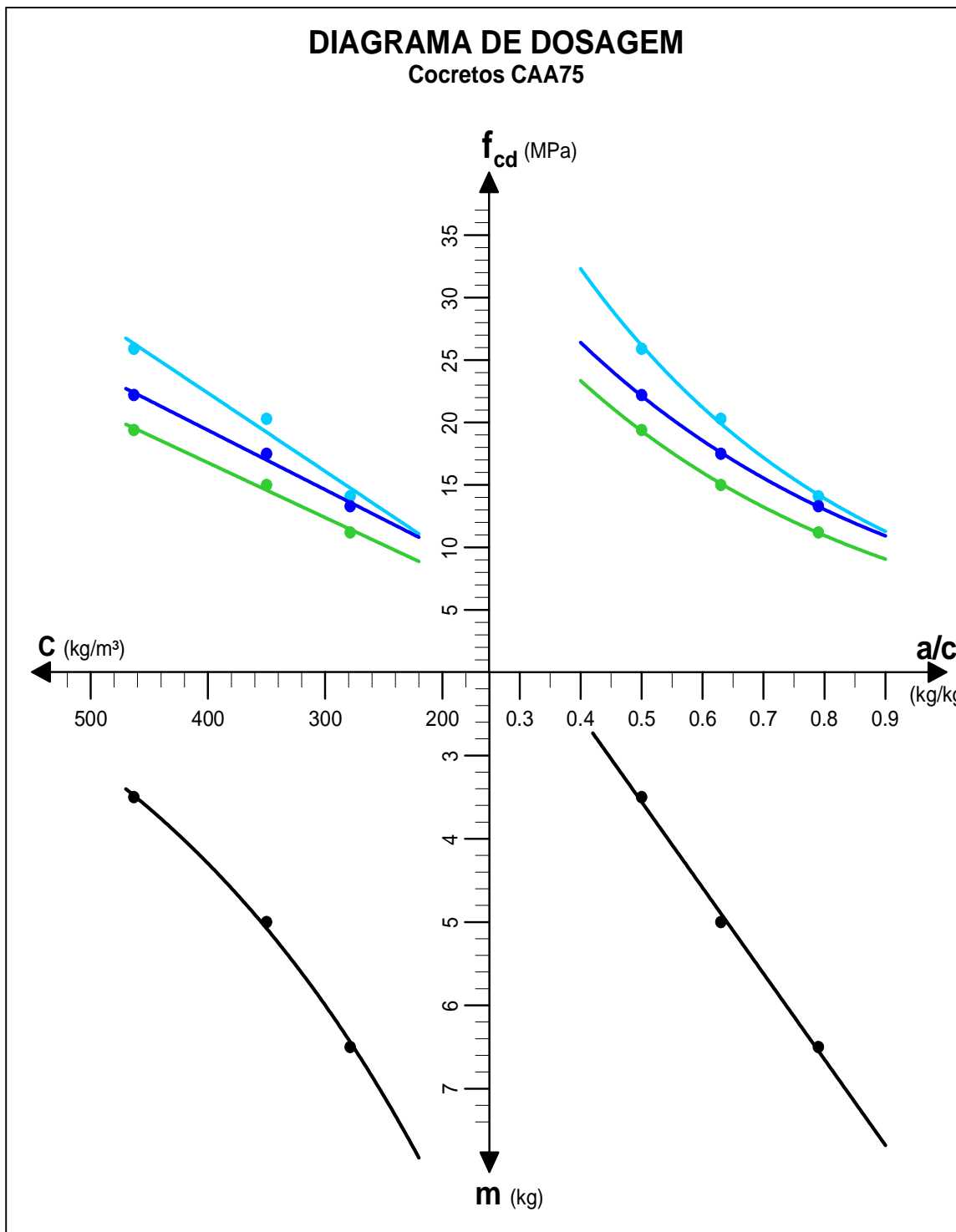


Figura 5.11– Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA75).

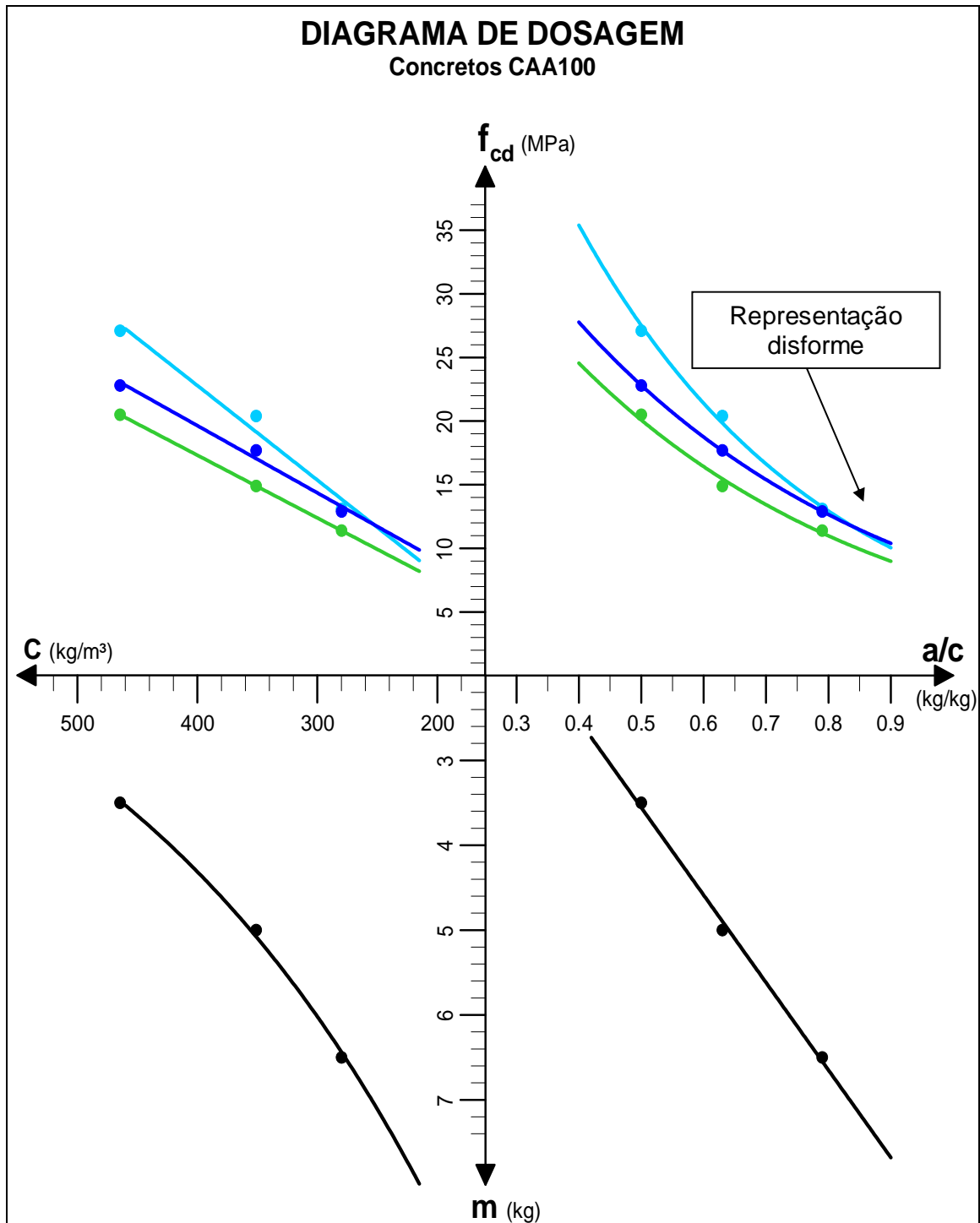


Figura 5.12 – Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA100).

Após a elaboração das curvas dos diagramas de dosagens demonstrados nas figuras acima, observou-se que as linhas, cuja representação ilustra os resultados da resistência à compressão, tendem a manter uma regularidade na forma do gráfico

para os resultados dos traços com maior quantidade de aglomerante, os traços da família 1:3,5. Em contrapartida, para concretos com 100% de substituição, nos quadrantes 1 e 4, verificou-se um desenho disforme, onde as linhas se intercedem na altura dos pontos os quais representam os valores de resistência para concretos de traços médios e fracos. Nesses casos, foi analisado que não existe uma tendência crescente no aumento da resistência à medida que se aumenta o teor de substituição, uma vez que para concretos com traços médios e fracos, a proporção de substituição não é fator significativo, ou seja, a alteração da natureza dos agregados miúdos nesses concretos não se mostrou determinantes.

Em uma análise global dos diagramas, observa-se que os concretos apresentam uma grande similaridade. Tal afirmação é facilmente comprovada quando se verifica a semelhança das curvas dos diagramas, formados a partir dos dados obtidos nas pesquisas. Os diagramas também mostram que as relações entre a resistência à compressão com a a/c , com o traço (1:m) e o consumo de cimento continuaram seguindo as leis de Abrams, Lyse e Molinari, ou seja no geral as leis podem ser aplicadas para concretos desta natureza, conforme demonstra as figuras.

Uma análise mais específica sobre a influência do agregado miúdo artificial em relação à resistência à compressão é apresentada no Item 5.4.1.

5.3 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Para cada mistura ensaiada, foi realizado um ensaio de abatimento de tronco de cone (*Slump Test*), uma verificação do teor de ar incorporado e uma medida da massa específica, cujos valores são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 – Resultados dos ensaios no concreto fresco.

Nº da Mistura	m	Composição	Relação a/c	Abatimento (mm)	Teor de Ar Incorporado (%)	Massa Específica (kg/m ³)
1	3,5	CR	0,5	120	2,5	2230
2	3,5	CAA25	0,5	110	2,0	2245
3	3,5	CAA50	0,5	100	1,8	2265
4	3,5	CAA75	0,5	90	1,7	2250
5	3,5	CAA100	0,5	60	1,6	2257
6	5,0	CR	0,63	110	2,5	2222
7	5,0	CAA25	0,63	105	1,7	2227
8	5,0	CAA50	0,63	95	1,6	2245
9	5,0	CAA75	0,63	75	1,6	2252
10	5,0	CAA100	0,63	55	1,5	2265
11	6,5	CR	0,79	120	2,9	2210
12	6,5	CAA25	0,79	110	1,9	2230
13	6,5	CAA50	0,79	100	1,7	2238
14	6,5	CAA75	0,79	80	1,6	2255
15	6,5	CAA100	0,79	75	1,4	2248

5.3.1 Trabalhabilidade

A Figura 5.13 mostra os valores obtidos de abatimento do tronco de cone (*slump test*).

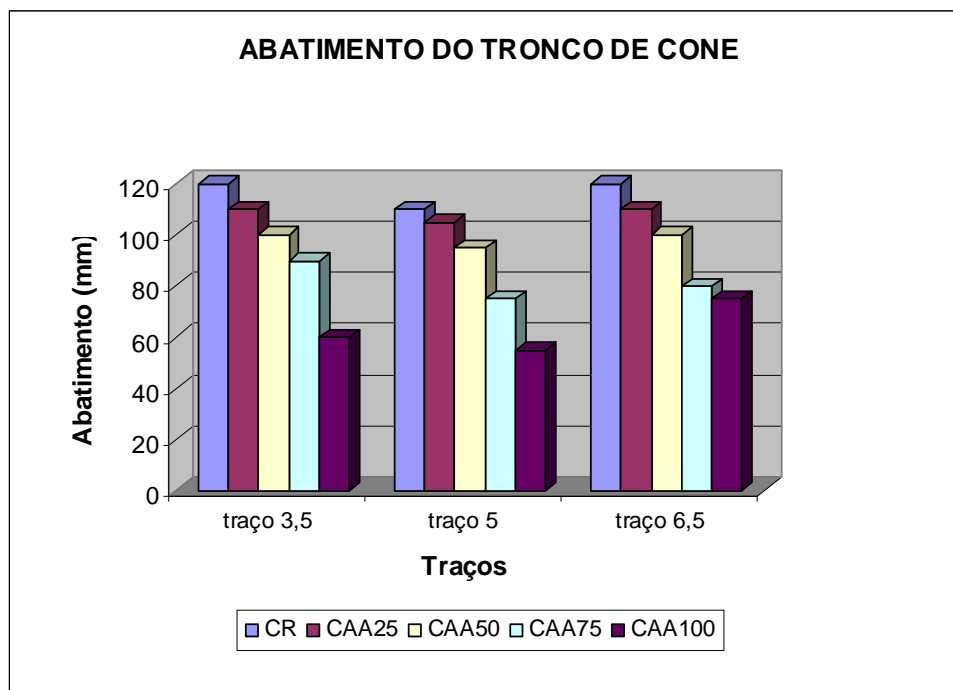


Figura 5.13 – Resultados dos ensaios de abatimento do tronco de cone.

Deve-se levar em consideração diversas variáveis relacionadas à perda de fluidez dos concretos, tais como a temperatura ambiente no local do ensaio, a temperatura da água e do cimento, além da umidade relativa do ar. A composição química do cimento e sua finura também são fatores que também podem influenciar nos resultados. Apesar disso, salienta-se que estas variáveis permaneceram constantes para todos os traços avaliados.

Conforme os dados da Tabela 5.8 e da Figura 5.13, verificou-se uma perda constante de abatimento à medida que se aumentava a porcentagem de substituição de agregado natural pelo agregado artificial. Com o aumento da quantidade de AA, conseqüentemente, aumentavam-se as concentrações de finos nas misturas e aumentava-se, sobretudo, a concentração de grãos com forma angulosa, fazendo com que a trabalhabilidade diminuísse.

O abatimento na família de traços 1:3,5 caiu de 120mm para 60mm, proporcionando uma perda de 50%. Na família 1:5,0, a perda de abatimento foi de 110mm para 55mm, representando, também, uma perda de 50%. No entanto, para a família de traços 1:6,5, que continha uma maior relação água cimento, portanto, maior quantidade de água de amassamento, a perda foi de 120mm para 75mm, representando uma perda de aproximadamente 38%.

Outro fator relevante para essa constante perda do abatimento está relacionado à sua coesão que foi aumentada devido ao acréscimo de finos e a forma do grão de areia de britagem, tornando o concreto mais coeso e áspero. Em conseqüência disso, os concretos com CAA100 apresentaram, em todos os traços, maior dificuldade para serem moldados.

5.3.2 Teor de ar incorporado

A Figura 5.14 mostra a variação dos valores medidos do teor de ar incorporado.

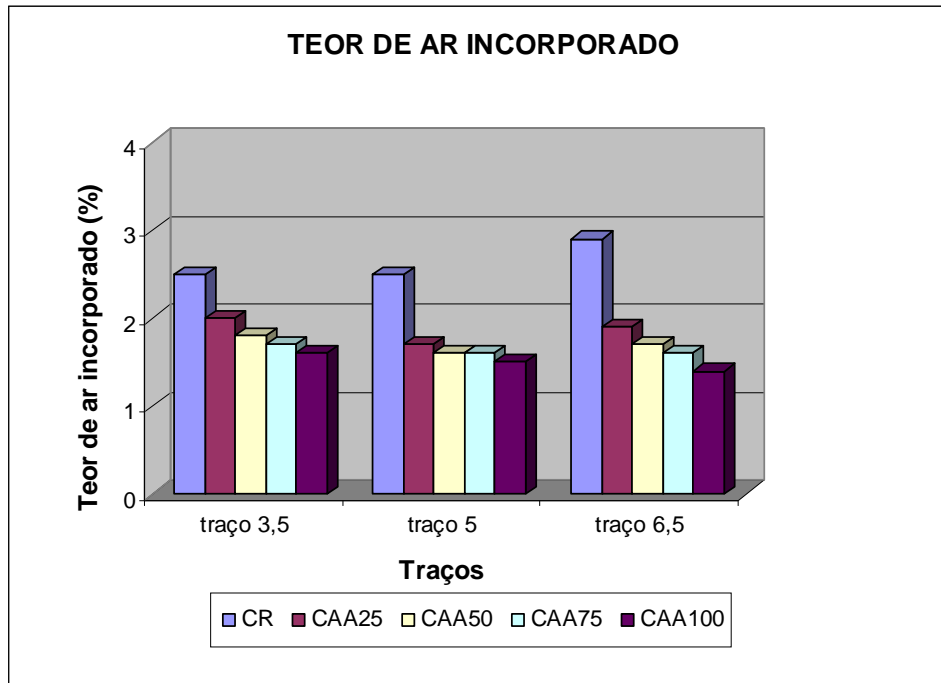


Figura 5.14 – Resultados dos ensaios do teor de ar incorporado.

Conforme análise da Tabela 5.8 e da Figura 5.14, verificou-se que a substituição da areia natural pela areia britada levou a uma diminuição gradativa da quantidade de ar aprisionado. Para a família do traço 1:3,5, considerando a redução do teor do concreto de referência em relação ao concreto com 100% de areia de britagem, tem-se uma redução de 2,5% para 1,6%. Para o traço 1:5,0, a redução foi de 2,5% para 1,5% e, para o traço 1:6,5, a redução foi de 2,9% para 1,4%, representando uma redução média de, aproximadamente, 43%.

A redução do teor de ar incorporado se dá em decorrência do rearranjo granulométrico imposto ao sistema, à medida que as proporções de substituição dos agregados vão ocorrendo. Dessa forma, tal rearranjo condiciona uma melhor distribuição granulométrica preenchendo, assim, os espaços vazios da mistura.

Além disso, verifica-se que um teor maior de materiais pulverulentos influenciou para a diminuição do teor de ar, contribuindo também com o aumento da massa específica, conforme Figura 5.15, promovendo, conseqüentemente, um maior empacotamento da mistura já na fase fresca.

5.3.3 Massa específica

A Figura 5.15 mostra a variação dos valores medidos da massa específica dos concretos frescos.

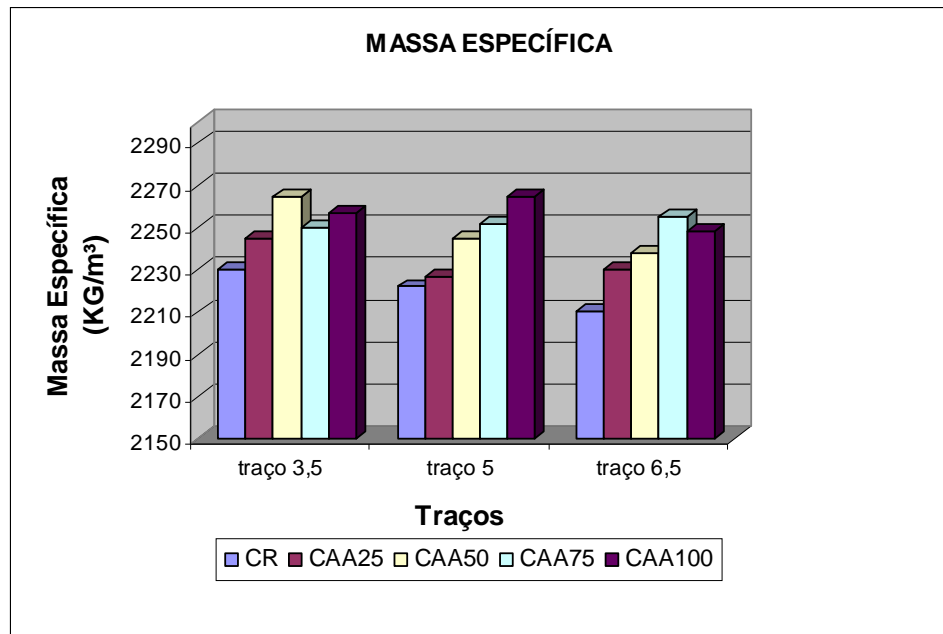


Figura 5.15 – Resultados dos ensaios da massa específica.

Conforme análise da Tabela 5.8 e da Figura 5.15, verificou-se que a substituição da areia natural pela areia de britagem levou a um aumento gradativo da massa específica, os quais variaram de 2.230 até 2.265 kg/m³ nas famílias de traços 1:3,5, de 2.222 até 2.265 kg/m³ nos traços 1:5,0 e de 2210 até 2.250 kg/m³ nos traços 1:6,5.

Notou-se que os concretos com areia de britagem apresentaram massas específicas maiores que os demais concretos, indicando que o teor de material pulverulento e a massa específica maior da areia artificial (Item 5.1.6) influenciaram no aumento da massa específica dos concretos estudados.

Portanto, diante das conclusões anteriores, pode-se deduzir que, quanto maior for o teor de substituição, tanto maior será a massa específica do concreto fresco.

Obviamente que as massas específicas dos agregados artificiais vão depender de suas composições. Quanto mais densos forem os constituintes do agregado, maior será a massa específica do concreto produzido.

Em relação do desvio padrão, verificou-se um índice médio de 0,450 para os valores do teor de ar incorporado e um índice médio de 16,146 para os valores de massa específica.

5.4 ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

5.4.1 Resistência à compressão

O ensaio para determinar a resistência à compressão foi realizado em corpos de prova 10x20cm nas idades de 7, 28 e 56 dias, segundo a norma NBR 5739 (ABNT, 1994). Os resultados médios para cada tipo de traço estudado estão apresentados na Tabela 5.9. Os resultados na íntegra, bem como o seus desvios padrões estão apresentados no Apêndice B.

Tabela 5.9 – Valores de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias.

Nº da Mistura	m	Composição	Resistência aos 7 dias (MPa)	Resistência aos 28 dias (MPa)	Resistência aos 56 dias (MPa)
1	3,5	CR	18,9	20,9	22,6
2	3,5	CAA25	19,1	21,6	24,3
3	3,5	CAA50	19,3	22,2	24,5
4	3,5	CAA75	19,4	22,2	25,9
5	3,5	CAA100	20,5	22,8	27,1
6	5,0	CR	14,5	16,2	18,7
7	5,0	CAA25	13,6	15,4	18,4
8	5,0	CAA50	13,6	15,0	17,6
9	5,0	CAA75	15,0	17,5	20,3
10	5,0	CAA100	14,9	17,7	20,4
11	6,5	CR	10,9	11,8	13,2
12	6,5	CAA25	11,1	12,7	13,8
13	6,5	CAA50	10,8	12,1	13,3
14	6,5	CAA75	11,2	13,3	14,1
15	6,5	CAA100	11,4	12,9	13,1

5.4.1.1 Resistência à compressão aos 7 dias

Os resultados obtidos da resistência à compressão aos 7 dias são apresentados na Figura 5.16 e seus percentuais em relação ao concreto de referência são mostrados na Tabela 5.10.

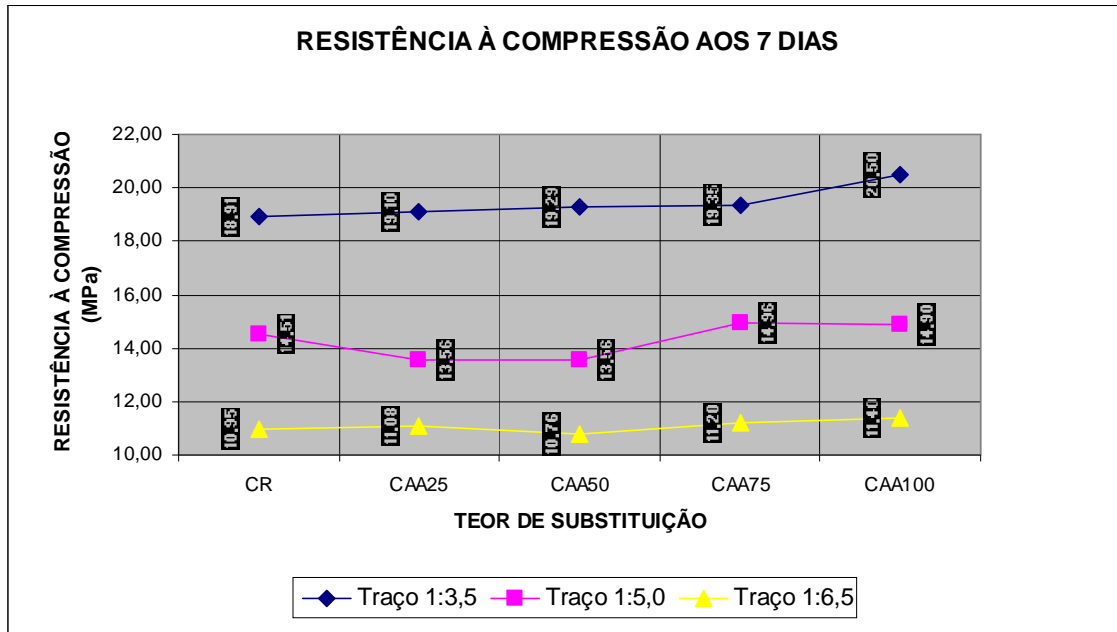


Figura 5.16 – Resultados das resistências à compressão aos 7 dias.

Tabela 5.10 – Percentuais de resistência aos 7 dias em relação ao concreto de referência.

Traços (1 : m)	Traços estudados (%)				
	CAA100	CAA75	CAA50	CAA25	CR
	Percentuais alcançados				
1:3,5	8,42%	2,36%	2,02%	1,01%	100
1:5,0	2,63%	3,07%	-6,58%	-6,58%	100
1:6,5	4,07%	2,33%	-1,74%	1,16%	100

Nos resultados mostrados na Tabela 5.10 e na Figura 5.16, têm-se uma visão geral do aumento de resistência dos concretos com agregado artificial, à medida que se aumenta o teor de substituição para os traços de 1:3,5. Isto fica comprovado nos resultados dos concretos com 56 dias de idade. Os percentuais alcançados em relação aos concretos de referência variaram de 1,01%, com 25% de substituição, a 8,42%, com 100% de agregado artificial. O traço mais pobre, 1:6,5, apresentara uma constância de valores, ou seja, verificou-se que existe uma tendência em manter constantes os valores de resistência nesta família de traços pobres, pois estes, conforme alguns pesquisadores, normalmente apresentam maior incidência de poros e, sendo assim, o efeito da compacidade proveniente dos finos

nesta família não se consolida e, portanto, não exerce seu efeito de empacotamento. Verifica-se, com isso, que para esta família o teor de substituição não influenciou nos resultados.

Os resultados apontam, também, que às reduções nos valores de resistência vão se tornando relativamente menores à medida que se empobrecem os traços. Obviamente que, nos traços mais pobres, existe uma maior quantidade de agregados e menor quantidade de aglomerante.

5.4.1.2 Resistência à compressão aos 28 dias

Os resultados obtidos da resistência à compressão aos 28 dias são apresentados na Figura 5.17 e seus percentuais em relação ao concreto de referência são mostrados na Tabela 5.11.

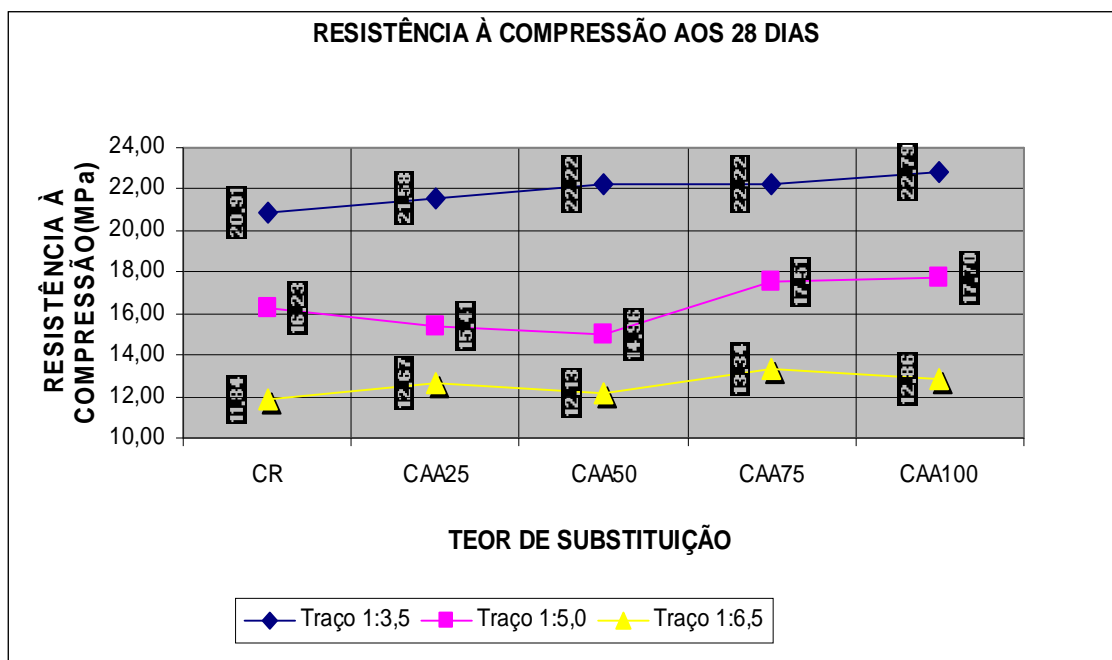


Figura 5.17 – Resultados das resistências à compressão aos 28 dias.

Tabela 5.11– Percentuais de resistência aos 28 dias em relação ao concreto de referência.

Traços (1 : m)	Traços estudados (%)				
	CAA100	CAA75	CAA50	CAA25	CR
	Percentuais alcançados				
1:3,5	8,98%	6,24%	6,24%	3,20%	100
1:5,0	9,02%	7,82%	-7,84%	-5,10%	100
1:6,5	8,60%	12,63%	2,42%	6,99%	100

Analisando os resultados acima, observa-se que somente no traço para família 1:3,5 ocorre uma tendência mais evidente de aumentar a resistência à compressão, à medida que se altera o teor de substituição. Verificou-se um acréscimo de até 8,98% do concreto CAA100 em relação ao CR.

Neville (1997) define a aderência entre o agregado e a pasta de cimento como um importante fator da resistência do concreto. Com isso, observa-se que de fato os agregados artificiais estudados apresentaram forma e textura do tipo lamelar e áspera, características que podem proporcionar um maior intertravamento, condicionando, com isso, uma maior resistência para os concretos de baixa relação água/cimento.

Para os concretos da família 1:5,0 e 1:6,5, ocorre uma oscilação de valores, apresentando um comportamento não contínuo. Pelos resultados apresentados, não se pode afirmar que ocorre aumento ou redução das resistências para esses concretos. Portanto, uma hipótese que se sustenta é a de que concretos com relação água/cimento maior, criam maiores quantidades de poros, e, conseqüentemente, agregado com maior teor de material pulverulento não introduz um fator determinante.

Outro aspecto relevante é que, de acordo com Cánovas (1996), um concreto bem compactado possui um menor volume de ar no seu interior, menos poros, conseqüentemente maior resistência.

5.4.1.3 Resistência à compressão aos 56 dias

Os resultados obtidos da resistência à compressão aos 56 dias são apresentados na Figura 5.18 e seus percentuais em relação ao concreto de referência são mostrados na Tabela 5.12.

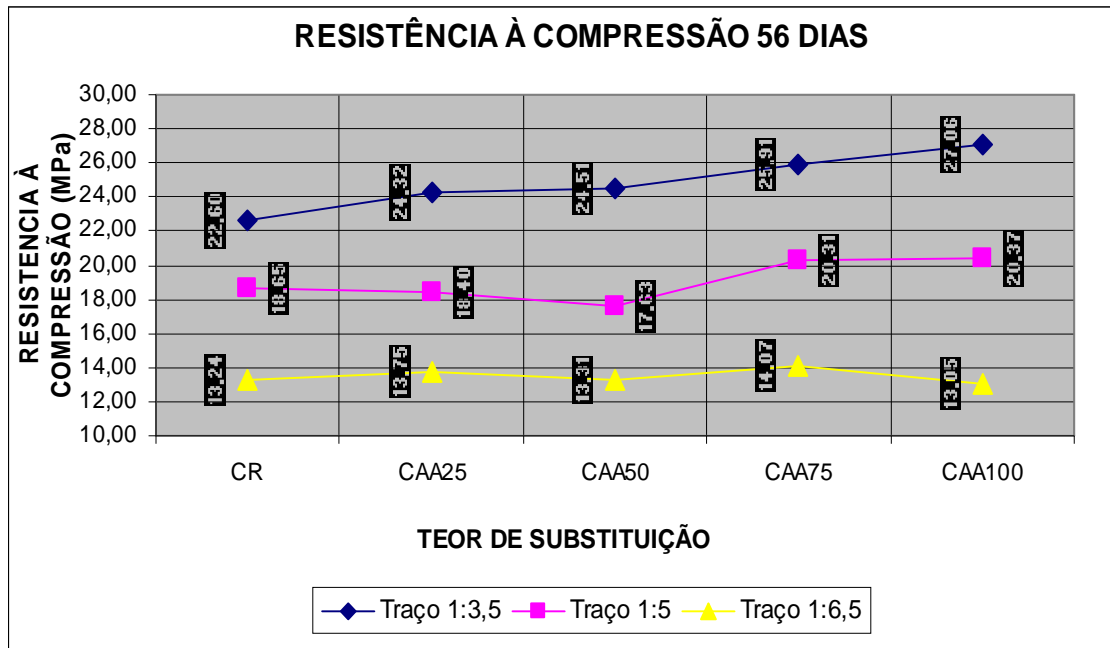


Figura 5.18 – Resultados das resistências à compressão aos 56 dias.

Tabela 5.12 – Percentuais de resistência aos 56 dias em relação ao concreto de referência.

Traços (1 : m)	Traços estudados (%)				
	CAA100	CAA75	CAA50	CAA25	CR
	Percentuais alcançados				
1:3,5	19,72%	14,65%	8,45%	7,61%	100
1:5,0	9,22%	8,87%	-5,46%	-1,37%	100
1:6,5	-1,44%	6,25%	0,48%	3,85%	100

Analisando os resultados da Figura 5.18 e da Tabela 5.12, nota-se que, para os concretos estudados da família 1:6,5, o chamado concreto pobre, confirma-se, aparentemente, que a quantidade de finos não altera os patamares de resistências à compressão, ficando praticamente constantes os resultados aferidos, salvo pequenas oscilações. Tal ocorrência é explicada pela mesma justificativa

apresentada no Item 5.4.1.2, ou seja, para concretos com maior relação água/cimento, existe a ocorrência de maiores poros que, conseqüentemente, tornam irrelevante o efeito fíller que se daria em função da maior proporção de finos na areia de britagem, que, por sua vez, poderiam propiciar um maior fechamento da pasta.

Na confirmação de tal análise, AÏTCIN (2000) versa que a elevada relação água/cimento dos concretos convencionais é traduzida, em termos microestruturais, por uma microestrutura porosa em volta do agregado, observando-se uma zona de transição de espessura variável e com maior porosidade.

Para o concreto da família 1:3,5 aos 56 dias, comprovou-se a tendência de crescimento contínuo da resistência à compressão à medida que se aumenta a quantidade de AA. Com os resultados apresentados, nota-se um aumento de até 19,72% do concreto CAA100 em relação ao CR. Nessa situação (1:3,5), comprova-se que o teor de finos tem parcela determinante, na explicação do aumento contínuo da resistência, à medida que se aumenta o teor de substituição. Tal justificativa fortalece-se, pois, conforme GIAMUSSO (1992), o material pulverulento (dentro de certos limites) pode contribuir para preencher os vazios, influenciando para que o cimento envolva melhor os grãos dos agregados, diminuindo a porosidade e aumentando a resistência do concreto, fato que aparentemente ocorreu nas amostras ensaiadas.

Os resultados, porém, não conduziram a conclusões assertivas sobre o comportamento do concreto em relação à resistência à compressão para concretos de traços médios e pobres. Os resultados vigentes estão induzindo a afirmar que, para famílias de concreto do tipo convencional e de baixas resistências, a proporção de substituição não é representativa e não influenciou na resistência à compressão. Por isso, sugere-se a realização de novos estudos com uma maior amostragem e com elaboração de parâmetros estatísticos de comparação.

Em relação do desvio padrão, verificou-se um índice médio de 0,515, 0,846 e 1,121 para os valores de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias, respectivamente. Tais índices demonstram que há uma variação maior das resistências em concretos com idade mais elevada.

5.4.2 Resistência à tração

Segundo Mehta; Monteiro (1994), estudando concretos com resistência à compressão entre 7 e 62 MPa, a razão entre a resistência à tração direta e a

resistência à compressão está, geralmente, em torno de 7% a 11% e, por essa razão, a maioria dos elementos estruturais é projetada sob a condição de que o concreto não resistirá às tensões de tração.

Estes mesmos autores chamam a atenção no sentido de ser válida a suposição de que existe uma relação direta entre a resistência à compressão e a resistência à tração. Porém, alertam que esse pode não ser o caso geral, já que essa relação pode ser influenciada por fatores, tais como: os métodos de avaliação, a qualidade do concreto e as características dos agregados.

A Tabela 5.13 e as Figuras 5.19 e 5.20 mostram os resultados dos ensaios de resistência à tração por compressão diametral dos concretos com a idade de 7 e 28 dias, respectivamente. A mesma tabela apresenta também as razões entre resistência à tração e à compressão.

Tabela 5.13 – Valores de resistência a tração aos 7 e 28 dias.

Nº da Mistura	m	Composição	Resist. À tração aos 7 dias (MPa)	Resist. à tração aos 28 dias (MPa)	Resist. à compressão aos 28 dias (MPa)	% Aos 28 dias
1	3,5	CR	2,10	2,16	20,9	10,33
2	3,5	CAA25	2,04	2,13	21,6	9,87
3	3,5	CAA50	2,29	2,32	22,2	10,44
4	3,5	CAA75	2,20	2,31	22,2	10,40
5	3,5	CAA100	2,32	2,36	22,8	10,35
6	5,0	CR	1,72	1,75	16,2	10,78
7	5,0	CAA25	1,67	1,72	15,4	11,16
8	5,0	CAA50	1,78	1,81	15	12,10
9	5,0	CAA75	1,83	1,80	17,5	10,28
10	5,0	CAA100	1,75	1,91	17,7	10,79
11	6,5	CR	1,46	1,53	11,8	12,92
12	6,5	CAA25	1,37	1,42	12,7	11,21
13	6,5	CAA50	1,58	1,61	12,1	13,28
14	6,5	CAA75	1,48	1,51	13,3	11,32
15	6,5	CAA100	1,67	1,68	12,9	13,06

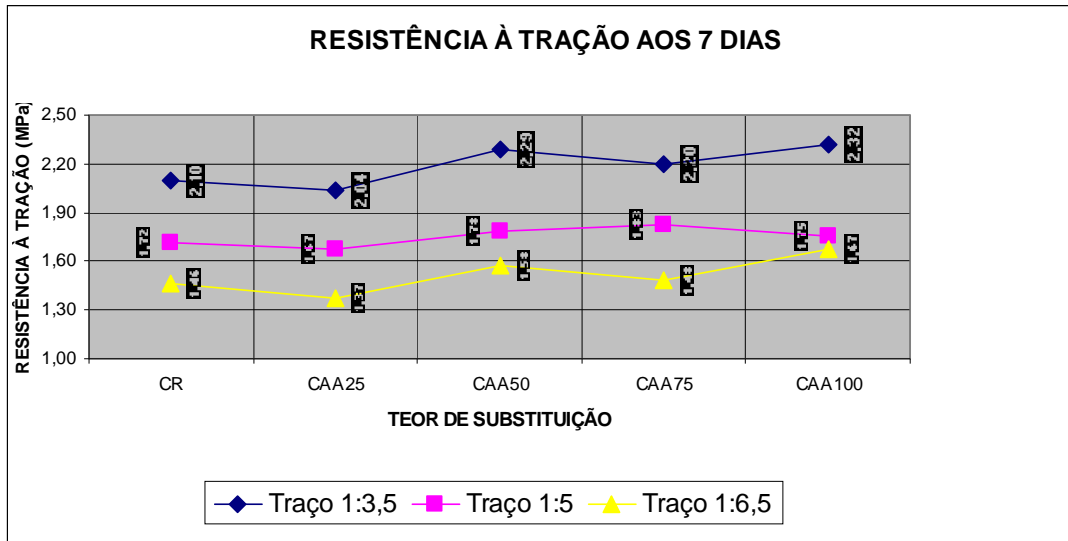


Figura 5.19 – Resultados das resistências à tração aos 7 dias.

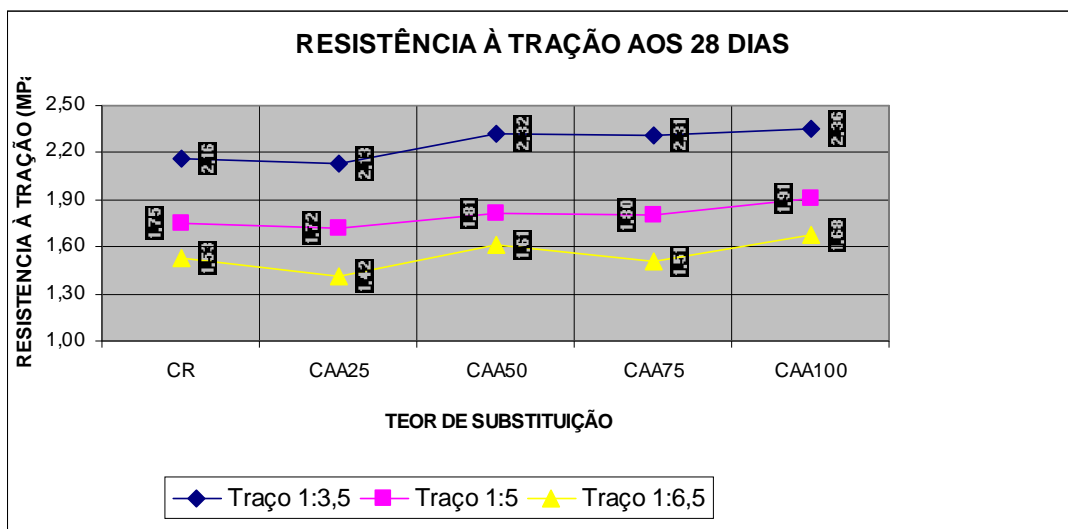


Figura 5.20 – Resultados das resistências à tração aos 28 dias.

No estudo realizado por Mehta; Monteiro (1994), citado anteriormente, os valores das razões entre resistência à tração e resistência à compressão situaram-se entre 7% e 11%. Nos resultados apresentados na Tabela 5.13, notou-se que as razões entre resistência à tração e a resistência à compressão, para os concretos com 28 dias das famílias de traços 1:3,5 e 1:5,0, estão dentro dos limites mencionados pelos pesquisadores. Somente para os traços da família 1:6,5, esta relação fica acima do limite especificado, com média de 12,36%. No entanto, os autores afirmam, ainda, que o ensaio realizado por compressão diametral, comparado com o ensaio de tração direta, superestima a resistência de 10% a até

15%, o que certamente pode ser a razão de tal variação para esse lote.

Observou-se uma tendência semelhante dos resultados de compressão axial com os resultados de tração nos concretos de traços médio e pobres, ou seja, verificaram-se pequenas oscilações de valores, porém, aparentemente, percebeu-se uma regularidade no traçado dos esforços obtidos.

Já para os concretos da família de traço rico (1:3,5), os resultados demonstram que há uma leve tendência em aumentar suas resistências à tração à medida que se aumenta as proporções de substituição, porém, com pequenas oscilações. O fato é que, tanto aos 7 dias, como para aos 28 dias, a resistência à tração por compressão diametral foi maior nos concretos CAA100 do que nos concretos CR, no traço mais rico.

Em relação do desvio padrão, verificou-se um índice médio de 0,098 e 0,091 para os valores de resistência à tração aos 7 e 28 dias, respectivamente.

5.4.3 Módulo de deformação

A Tabela 5.14 mostra os resultados de módulo de deformação dos traços ensaiados e correlaciona os valores de módulo dos concretos com diversos teores de substituição com os concretos de referência.

Tabela 5.14 – Valores de módulo de deformação aos 28 dias de todos os concretos e relação CAA/CR.

Nº da Mistura	M	Composição	Módulo de deformação (GPa)	Relação CAA/CR (%)
1	3,5	CR	27,88	100
2	3,5	CAA25	28,89	3,62
3	3,5	CAA50	30,92	10,90
4	3,5	CAA75	28,40	1,86
5	3,5	CAA100	28,49	2,19
6	5,0	CR	31,66	100
7	5,0	CAA25	29,00	-8,40
8	5,0	CAA50	30,83	-2,62
9	5,0	CAA75	25,24	-20,27
10	5,0	CAA100	25,82	-18,44
11	6,5	CR	28,07	100
12	6,5	CAA25	26,16	-6,80
13	6,5	CAA50	23,68	-15,63
14	6,5	CAA75	26,48	-5,66
15	6,5	CAA100	22,83	-18,66

A Figura 5.21 apresenta em histograma os resultados de módulo de deformação dos traços ensaiados aos 28 dias.

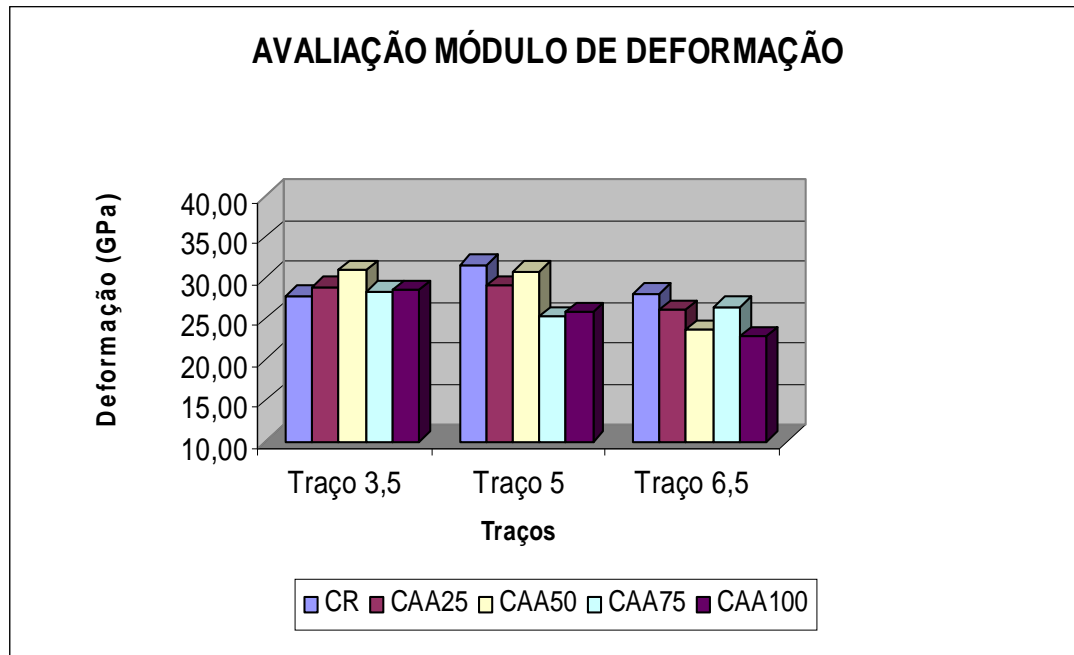


Figura 5.21 – Resultados do módulo de deformação aos 28 dias.

A Figura 5.22 ilustra os resultados de módulo de deformação dos concretos do traço 1:3,5 aos 28 dias.

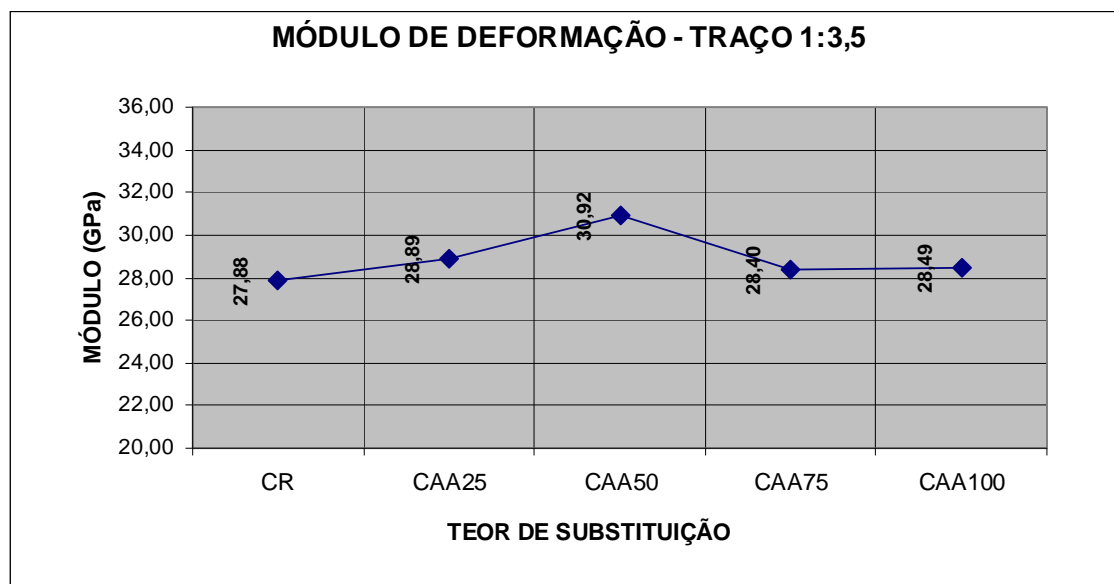


Figura 5.22 – Resultados do módulo de deformação aos 28 dias do traço 1:3,5.

A Figura 5.23 mostra os resultados de módulo de deformação dos concretos do traço 1:5,0 aos 28 dias.

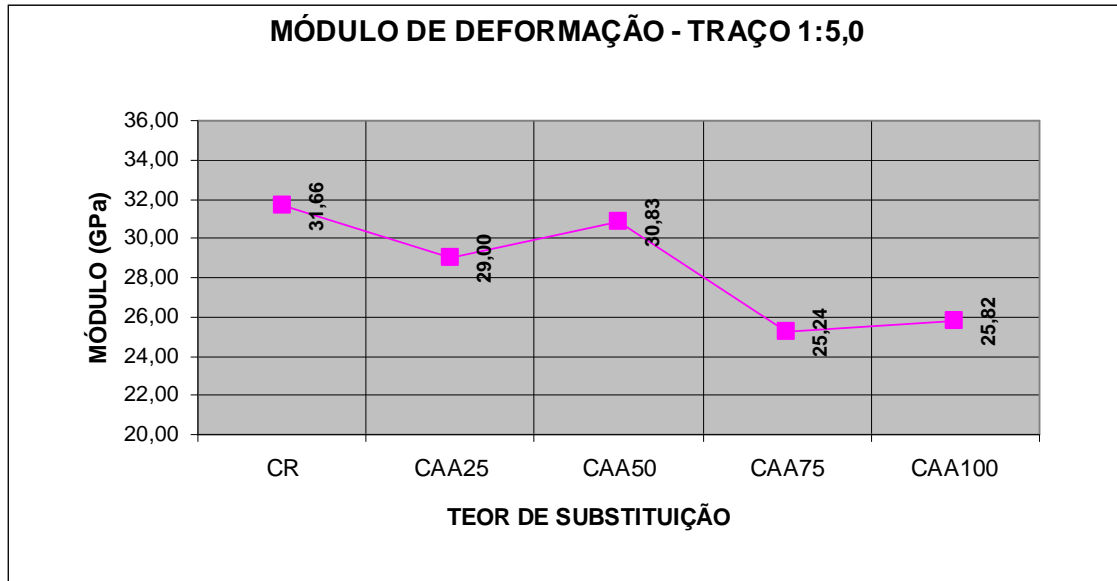


Figura 5.23 – Resultados do módulo de deformação aos 28 dias do traço 1:5,0.

A Figura 5.24 mostra os resultados de módulo de deformação dos concretos do traço 1:6,5 aos 28 dias.

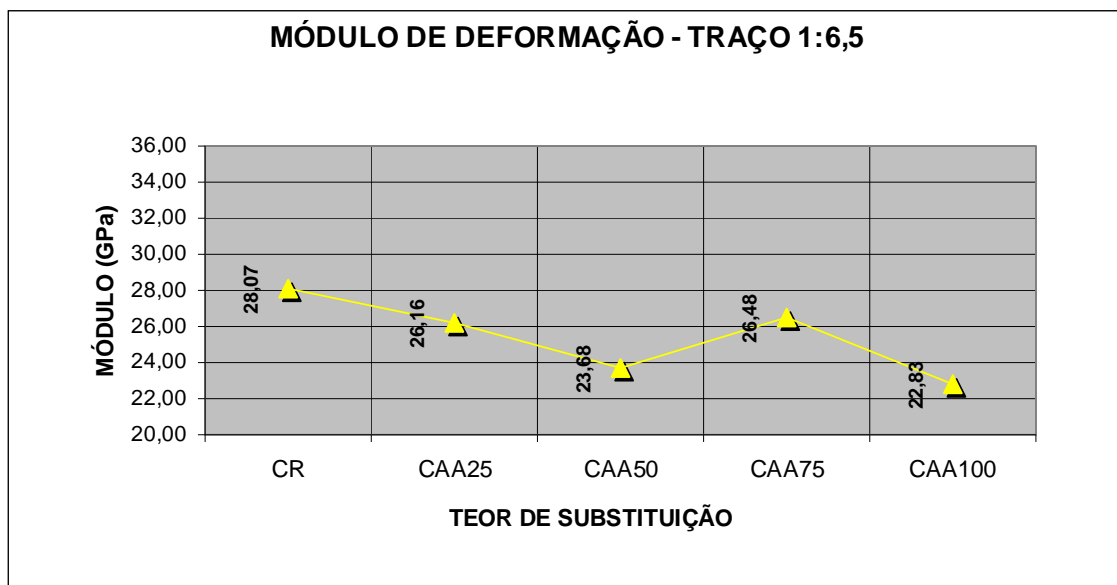


Figura 5.24 – Resultados do módulo de deformação aos 28 dias do traço 1:6,5.

A partir dos dados apresentados, observou-se que os concretos com o agregado artificial apresentaram módulos de deformação inferiores em relação aos apresentados pelos concretos de referência, nos traços de 1:5,0 e 1:6,5. As variações, no traço 1:5,0, ficaram entre 8% e 18% menores, nas substituições de 25% e 100%, respectivamente. Já para o traço de 1:6,5 as variações foram de 7% a 19% menores para substituições de 25% e 100%, respectivamente.

Com relação aos constituintes do concreto, vale ressaltar que porosidade, módulo de deformação do agregado, dimensão máxima do agregado, forma, textura superficial, granulometria e composição mineralógica do agregado graúdo e miúdo são de relevante importância para a determinação de um módulo de deformação, por isso, no presente estudo, todas as amostras foram produzidas com os agregados graúdos e a areia britada de mesma litologia.

Nesse caso, portanto, supõe-se que os fatores determinantes para a avaliação de módulo de deformação são: relação água/cimento maior, conteúdo de ar, procedimento dos ensaios, taxa de carregamento e diferentes quantidades de substituição de AN por AA etc.

Para os concretos de traço 1:3,5, onde a relação água cimento é menor, notou-se que em todas as amostras, os resultados apresentados de módulo foram maiores para os concretos com agregado artificial. Entre 1,86% a 10,90% maiores. Sugere-se afirmar que houve uma correlação do aumento do módulo com o aumento do teor de substituição.

Propõe-se deduzir que, para concretos com areia de britagem em condições de baixa relação água/cimento, alguns fatores se tornam determinantes para o resultado em questão: a massa específica maior dos agregados alternativos, a forma e a textura dos agregados miúdos de rocha que condicionaram um intertravamento, os vazios (poros na matriz) que foram aparentemente reduzidos pelo efeito empacotamento, proveniente dos finos contidos nos agregados de rocha.

Outro fator que pode ser lançado como possível responsável é a origem do agregado. Por ser proveniente de rocha cuja porosidade é baixa, como comprovaram alguns estudos de pesquisadores que ensaiaram testemunhos segundo os quais o módulo de deformação destes agregados (granito) ficou na faixa de 69 a 138Gpa, portanto módulos maiores que os resultados dos arenitos que variaram de 21 a 48Gpa (MEHTA; MONTEIRO, 1994).

Em relação do desvio padrão, verificou-se um índice médio de 2,071 para os valores de módulo de deformação aos 28 dias.

5.4.4 Absorção, índice de vazios e massa específica.

Os resultados nos ensaios de absorção média, índice de vazios médio e massa específica são apresentados na Tabela 5.15.

Tabela 5.15 – Valores de absorção, índice de vazios e massa específica.

Nº DA MISTURA	m	Composição	Absorção Média A (%)	Índice de Vazios Médio Iv(%)	Massa Específica Real Média ρ_r (%)
1	3,5	CR	6,52	14,42	2,59
2	3,5	CAA25	6,63	14,70	2,60
3	3,5	CAA50	7,00	15,57	2,63
4	3,5	CAA75	6,92	15,34	2,62
5	3,5	CAA100	7,66	16,85	2,64
6	5,0	CR	7,01	15,35	2,59
7	5,0	CAA25	6,43	14,35	2,61
8	5,0	CAA50	6,85	15,18	2,61
9	5,0	CAA75	6,77	15,07	2,62
10	5,0	CAA100	7,45	16,44	2,64
11	6,5	CR	5,58	12,33	2,53
12	6,5	CAA25	6,98	15,40	2,61
13	6,5	CAA50	6,71	14,88	2,61
14	6,5	CAA75	6,73	14,98	2,62
15	6,5	CAA100	7,24	15,80	2,59

5.4.4.1 Absorção média.

Os resultados obtidos no ensaio de absorção média estão apresentados na Figura 5.25.

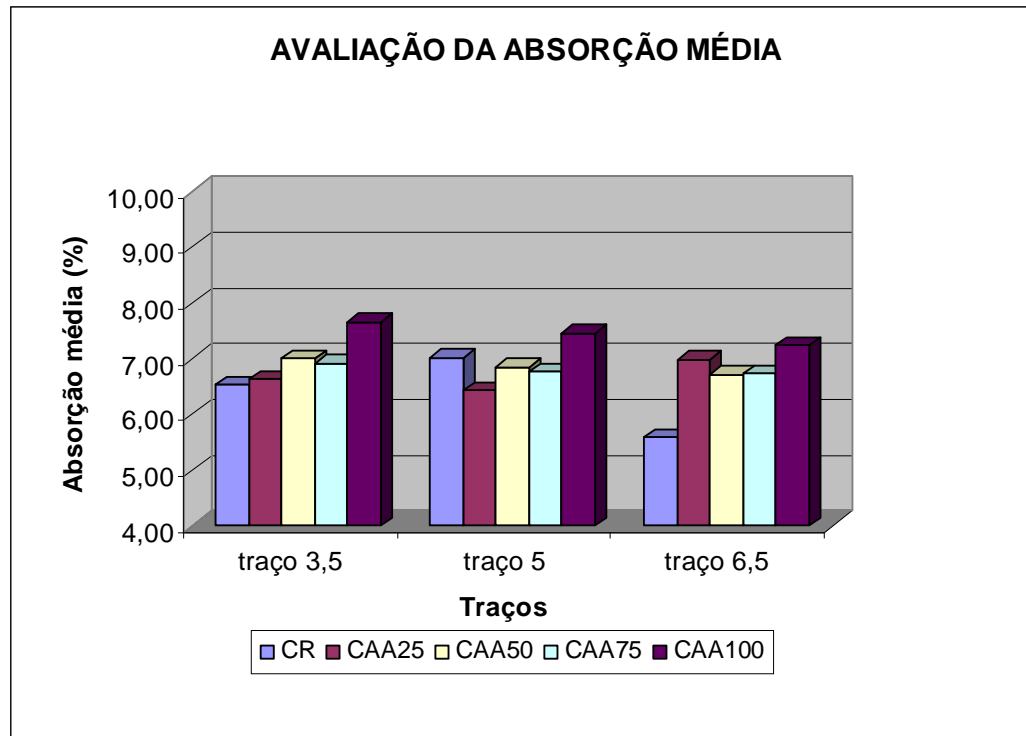


Figura 5.25 – Resultados da absorção média.

A norma NBR 9.778 (ABNT, 2005) conceitua que absorção de água é o processo pelo qual a água é conduzida e tende a ocupar os poros permeáveis de um corpo sólido poroso. Como se pôde observar por meio dos resultados apresentados, ocorre uma inversão dos valores obtidos de absorção, pois, de acordo com Bastos (2002), à medida que se aumentam os teores de substituição de areia natural por areia de britagem o índice de absorção tende a reduzir, tendo como justificativa principal o alto teor de material pulverulento.

No entanto, Neville (1997) esclarece que são vários os procedimentos que podem ser seguidos, e podem ser obtidos resultados muito diferentes. Uma razão para essa variação nos valores da absorção é que, em um extremo, a secagem nas temperaturas usuais pode não remover toda a água. Por outro lado, a secagem por temperaturas elevadas pode remover parte da água combinada. Portanto, a absorção não pode ser usada como uma medida da qualidade do concreto, mas a maioria dos bons concretos tem absorção bem abaixo de 10% em massa.

Outro aspecto a ser considerado é que devido a maior quantidade de finos a água pode ter ficado adsorvida ao redor dos grãos, sendo contabilizada como água absorvida no ensaio.

Porém, nos critérios do COMITÉ EURO-INTERNATIONAL du BETÓN, (CEB, 1989), concretos com absorção maior 5,0% são considerados como concretos de baixa qualidade e de absorção alta.

Os resultados obtidos estão todos abaixo de 10%, porém, acima de 5,0%. Como os resultados não se apresentaram coerentes com os demais resultados do programa experimental e, sobretudo, contrário ao que se vê em outras pesquisas analisadas, portanto, sugere-se novos estudos com uma maior amostragem e com elaboração de parâmetros de análise estatísticos de variância para uma melhor comparação.

5.4.4.2 Índice de vazios.

Os resultados obtidos no ensaio de avaliação do índice de vazios estão apresentados na Figura 5.26.

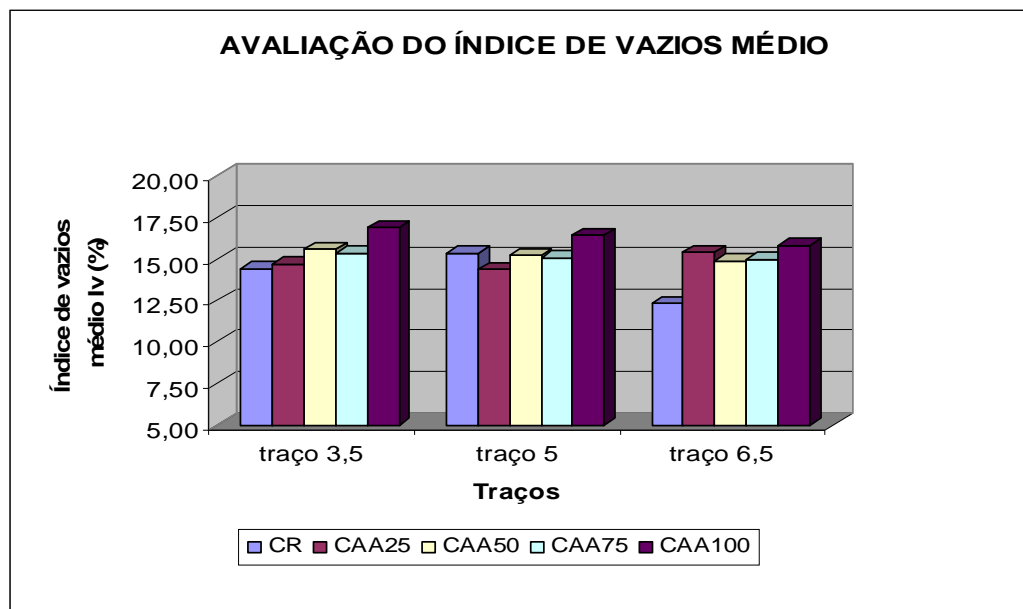


Figura 5.26 – Índice de vazios médio.

A análise dos resultados obtidos mostrou que, para todos os traços, conforme já havia revelado na absorção, os índices de vazios aumentam à medida que se aumenta a proporção de substituição. Apesar de uma pequena oscilação, os resultados mostraram que, para todos os traços, os índices de vazios são maiores para concretos CAA100 em relação ao CR, contrariando os estudos de alguns

pesquisadores e não sendo coerentes com os demais resultados do programa experimental.

Sugerem-se novos estudos com uma maior amostragem e com elaboração de parâmetros de análise estatísticos de variância para uma melhor comparação.

5.4.4.3 Massa específica.

Os resultados obtidos no ensaio de avaliação da massa específica média estão apresentados na Figura 5.27.

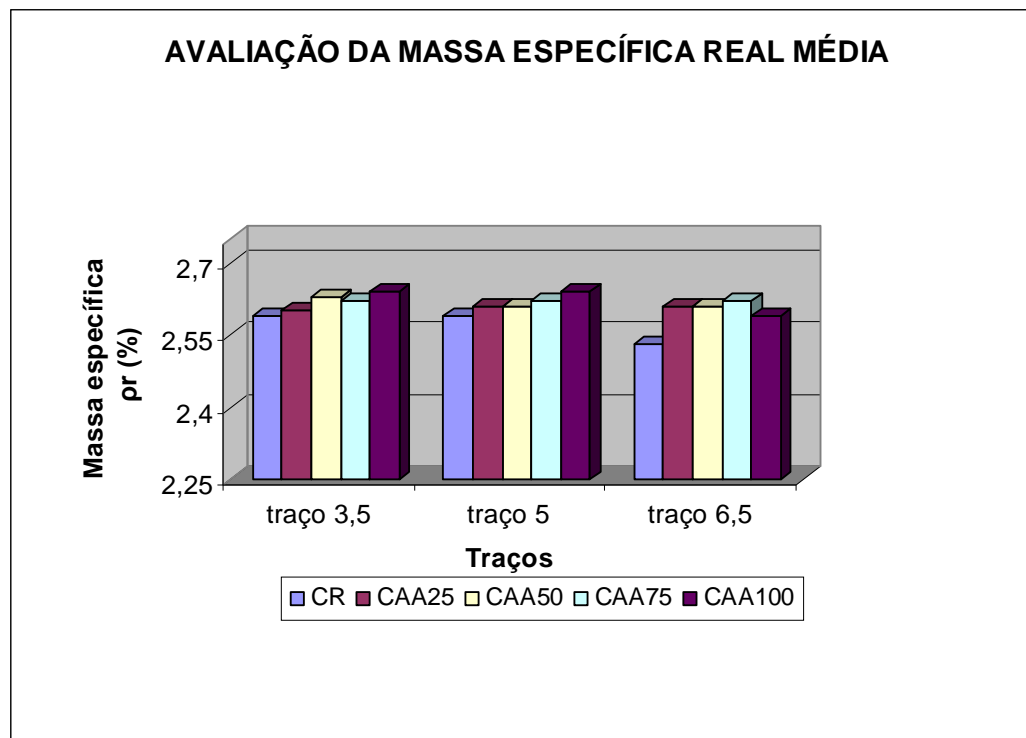


Figura 5.27 – Massa específica real média.

Os resultados apresentados para massa específica acompanharam o que já se havia observado na caracterização dos agregados miúdos. À medida que se aumentou a proporção de substituição, de maneira diretamente proporcional, a massa específica aumentava de acordo com o teor contido na mistura. A massa específica do concreto com 100% de areia de britagem foi de 1,93% maior que o

concreto de referência para os traços 1;3,5 e 1:5,0, e de 2,37% maior para os concretos CAA100 em relação ao CR no traço 1:6,5.

Em relação do desvio padrão, verificou-se um índice médio de 0,484, 1,020 e 0,025 para os resultados obtidos no ensaio de absorção média, índice de vazios médio e massa específica real média, respectivamente.

5.4.5 Reação álcali-agregado.

Os resultados obtidos no ensaio da avaliação da reação álcali-agregado estão apresentados na Tabela 5.16.

Tabela 5.16 – Resultados da expansão média das amostras, em %.

Amostra	3 dias	6 dias	9 dias	12 dias	16 dias	30 dias
A.N. (%)	0,03	0,04	0,07	0,09	0,09	0,19
CAA25	0,02	0,03	0,05	0,07	0,10	0,20
CAA50	0,01	0,002	0,04	0,06	0,09	0,20
CAA75	0,05	0,02	0,05	0,07	0,11	0,20
A.A. (%)	0,03	0,05	0,07	0,09	0,09	0,19

As especificações da ASTM C-1260 (ASTM, 2001) utilizadas na avaliação da reação álcali-agregado estão apresentadas na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 – Especificações da reação álcali-agregado.

Parâmetros	Status
Expansão < 0,10%	Não reativo
Expansão > 0,10% a < 0,20%	Potencialmente Reativo
Expansão > 0,20%	Reativo

Os resultados obtidos na avaliação da reação álcali-agregado estão apresentados na Figura 5.28.

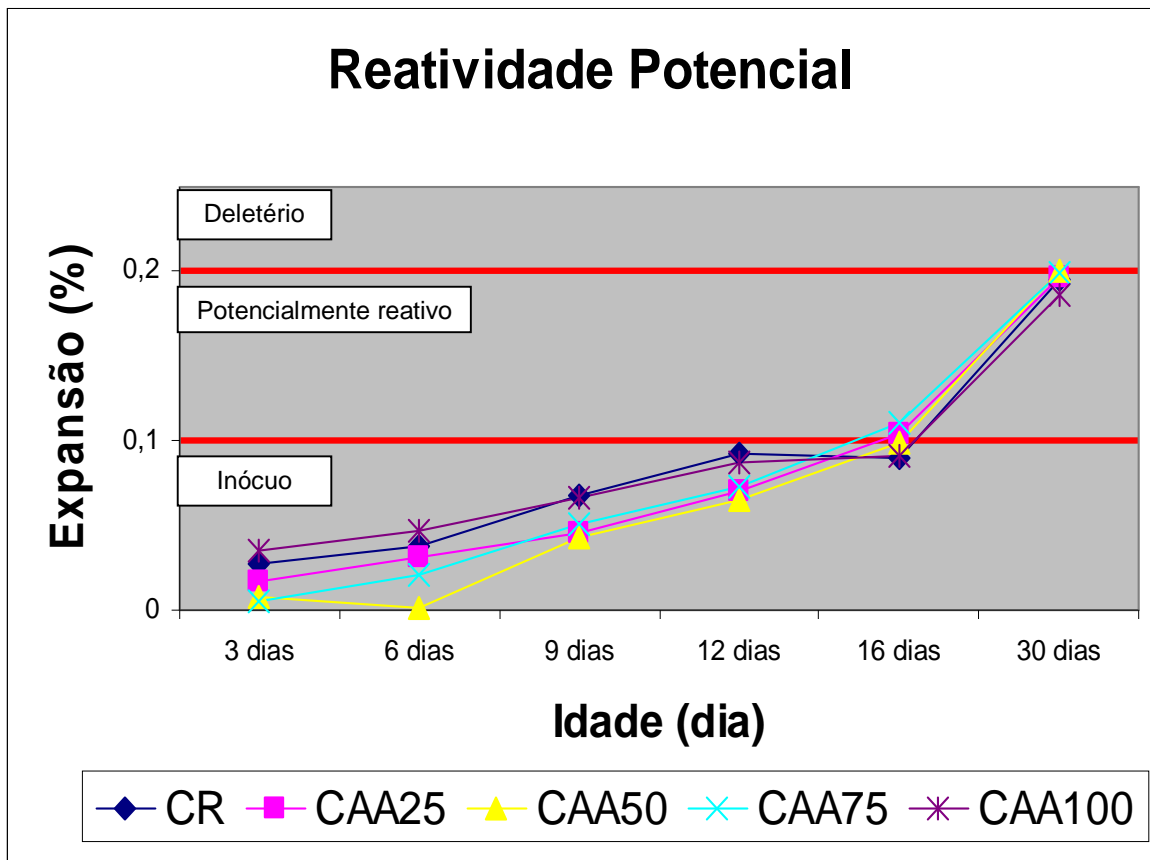


Figura 5.28 – Representação gráfica da reatividade potencial.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 5.16, verificou-se que a susceptibilidade de combinações cimento-agregado a reações expansivas, nas quais intervenham álcalis (sódio e potássio), condicionam as seguintes análises. Aos 30 dias todas as amostras apresentaram expansões que indicaram que os materiais que as compõe são potencialmente reativos, inclusive o agregado miúdo natural, apesar do critério da ASTM C-1260 estar associado à idade de 16 dias. Cabe ressaltar que a areia natural empregada neste estudo possui um histórico positivo em relação à RAA e quando os resultados de expansão apontam para a potencialidade reativa, com valores de 0,19% a 0,20% para todas as amostras, sugere-se a realização de ensaios complementares, tais como:

- Análise Petrográfica ASTM 295 (ASTM, 1997), ASTM 856 (ASTM, 1997) e NBR 7389 (ABNT, 1992);
- Microscopia estereoscópica;
- Método Químico NBR 9774, ABNT (1987) e ASTM 289, ASTM (1997) e outros.

Avaliando-se aos 16 dias verifica-se que com exceção da expansão da argamassa feita com o CAA75, o qual foi levemente superior ao critério da ASTM C-1260 ($< 0,10\%$), todas as demais expansões foram $\leq 0,1\%$ o que indica que os agregados miúdos avaliados, bem como nas composições, não se apresentaram como reativos.

Em relação do desvio padrão, verificou-se um índice de 0,005 para os resultados obtidos no ensaio de expansão média aos 30 dias de idade.

5.5 VIABILIDADE ECONÔMICA

Com a intenção de formatar uma comparação da viabilidade econômica dos concretos da presente pesquisa, foi realizado um levantamento de preços de insumos que compõem os concretos para elaboração da composição de custo unitário para cada metro cúbico. A composição inclui os preços dos insumos praticados no mercado goianiense. O preço da areia natural foi fornecido pela empresa Mineração Cerrado, o preço da brita e da areia britada foi coletado na revista Construção em Goiás, de Julho de 2007, que representam os mesmos valores praticados pela empresa Britagran. Para todos os valores, foram considerados o fator frete.

A Tabela 5.18 apresenta o consumo de cimento e a composição de custo unitário para cada mistura estudada.

Tabela 5.18 – Consumo de cimento e custo unitário.

MIX (Nº)	COMP.	CONSUMO DE CIMENTO (KG/m³)	(%)	CUSTO UNIT. (R\$/m³)	(%)	CUSTO UNIT. (R\$/MPa 56 dias)	TIPO DO TRAÇO
1	CR	457	100%	R\$ 169,34	100%	R\$ 7,49	TRAÇO 1:3,5
2	CAA25	460	100,68%	R\$ 167,58	-1,03%	R\$ 6,90	
3	CAA50	462	101,05%	R\$ 165,32	-2,37%	R\$ 6,75	
4	CAA75	463	101,33%	R\$ 162,88	-3,81%	R\$ 6,29	
5	CAA100	464	101,60%	R\$ 160,38	-5,29%	R\$ 5,92	
6	CR	345	100%	R\$ 146,78	100%	R\$ 7,85	TRAÇO 1:5
7	CAA25	348	101,02%	R\$ 144,86	-1,31%	R\$ 7,87	
8	CAA50	349	101,32%	R\$ 141,85	-3,36%	R\$ 8,06	
9	CAA75	350	101,52%	R\$ 138,68	-5,52%	R\$ 6,83	
10	CAA100	351	101,83%	R\$ 135,76	-7,51%	R\$ 6,65	
11	CR	273	100%	R\$ 131,56	100%	R\$ 9,97	TRAÇO 1:6,5
12	CAA25	277	101,25%	R\$ 129,50	-1,57%	R\$ 9,38	
13	CAA50	278	101,78%	R\$ 126,43	-3,89%	R\$ 9,51	
14	CAA75	279	101,99%	R\$ 122,97	-6,53%	R\$ 8,72	
15	CAA100	280	102,42%	R\$ 119,73	-8,99%	R\$ 9,14	

A Figura 5.29 apresenta a variação do custo por metro cúbico para cada traço estudado.

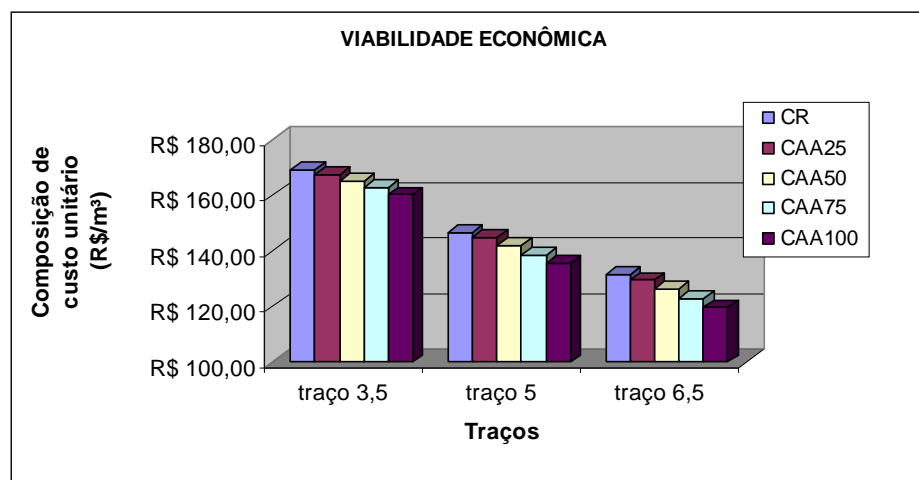


Figura 5.29 – Variação do custo unitário.

A Figura 5.30 apresenta a variação do consumo de cimento para cada traço estudado.

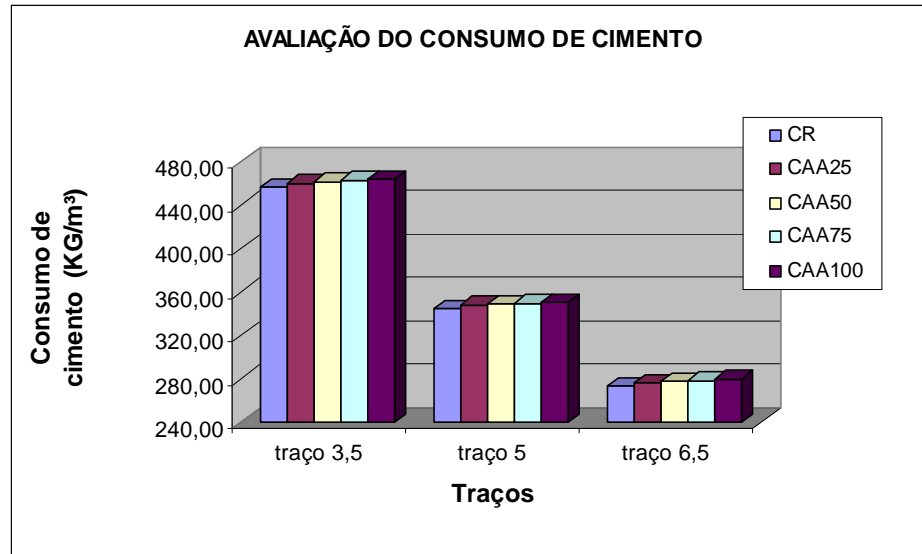


Figura 5.30 – Variação do consumo de cimento.

Conforme os dados acima, verificou-se que o custo para a produção de 1 metro cúbico de concreto com 100% de areia natural para família 1:3,5 é de R\$ 169,34 e o do concreto com 100% com areia de britagem para a mesma família é de R\$ 160,38. Observou-se que o concreto com areia de britagem para esses parâmetros apresentou uma economia de 5,29%, mesmo tendo um aumento de 1,60% no consumo de cimento.

Para família 1:5,0, de acordo com os resultados apresentados, verificou-se que o custo para a produção de 1 metro cúbico de concreto com 100% de areia natural é de R\$ 146,78 e o do concreto com 100% com areia de britagem para essa mesma família, é de R\$ 135,76. Portanto, o concreto com agregado alternativo, para esses parâmetros apresentou uma economia de 7,21%, mesmo tendo um aumento de 1,83% no consumo de cimento. Neste caso, nota-se que a economia em relação aos concretos aumentou. Isto deve-se à alteração dos traços, cujas quantidades de agregados miúdos aumentaram para compor adequadamente o concreto dosado para o estudo em questão.

Já para família 1:6,5, conforme a Tabela 5.18 e as Figuras 29 e 30, verificou-se que o custo para a produção de 1 metro cúbico de concreto com 100% de areia natural é de R\$ 131,56 e o concreto com 100% do outro agregado, para esta mesma família, é de R\$ 119,73. Portanto, o concreto com areia de britagem para esses parâmetros apresentou uma economia de 8,99%, mesmo tendo um

aumento de 2,42% no consumo de cimento. Neste caso, tal economia é devida ao mesmo fator relatado acima.

Em relação ao consumo de cimento, foi verificado que houve um aumento à medida que se aumentava a proporção de substituição. Pois, em decorrência da necessidade de se ajustar o traço dos concretos, havia se definido e fixado um teor de argamassa, porém, as quantidades de cimento e agregados miúdos foram alteradas, até que o concreto apresentasse uma coesão e trabalhabilidade ideal.

No que se refere ao valor unitário por MPa verificou-se uma variação de R\$5,92 até R\$ 9,97 conforme mostra a Tabela 5.18.

Verificou-se que o desvio padrão apresentou um índice de 4,284 para os resultados obtidos para os valores unitários dos concretos estudados nesta pesquisa.

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	134	
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS E SUAS PARTICULARIDADES 134	
5.1.1	Granulometria	134
5.1.1.1	Agregado graúdo	134
5.1.1.2	Areia natural.....	136
5.1.1.3	Areia de britagem.....	137
5.1.2	Torrões de argila e materiais friáveis	139
5.1.3	Material pulverulento	139
5.1.4	Impurezas orgânicas	140
5.1.5	Teor de cloretos, sulfatos e sais solúveis.....	140
5.1.6	Massa específica	140
5.1.7	Massa unitária	141
5.1.8	Absorção de água	141
5.1.9	Resumo das caracterizações	141
5.1.10	Inchamento	143
5.1.11	Textura e forma dos grãos	144
5.2	RESULTADOS DAS DOSAGENS	146
5.3	ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO	152
5.3.1	Trabalhabilidade	153
5.3.2	Teor de ar incorporado	154
5.3.3	Massa específica	156
5.4	ENSAIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO	157
5.4.1	Resistência à compressão	157
5.4.1.1	Resistência à compressão aos 7 dias.....	157
5.4.1.2	Resistência à compressão aos 28 dias.....	159
5.4.1.3	Resistência à compressão aos 56 dias.....	161
5.4.2	Resistência à tração	162
5.4.3	Módulo de deformação	165
5.4.4	Absorção, índice de vazios e massa específica.....	169
5.4.4.1	Absorção média.	169
5.4.4.2	Índice de vazios.	171
5.4.4.3	Massa específica.	172

5.4.5	Reação álcali-agregado.....	173
5.5	VIABILIDADE ECONÔMICA.....	175
Figura 5.1	– Curva granulométrica da areia natural.	137
Figura 5.2	– Curva granulométrica da areia britada.	139
Figura 5.3	– Curva do inchamento da areia natural.	143
Figura 5.4	– Curva do inchamento da areia britada.	144
Figura 5.5	– Imagem ampliada dos grãos de areia britada.	145
Figura 5.6	– Imagem ampliada dos grãos de areia natural.	145
Figura 5.7	– Imagem ampliada dos grãos de areia normal.	145
Figura 5.8	– Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CR).....	147
Figura 5.9	– Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA25).....	148
Figura 5.10	– Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA50).....	149
Figura 5.11	– Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA75).....	150
Figura 5.12	– Diagrama de dosagem para os resultados de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias (CAA100).....	151
Figura 5.13	– Resultados dos ensaios de abatimento do tronco de cone.....	153
Figura 5.14	– Resultados dos ensaios do teor de ar incorporado.	155
Figura 5.15	– Resultados dos ensaios da massa específica.....	156
Figura 5.16	– Resultados das resistências à compressão aos 7 dias.	158
Figura 5.17	– Resultados das resistências à compressão aos 28 dias.	159
Figura 5.18	– Resultados das resistências à compressão aos 56 dias.	161
Figura 5.19	– Resultados das resistências à tração aos 7 dias.....	164
Figura 5.20	– Resultados das resistências à tração aos 28 dias.....	164
Figura 5.21	– Resultados do módulo de deformação aos 28 dias.....	166
Figura 5.22	– Resultados do módulo de deformação aos 28 dias do traço 1:3,5....	166
Figura 5.23	– Resultados do módulo de deformação aos 28 dias do traço 1:5,0....	167
Figura 5.24	– Resultados do módulo de deformação aos 28 dias do traço 1:6,5....	167
Figura 5.25	– Resultados da absorção média.	170

Figura 5.26 – Índice de vazios médio.....	171
Figura 5.27 – Massa específica real média.....	172
Figura 5.28 – Representação gráfica da reatividade potencial.....	174
Figura 5.29 – Variação do custo unitário.....	176
Figura 5.30 – Variação do consumo de cimento.....	177
Tabela 5.1 – Composição granulométrica do agregado graúdo.....	135
Tabela 5.2 – Caracterização do agregado graúdo.....	135
Tabela 5.3 – Composição granulométrica da areia natural.....	136
Tabela 5.4 – Resumos dos resultados da areia natural.....	136
Tabela 5.5 – Composição granulométrica da areia britada.....	138
Tabela 5.6 – Caracterização da areia britada.....	138
Tabela 5.7 – Resumo das caracterizações.....	142
Tabela 5.8 – Resultados dos ensaios no concreto fresco.....	153
Tabela 5.9 – Valores de resistência à compressão aos 7, 28 e 56 dias.....	157
Tabela 5.10 – Percentuais de resistência aos 7 dias em relação ao concreto de referência.....	158
Tabela 5.11– Percentuais de resistência aos 28 dias em relação ao concreto de referência.....	160
Tabela 5.12 – Percentuais de resistência aos 56 dias em relação ao concreto de referência.....	161
Tabela 5.13 – Valores de resistência a tração aos 7 e 28 dias.....	163
Tabela 5.14 – Valores de módulo de deformação aos 28 dias de todos os concretos e relação CAA/CR.....	165
Tabela 5.15 – Valores de absorção, índice de vazios e massa específica.....	169
Tabela 5.16 – Resultados da expansão média das amostras, em %.....	173
Tabela 5.17 – Especificações da reação álcali-agregado.....	173
Tabela 5.18 – Consumo de cimento e custo unitário.....	176

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o bom entendimento da proposta desta presente pesquisa, foi realizada uma revisão bibliográfica específica sobre o tema e uma série de ensaios sobre os agregados e sobre os concretos produzidos com os mesmos. Foram analisadas de forma teórica-científica várias propriedades dos agregados naturais, da areia de britagem e propriedades do concreto nos estados fresco e endurecido produzidos com estes agregados.

A partir dos resultados e das análises, foi verificado que o uso das areias de britagem oriundas da rocha de granito-gnaiss, em substituição à areia natural promoveu alterações no concreto com reflexos no seu comportamento mecânico, na sua durabilidade, na composição do custo unitário do concreto e nos aspectos ambientais.

6.1 QUANTO AS CARACTERIZAÇÕES

A areia de britagem de litologia granito-gnaiss apresentou algumas características físicas que as diferenciam das areias naturais.

Tanto a areia natural como a areia de britagem utilizados nesta pesquisa possuem boa distribuição granulométrica, sendo classificadas como areias médias. As duas areias estão, praticamente, alinhadas dentro dos limites ótimos de módulo de finura, conforme a norma NBR 7.211 (ABNT, 2005).

A areia natural apresentou um coeficiente de inchamento menor que o da areia de britagem, devido à menor quantidade de material pulverulento presente no agregado natural estudado.

A areia natural apresentou uma absorção de água maior que o da areia de britagem no estado saturado superfície seca. Fato previsto devido à maior porosidade desse agregado.

Outra característica marcante da areia de britagem é seu alto teor de materiais pulverulentos de, aproximadamente, 11,4%. Em relação à areia natural ensaiada, o teor de material pulverulento encontrado foi de 1,2%. Na revisão da NBR 7.211 (ABNT, 2005) os limites aceitáveis foram alterados para um intervalo de 10% até 12%, dependendo do desgaste a que o concreto será submetido. Portanto, ambos dentro dos limites estabelecidos considerado o maior limite recomendado.

O teor de cloretos da areia natural apresentou-se acima do limite especificado pela norma. Já no agregado artificial, foi identificado um teor bem abaixo do limite. No quesito teor de sulfatos a situação inverteu-se: a areia de rio apresentou teores abaixo da norma, enquanto para as areias de rocha, para este parâmetro superou a norma sul-africana.

Devido a sua característica litológica, a areia de britagem apresentou massa específica maior que a areia natural, fato que se repetiu na massa unitária.

No que se refere à textura e à forma dos grãos, a areia de britagem oriunda da rocha granito-gnaiss apresentou grãos com grau de esfericidade baixo, grau de arredondamento do tipo subanguloso, forma das partículas do tipo lamelar e textura superficial do tipo áspera, evidenciando, ainda, um alto grau de partículas finas contidas na amostra, fato confirmado nos resultados dos ensaios de teor de material pulverulento. Para a areia natural, concluiu-se que os grãos apresentaram grau de esfericidade alto, grau de arredondamento do tipo anguloso, forma das partículas do tipo arredondando, levemente irregular e textura superficial do tipo granulosa.

6.2 QUANTO AOS RESULTADOS DE DOSAGEM

Os diagramas de dosagens demonstraram que existe uma forte similaridade dos concretos estudados. Os diagramas comprovam a teoria de alguns autores que cancelam a semelhança entre concretos produzidos com areia natural e areia de britagem.

Os diagramas também demonstraram que as relações entre a resistência à compressão com a a/c , com o traço (1:m) e o consumo de cimento continuaram seguindo as leis de Abrams, Lyse e Molinari, ou seja no geral as leis podem ser aplicadas para concretos desta natureza.

6.3 QUANTO ÀS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

O maior teor de materiais pulverulentos das areias de britagem também contribuiu para o aumento da massa específica e diminuição do teor de ar aprisionado em relação aos concretos produzidos com areia natural.

A trabalhabilidade verificada nos concretos permitiu concluir que houve uma significativa redução do abatimento do tronco de cone, na ordem de 50% para concretos das famílias 1:3,5 e 1:5,0 e de 38% para os concretos da família 1:6,5. Tal redução deve-se a forma lamelar e a grande quantidade de finos da areia de britagem que levaram a uma maior demanda de água de amassamento.

A massa específica aparente dos concretos produzidos com as diferentes proporções de substituição de agregados demonstrou uma pequena variação, se comparado com os concretos de referência, traduzindo, portanto, em um aumento da massa específica, à medida que se aumentava a proporção de substituição da areia natural pela areia de britagem. Essa situação é devido à maior massa específica da areia alternativa.

6.4 QUANTO ÀS PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

Em decorrência das substituições, a resistência à compressão axial dos corpos-de-prova com concreto CAA100 (com 100% de AA) demonstrou um aumento na ordem de 19,72% em relação ao concreto de referência na família dos traços 1:3,5 aos 56 dias. Foi verificado que em todas as idades, para o traço 1:3,5, houve aumento da resistência à medida que se aumentava a proporção de substituição. Assim, é possível teorizar que, para concretos de baixa relação água/cimento, ou seja, traço mais forte, o agregado artificial oriundo de rocha, potencializa a resistência à compressão, devido à presença de finos e, conseqüentemente, devido ao efeito filler. Contudo, para concretos com traços fracos e médios, não ficou evidenciado, pelos resultados, a mesma situação citada acima, ficando os valores das resistências à compressão praticamente constantes, apesar de pequenas oscilações anotadas.

Na tração por compressão diametral, não foi possível observar diferenças significativas para os concretos estudados, após substituição dos agregados. Para os concretos 1:3,5 e 1:5,0, a razão entre os resultados de compressão e tração ficou

dentro dos limites estabelecidos por alguns pesquisadores. Porém, para os concretos 1:6,5, esta razão superou os limites propostos pela literatura. De modo geral, conclui-se que a substituição dos agregados não causou prejuízos ou ganhos na resistência à tração por compressão diametral dos concretos estudados.

Os resultados obtidos do módulo de deformação indicam que os concretos produzidos com areia de britagem apresentaram resultados maiores de módulo somente na família de traços 1:3,5, coincidindo com o que aconteceu com a resistência à compressão. Essa situação é justificada, sobretudo, pela superfície das partículas de areia de britagem que se apresentavam mais rugosa, proporcionando maior aderência mecânica. Outro fator relevante foi que o efeito filler nessa condição teve participação signitiva, pois provavelmente houve refinamento dos poros nos concretos de relação a/c menor. Sendo assim, sugere-se que foi possível haver maior compacidade, conseqüentemente, houve um aumento dos valores de módulo à medida que se aumentavam os teores de substituição.

O índice de vazios e a absorção média dos concretos estudados revelaram uma situação contrária ao que se esperava. Observou-se um aumento do índice e da absorção à medida que se aumenta a proporção de areia de britagem. Este fato ficou minimizado, uma vez que todos os resultados ficaram abaixo do limite estabelecido por alguns autores para o concreto ser considerado de boa qualidade.

Para a massa específica, a substituição da areia natural pela areia de britagem provocou um aumento da massa específica do concreto fresco, à medida que se alterava a proporção. Neste caso, segue os conceitos já esperados, pois foi constada nas caracterizações que a massa específica da areia de britagem é maior que o da areia natural.

Aos 30 dias, tendo como parâmetros a norma ASTM C-1260 (ASTM, 2001), todas as amostras ensaiadas apresentaram expansões que indicaram que os materiais que as compõe são potencialmente reativos, inclusive o agregado miúdo natural, com percentual de 0,1949%, contrariando seu histórico positivo em relação RAA. No entanto, aos 16 dias verifica-se que, com exceção da expansão da argamassa feita com o CAA75, todas as demais expansões foram $\leq 0,1\%$ o que indica que os agregados miúdos avaliados, bem como suas composições, se apresentaram como inócuas.

6.5 QUANTO À VIABILIDADE ECONÔMICA

Em relação ao consumo de cimento, foi verificado que houve um aumento do consumo à medida que se aumentava a proporção de substituição.

Em relação ao consumo de cimento, foi verificado que houve um aumento máximo do consumo de cimento de 2,42% para o concreto CAA100 da família 1:6,5. Porém, para este mesmo concreto, verificou-se um custo 8,99% mais econômico em relação ao concreto CR (concreto de referência), e esta foi a maior economia verificada entre todos os concretos analisados. Portanto, conclui-se que não existe uma variação significativa de custo, quando se substitui areia natural por areia de britagem, uma vez que os preços unitários deste insumo, no mercado da Grande Goiânia, vêm sofrendo constantes aumentos em decorrência da lei de oferta e procura.

6.6 QUANTO ÀS CONCLUSÕES RELATIVAS AO MEIO AMBIENTE

A substituição parcial ou total de areias naturais pela areia de britagem, como agregado inerente à composição da misturas de concretos convencionais, reduz a demanda por areias naturais e, conseqüentemente, a redução da degradação de áreas mineradas e as chamadas APPs - Áreas de Proteção Permanente.

O aumento do consumo das areias de britagem melhora o ambiente nas proximidades das pedreiras com diminuição do material estocado, que, freqüentemente, causam entupimento dos drenos e tubulações de águas pluviais. Diminui o pó que se espalha pela região, como também esses materiais ocupam uma área significativa nas plantas de britagem das pedreiras.

É importante reforçar que a principal causa do avanço da degradação nas mineradoras de agregado natural deve-se aos pequenos mineradores informais, que não são supridos com as devidas orientações técnicas. Estes representam as empresas que funcionam sem o devido licenciamento ambiental e minerário e que, inclusive, não cumprem as normas básicas de controle ambiental da atividade e de recuperação da área minerada.

As empresas sérias que utilizam o processo de extração correto operam com equipamentos de extração móveis, circulando pelos leitos dos mananciais, finalizando os depósitos submersos e retornando no ano seguinte, ou mesmo antes, aos locais que estarão com depósitos recarregados, cuja recarga se dá por processos naturais.

6.7 TERMINOLOGIA RELATIVA AOS FINOS DE PEDREIRAS

O estabelecimento de terminologia adequada aos produtos originados da britagem de materiais rochosos é hoje tema de discussão de vários pesquisadores. Por isso, na tentativa de mostra o que há de mais recente no que se refere à Terminologias concluiu-se que o termo, areia de britagem é o mais adequado pois indica que os finos provêm de britagem de rochas e não de brita necessariamente. Já o termo, *areia artificial ou agregado miúdo artificial*, apesar de citado em várias passagens desta pesquisa, mostra-se inadequado porque as partículas presentes nos finos continuam sendo minerais de mesma composição da matéria-prima, portanto minerais.

E constatou-se também que o termo genérico, finos de pedreira, pode ser considerado adequado por não conflitar com os termos já existentes, por abranger as classes granulométricas já definidas e não concorrer com os termos já em uso.

6.8 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo em vista que o presente estudo limitou-se à análise de concretos com resistências usuais e/ou convencionais e tinha como objetivo principal verificar a viabilidade do uso dos agregados artificiais para serem usados como agregado miúdos em concretos, são vários os estudos que poderão ser conduzidos nas próximas pesquisas, os quais podem ser citados:

- a) Realizar estudos sobre concretos produzidos com uso de aditivo plastificante, visando melhorar sua plasticidade e o consumo de cimento, bem como o de aditivo retardador de pega para produção de concretos em larga escala;
- b) Estudar o efeito filler, a sua ocorrência, a sua proporção e qual a parcela de responsabilidade desse efeito na melhoria da resistência à compressão;

- c) Avaliar aspectos referentes à durabilidade dos concretos com areia de britagem, tal como a resistência à carbonatação e à penetração de cloretos;
- d) Verificar o comportamento de argamassas produzidas com areia de britagem para assentamento e revestimento;
- e) Realizar estudos sobre a utilização da areia de britagem em concretos de alto desempenho (CAD), tais como os de alta resistência (CAR) e auto-adensáveis (CAA);
- f) Realizar ensaios complementares de RAA, como por exemplo, Análises Petrográficas e de Microscopia Estereoscópica para melhor avaliar a reatividade das areias artificiais e naturais.

6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	179
6.1	QUANTO AS CARACTERIZAÇÕES	179
6.2	QUANTO AOS RESULTADOS DE DOSAGEM.....	180
6.3	QUANTO ÀS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO.....	181
6.4	QUANTO ÀS PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO	181
6.5	QUANTO À VIABILIDADE ECONÔMICA	183
6.6	QUANTO ÀS CONCLUSÕES RELATIVAS AO MEIO AMBIENTE....	183
6.7	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	184
6.8	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	184

.

Tabela D1 - Resultados individuais e cálculo da absorção, índice de vázios e massa específica real.

Nº DA MISTURA	COMPOSIÇÃO	m	Amostra	m sat	m seca	m imersa	Absorção	Abs. Média	I.Vazios	I.Vaz. Médio	Massa esp. Real	Massa esp. Real med.
				(g)	ms(g)	mi(g)	A (%)		A (%)	Iv(%)	Iv(%)	pr(%)
1	CR	3,5	Ref 1 - 3,5	3649,8	3429,2	2102,9	6,43	6,52	14,26	14,42	2,59	2,59
			Ref 2 - 3,5	3659,7	3433,2	2106,1	6,60		14,58		2,59	
2	CAA25	3,5	A1 - 3,5	3661,2	3430,1	2112,3	6,74	6,63	14,92	14,70	2,60	2,60
			A2 - 3,5	3677,2	3452,3	2125,0	6,51		14,49		2,60	
3	CAA50	3,5	B1 - 3,5	3675,4	3441,3	2128,5	6,80	7,00	15,13	15,57	2,62	2,63
			B2 - 3,5	3717,6	3467,7	2155,9	7,21		16,00		2,64	
4	CAA75	3,5	C1 - 3,5	3668,5	3426,0	2116,6	7,08	6,92	15,63	15,34	2,62	2,62
			C2 - 3,5	3707,7	3473,1	2148,4	6,75		15,05		2,62	
5	CAA100	3,5	D1 - 3,5	3676,0	3417,2	2122,6	7,57	7,66	16,66	16,85	2,64	2,64
			D2 - 3,5	3705,3	3438,6	2140,2	7,76		17,04		2,65	
6	CR	5,0	Ref 1 - 5,0	3637,2	3395,4	2082,0	7,12	7,01	15,55	15,35	2,59	2,59
			Ref 2 - 5,0	3639,6	3404,7	2089,7	6,90		15,16		2,59	
7	CAA25	5,0	A1 - 5	3669,1	3456,6	2128,1	6,15	6,43	13,79	14,35	2,60	2,61
			A2 - 5,0	3698,8	3465,9	2137,5	6,72		14,92		2,61	
8	CAA50	5,0	B1 - 5,0	3640,0	3395,6	2097,5	7,20	6,85	15,84	15,18	2,62	2,61
			B2 - 5,0	3677,9	3453,3	2129,9	6,50		14,51		2,61	
9	CAA75	5,0	C1 - 5,0	3680,9	3449,5	2131,6	6,71	6,77	14,94	15,07	2,62	2,62
			C2 - 5,0	3719,5	3481,4	2154,0	6,84		15,21		2,62	
10	CAA100	5,0	D1 - 5,0	3684,6	3425,8	2128,4	7,55	7,45	16,63	16,44	2,64	2,64
			D2 - 5,0	3702,7	3449,1	2142,2	7,35		16,25		2,64	
11	CR	6,5	Ref 1 - 6,5	3625,3	3395,3	2075,6	6,77	5,58	14,84	12,33	2,57	2,53
			Ref 2 - 6,5	3633,8	3481,0	2077,3	4,39		9,82		2,48	
12	CAA25	6,5	A1 - 6,5	3668,5	3423,6	2109,7	7,15	6,98	15,71	15,40	2,61	2,61
			A2 - 6,5	3678,5	3444,2	2126,5	6,80		15,10		2,61	
13	CAA50	6,5	B1 - 6,5	3647,3	3415,6	2103,3	6,78	6,71	15,01	14,88	2,60	2,61
			B2 - 6,5	3682,3	3453,1	2129,0	6,64		14,76		2,61	
14	CAA75	6,5	C1 - 6,5	3670,0	3433,0	2119,4	6,90	6,73	15,28	14,98	2,61	2,62
			C2 - 6,5	3701,0	3473,1	2147,2	6,56		14,67		2,62	
15	CAA100	6,5	D1 - 6,5	3575,0	3336,7	2034,9	7,14	7,24	15,47	15,80	2,56	2,59
			D2 - 6,5	3651,1	3401,8	2104,8	7,33		16,12		2,62	

Tabela A1 - Resultado da composição custo unitário do concreto de referência - Traço 1:3,5

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:						
CONCRETO 100% A N						
CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO			UNIDADE	
	Custo para produção concreto de referência. TRAÇO (1:3,5)	CR			m³	
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	457,15	0,00	R\$ 109,72
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	653,72	0,43	R\$ 22,21
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	0,00	0,00	R\$ -
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	946,30	0,66	R\$ 33,09
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	228,57	0,23	R\$ 2,40
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 167,42

Tabela A2 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA25 - Traço 1:3,5

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:						
CONCRETO 25% AA E 75% AN						
CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO			UNIDADE	
	Custo para produção Concreto com 25% de AA e 75% de AN. TRAÇO (1:3,5)	CAA25			m³	
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	460,27	0,00	R\$ 110,46
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	492,49	0,33	R\$ 16,73
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	165,70	0,10	R\$ 3,31
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	952,76	0,67	R\$ 33,31
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	230,13	0,23	R\$ 2,42
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 166,23

Tabela A3 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA50 - Traço 1:3,5

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:						
CONCRETO 50% AA E 50% AN						
CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO			UNIDADE	
	Custo para produção Concreto com 50% de AA e 50% de AN. TRAÇO (1:3,5)	CAA50			m³	
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	461,97	0,00	R\$ 110,87
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	330,31	0,22	R\$ 11,22
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	330,31	0,20	R\$ 6,61
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	956,28	0,67	R\$ 33,44
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	230,98	0,23	R\$ 2,43
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 164,57

Tabela A4 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA75 - Traço 1:3,5

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:	CONCRETO 75% AA E 25% AN
-----------------------------------	---------------------------------

CÓDIGO	SERVIÇO: Custo para produção Concreto com 75% de AA e 25% de AN. TRAÇO (1:3,5)	ESPECIFICAÇÃO CAA75	UNIDADE m³
---------------	--	-------------------------------	----------------------

MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	463,21	0,00	R\$ 111,17
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	166,75	0,11	R\$ 5,67
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	495,63	0,31	R\$ 9,91
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	958,84	0,67	R\$ 33,53
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	231,6	0,23	R\$ 2,43
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 162,71

Tabela A5 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA100 - Traço 1:3,5

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:	CONCRETO 100% AA
-----------------------------------	-------------------------

CÓDIGO	SERVIÇO: Custo para produção Concreto com 100% de AA. TRAÇO (1:3,5)	ESPECIFICAÇÃO CAA100	UNIDADE m³
---------------	---	--------------------------------	----------------------

MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	464,5	0,00	R\$ 111,47
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	0,00	0,00	R\$ -
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	664,18	0,41	R\$ 13,28
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	961,43	0,67	R\$ 33,62
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	232,23	0,23	R\$ 2,44
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 160,81

Tabela A6 - Resultado da composição custo unitário do concreto de referência - Traço 1:5,0

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:						
CONCRETO 100% A N						
CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO			UNIDADE	
	Custo para produção concreto de referência. TRAÇO (1:5,0)	CR			m³	
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	344,71	0,00	R\$ 82,73
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	772,15	0,51	R\$ 26,23
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	0,00	0,00	R\$ -
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	951,40	0,67	R\$ 33,27
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	217,17	0,22	R\$ 2,28
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 144,51

Tabela A7 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA25 - Traço 1:5,0

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:						
CONCRETO 25% AA E 75% AN						
CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO			UNIDADE	
	Custo para produção Concreto com 25% de AA e 75% de AN. TRAÇO (1:5,0)	CAA25			m³	
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	348,23	0,00	R\$ 83,58
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	585,03	0,39	R\$ 19,88
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	195,01	0,12	R\$ 3,90
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	961,11	0,67	R\$ 33,61
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	219,38	0,22	R\$ 2,30
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 143,27

Tabela A8 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA50 - Traço 1:5,0

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:						
CONCRETO 50% AA E 50% AN						
CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO			UNIDADE	
	Custo para produção Concreto com 50% de AA e 50% de AN. TRAÇO (1:5,0)	CAA50			m³	
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	349,27	0,00	R\$ 83,82
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	391,18	0,26	R\$ 13,29
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	391,18	0,24	R\$ 7,82
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	963,98	0,67	R\$ 33,71
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	220,04	0,22	R\$ 2,31
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 140,95

Tabela A9 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA75 - Traço 1:5,0

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:	CONCRETO 75% AA E 25% AN
-----------------------------------	---------------------------------

CÓDIGO	SERVIÇO: Custo para produção Concreto com 75% de AA e 25% de AN. TRAÇO (1:5,0)	ESPECIFICAÇÃO CAA75	UNIDADE m³
---------------	--	-------------------------------	----------------------

MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	349,96	0,00	R\$ 83,99
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	195,98	0,13	R\$ 6,66
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	587,93	0,36	R\$ 11,76
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	965,89	0,68	R\$ 33,77
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	220,47	0,22	R\$ 2,31
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 138,49

Tabela A10 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA100 - Traço 1:5,0

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:	CONCRETO 100% AA
-----------------------------------	-------------------------

CÓDIGO	SERVIÇO: Custo para produção Concreto com 100% de AA. TRAÇO (1:5,0)	ESPECIFICAÇÃO CAA100	UNIDADE m³
---------------	---	--------------------------------	----------------------

MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	351,01	0,00	R\$ 84,24
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	0,00	0,00	R\$ -
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	786,26	0,49	R\$ 15,73
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	968,79	0,68	R\$ 33,87
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	232,23	0,23	R\$ 2,44
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 136,28

Tabela E1 - Resultados individuais de módulo CR - Traço 1:3,5.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	17600	100	7853,98	22,41
002	16000	100	7853,98	20,37
Média	16800	100	7853,98	21,39

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5040
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	6,42
	L1	0,000050	0,000260	
	L2	0,000050	0,000280	
	Def. médias CP 01		0,000050	0,000270
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	5040
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	6,42
	L1	0,000020	0,000220	
	L2	0,000050	0,000260	
	Def. médias CP 02		0,000035	0,000240

(Nº) C. P.	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	18300	100	7854,0	23,30
02	17700	100	7854,0	22,54
MEDIA	18000			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
		26,90

Módulo de deformação médio (GPa): 27,88

Tabela E2 - Resultados individuais de módulo CAA100 - Traço 1:3,5.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	18800	100	7853,98	23,94
002	18200	100	7853,98	23,17
Média	16800	100	7853,98	23,55

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5500
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	2373,46
	L1	0,000020	0,000210	
	L2	0,000070	0,000300	
	Def. médias CP 01		0,000045	0,000255
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	5500
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	2373,46
	L1	0,000030	0,000240	
	L2	0,000100	0,000390	
	Def. médias CP 02		0,000065	0,000315

(Nº) C. P.	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	19400	100	7854,0	24,70
02	19700	100	7854,0	25,08
MEDIA	19550			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
		30,97

Módulo de deformação médio (GPa): 28,49

Tabela E3 - Resultados individuais de módulo CAA75 - Traço 1:3,5.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	18100	100	7853,98	23,05
002	17500	100	7853,98	22,28
Média	16800	100	7853,98	22,66

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5300
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	2378,63
	L1		0,000020	0,000170
	L2		0,000100	0,000390
	Def. médias CP 01		0,000060	0,000280
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	5300
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	2378,63
	L1		0,000040	0,000280
	L2		0,000020	0,000220
	Def. médias CP 02		0,000030	0,000250

(Nº) C. P.	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	18400	100	7854,0	23,43
02	19200	100	7854,0	24,45
MÉDIA	18800			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	28,40	28,40

Módulo de deformação médio (GPa): 28,40

Tabela E4 - Resultados individuais de módulo CAA50 - Traço 1:3,5.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	17300	100	7853,98	22,03
002	16900	100	7853,98	21,52
Média	16800	100	7853,98	21,77

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5100
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	6,49
	L1		0,000040	0,000230
	L2		0,000050	0,000280
	Def. médias CP 01		0,000045	0,000255
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	5100
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	6,49
	L1		0,000060	0,000230
	L2		0,000050	0,000240
	Def. médias CP 02		0,000055	0,000235

(Nº) C. P.	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	18600	100	7854,0	23,68
02	17900	100	7854,0	22,79
MÉDIA	18250			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	28,54	33,30

Módulo de deformação médio (GPa): 30,92

Tabela E5 - Resultados individuais de módulo CAA25 - Traço 1:3,5.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	16400	100	7853,98	20,88
002	16900	100	7853,98	21,52
Média	16800	100	7853,98	21,20

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5040
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	6,37
	L1	0,000080	0,000200	
	L2	0,000100	0,000430	
	Def. médias CP 01		0,000090	0,000315
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	5000
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	6,37
	L1	0,000080	0,000280	
	L2	0,000020	0,000190	
	Def. médias CP 02		0,000050	0,000235

(Nº) C. P.	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	16500	100	7854,0	21,01
02	19600	100	7854,0	24,96
MÉDIA	18050			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	26,07	31,71

Módulo de deformação médio (GPa): 28,89

Tabela E6 - Resultados individuais de módulo CR - Traço 1:5,0.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	16200	100	7853,98	20,63
002	15400	100	7853,98	19,61
Média	16800	100	7853,98	20,12

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5500
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	5,98
	L1	0,000020	0,000120	
	L2	0,000110	0,000310	
	Def. médias CP 01		0,000065	0,000215
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	4700
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	5,98
	L1	0,000060	0,000330	
	L2	0,000080	0,000220	
	Def. médias CP 02		0,000070	0,000275

(Nº) C. P.	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	16100	100	7854,0	20,50
02	13300	100	7854,0	16,93
MÉDIA	14700			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	36,56	26,75

Módulo de deformação médio (GPa): 31,66

Tabela E7 - Resultados individuais de módulo CAA100 - Traço 1:5,0.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	15700	100	7853,98	19,99
002	15200	100	7853,98	19,35
Média	16800	100	7853,98	19,67

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5040
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	5,86
	L1	0,000040	0,000280	
	L2	0,000020	0,000190	
	Def. médias CP 01		0,000030	0,000235
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	4600
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	5,86
	L1	0,000070	0,000320	
	L2	0,000040	0,000210	
	Def. médias CP 02		0,000055	0,000265

C. P. (Nº)	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	14600	100	7854,0	18,59
02	14000	100	7854,0	17,83
MÉDIA	14300			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	26,13	25,51

Módulo de deformação médio (GPa): 25,82

Tabela E8 - Resultados individuais de módulo CAA75 - Traço 1:5,0.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	15100	100	7853,98	19,23
002	14900	100	7853,98	18,97
Média	16800	100	7853,98	19,10

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5500
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	5,73
	L1	0,000030	0,000220	
	L2	0,000030	0,000240	
	Def. médias CP 01		0,000030	0,000230
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	4500
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	5,73
	L1	0,000050	0,000230	
	L2	0,000070	0,000320	
	Def. médias CP 02		0,000060	0,000275

C. P. (Nº)	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	14300	100	7854,0	18,21
02	14800	100	7854,0	18,84
MÉDIA	14550			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	26,15	24,32

Módulo de deformação médio (GPa): 25,24

Tabela E9 - Resultados individuais de módulo CAA50 - Traço 1:5,0.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	11300	100	7853,98	14,39
002	11100	100	7853,98	14,13
Média	16800	100	7853,98	14,26

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5040
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	4,33
	L1		0,000040	0,000200
	L2		0,000080	0,000150
	Def. médias CP 01		0,000060	0,000175
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	3400
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	4,33
	L1		0,000080	0,000290
	L2		0,000040	0,000100
	Def. médias CP 02		0,000060	0,000195

C. P. (Nº)	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	13700	100	7854,0	17,44
02	11800	100	7854,0	15,02
MÉDIA	12750			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
		33,30

Módulo de deformação médio (GPa): 30,83

Tabela E10 - Resultados individuais de módulo CAA25 - Traço 1:5,0.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	11900	100	7853,98	15,15
002	11400	100	7853,98	14,51
Média	16800	100	7853,98	14,83

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5500
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	4,33
	L1		0,000030	0,000170
	L2		0,000100	0,000270
	Def. médias CP 01		0,000065	0,000220
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	3400
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	4,33
	L1		0,000030	0,000050
	L2		0,000080	0,000290
	Def. médias CP 02		0,000055	0,000170

C. P. (Nº)	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	12800	100	7854,0	16,30
02	13200	100	7854,0	16,81
MÉDIA	13000			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
		24,70

Módulo de deformação médio (GPa): 29,00

Tabela E11 - Resultados individuais de módulo CR - Traço 1:6,5.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	9800	100	7853,98	12,48
002	8200	100	7853,98	10,44
Média	16800	100	7853,98	11,46

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5040
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	3,44
	L1	0,000030	0,000100	
	L2	0,000060	0,000240	
	Def. médias CP 01	0,000045	0,000170	
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	2700
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	3,44
	L1	0,000150	0,000220	
	L2	0,000080	0,000190	
	Def. médias CP 02	0,000115	0,000205	

C. P. (Nº)	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	9800	100	7854,0	12,48
02	9900	100	7854,0	12,61
MÉDIA	9850			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	23,50	32,64

Módulo de deformação médio (GPa): 28,07

Tabela E12 - Resultados individuais de módulo CAA100 - Traço 1:6,5.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	10200	100	7853,98	12,99
002	9700	100	7853,98	12,35
Média	16800	100	7853,98	12,67

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5500
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	3,82
	L1	0,000060	0,000290	
	L2	0,000040	0,000140	
	Def. médias CP 01	0,000050	0,000215	
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	3000
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	3,82
	L1	0,000030	0,000180	
	L2	0,000080	0,000190	
	Def. médias CP 02	0,000055	0,000185	

C. P. (Nº)	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	9000	100	7854,0	11,46
02	9900	100	7854,0	12,61
MÉDIA	9450			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	20,12	25,54

Módulo de deformação médio (GPa): 22,83

Tabela E13 - Resultados individuais de módulo CAA75 - Traço 1:6,5.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	10400	100	7853,98	13,24
002	10800	100	7853,98	13,75
Média	16800	100	7853,98	13,50

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5040
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	3,90
	L1	0,000040	0,000180	
	L2	0,000020	0,000110	
	Def. médias CP 01		0,000030	0,000145
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	3060
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	3,90
	L1	0,000040	0,000190	
	L2	0,000010	0,000150	
	Def. médias CP 02		0,000025	0,000170

C. P. (Nº)	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	11000	100	7854,0	14,01
02	10900	100	7854,0	13,88
MÉDIA	10950			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	29,53	23,42

Módulo de deformação médio (GPa): 26,48

Tabela E14 - Resultados individuais de módulo CAA50 - Traço 1:6,5.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	9400	100	7853,98	11,97
002	9900	100	7853,98	12,61
Média	16800	100	7853,98	12,29

C.P. Nº 01	Carga (kgf)		400	5500
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	3,69
	L1	0,000050	0,000180	
	L2	0,000040	0,000190	
	Def. médias CP 01		0,000045	0,000185
C.P. Nº 02	Carga (kgf)		400	2900
	Def. esp. x fc (MPa)		0,50	3,69
	L1	0,000060	0,000190	
	L2	0,000050	0,000180	
	Def. médias CP 02		0,000055	0,000185

C. P. (Nº)	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	9800	100	7854,0	12,48
02	10000	100	7854,0	12,73
MÉDIA	9900			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	22,80	24,56

Módulo de deformação médio (GPa): 23,68

Tabela E15 - Resultados individuais de módulo CAA25 - Traço 1:6,5.

C. P. Nº	Carga de Ruptura (kgf)	DN da seção transversal (mm)	Seção (mm ²)	Resist. (MPa)
001	9500	100	7853,98	12,10
002	9800	100	7853,98	12,48
Média	16800	100	7853,98	12,29

C.P. Nº 01	Carga (kgf)	400	5040
	Def. esp. x fc (MPa)	0,50	3,69
	L1	0,000030	0,000200
	L2	0,000020	0,000080
	Def. médias CP 01	0,000025	0,000140
C.P. Nº 02	Carga (kgf)	400	2900
	Def. esp. x fc (MPa)	0,50	3,69
	L1	0,000020	0,000120
	L2	0,000040	0,000200
	Def. médias CP 02	0,000030	0,000160

C. P. (Nº)	Carga de Ruptura (kgf)	Diâmetro (mm)	Seção (mm ²)	Resistência (MPa)
01	10300	100	7854,0	13,11
02	10200	100	7854,0	12,99
MÉDIA	10250			

Módulo de deformação (GPa)	C.P. 01	C.P. 02
	27,76	24,56

Módulo de deformação médio (GPa): 26,16

Tabela A11 - Resultado da composição custo unitário do concreto de referência - Traço 1:6,5

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:						
CONCRETO 100% AN						
CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO			UNIDADE	
	Custo para produção concreto de referência. TRAÇO (1:6,5)	CR			m³	
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	273,20	0,00	R\$ 65,57
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	833,26	0,55	R\$ 28,31
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	0,00	0,00	R\$ -
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	942,54	0,66	R\$ 32,96
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	215,83	0,22	R\$ 2,27
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 129,11

Tabela A12 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA25 - Traço 1:6,5

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:						
CONCRETO 25% AA E 75% AN						
CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO			UNIDADE	
	Custo para produção Concreto com 25% de AA e 75% de AN. TRAÇO (1:6,5)	CAA25			m³	
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	276,61	0,00	R\$ 66,39
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	633,44	0,42	R\$ 21,52
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	210,22	0,13	R\$ 4,20
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	954,30	0,67	R\$ 33,37
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	218,52	0,22	R\$ 2,29
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 127,77

Tabela A13 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA50 - Traço 1:6,5

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:						
CONCRETO 50% AA E 50% AN						
CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO			UNIDADE	
	Custo para produção Concreto com 50% de AA e 50% de AN. TRAÇO (1:6,5)	CAA50			m³	
MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	278,06	0,00	R\$ 66,73
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	424,04	0,28	R\$ 14,41
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	424,04	0,26	R\$ 8,48
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	959,31	0,67	R\$ 33,54
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	219,67	0,22	R\$ 2,31
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 125,47

Tabela A14 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA75 - Traço 1:6,5

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:	CONCRETO 75% AA E 25% AN
-----------------------------------	---------------------------------

CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE
	Custo para produção Concreto com 75% de AA e 25% de AN. TRAÇO (1:6,5)	CAA75	m³

MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	278,65	0,00	R\$ 66,88
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	211,77	0,14	R\$ 7,19
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	638,11	0,39	R\$ 12,76
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	961,34	0,67	R\$ 33,61
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	220,13	0,22	R\$ 2,31
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 122,75

Tabela A15 - Resultado da composição custo unitário do concreto de CAA100 - Traço 1:6,5

ESPECIFICAÇÃO DO CONCRETO:	CONCRETO 100% AA
-----------------------------------	-------------------------

CÓDIGO	SERVIÇO:	ESPECIFICAÇÃO	UNIDADE
	Custo para produção Concreto com 100% de AA. TRAÇO (1:6,5)	CAA100	m³

MATERIAIS	UNIDADE	CUSTO	MASSA UNITÁRIA (kg/m³)	CONSUMO (kg)	CONSUMO (m³)	CUSTO PARCIAL
CIMENTO PORTLAND CP II F- 32*	KG	R\$ 0,24	1,00	279,81	0,00	R\$ 67,15
AREIA NATURAL**	M3	R\$ 51,30	1,51	0,00	0,00	R\$ -
AREIA ARTIFICIAL*	M3	R\$ 32,40	1,62	853,42	0,53	R\$ 17,07
BRITA 01*	M3	R\$ 50,00	1,43	965,34	0,68	R\$ 33,75
ÁGUA***	M3	R\$ 10,50	1,00	221,05	0,22	R\$ 2,32
TOTAL - (R\$ / m³)						R\$ 120,29

* - Dara base dos custos: 13/07/07 / Fonte: Revista Construção em Goiás - Julho de 2007 nº 482

** - Dara base dos custos: 13/07/07 / Fonte: Mineradora Agrecon

*** - Dara base dos custos: 13/07/07 / Fonte: Concessionária de Abastecimento de Água - Saneago

DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO DE AGREGADO MIÚDO

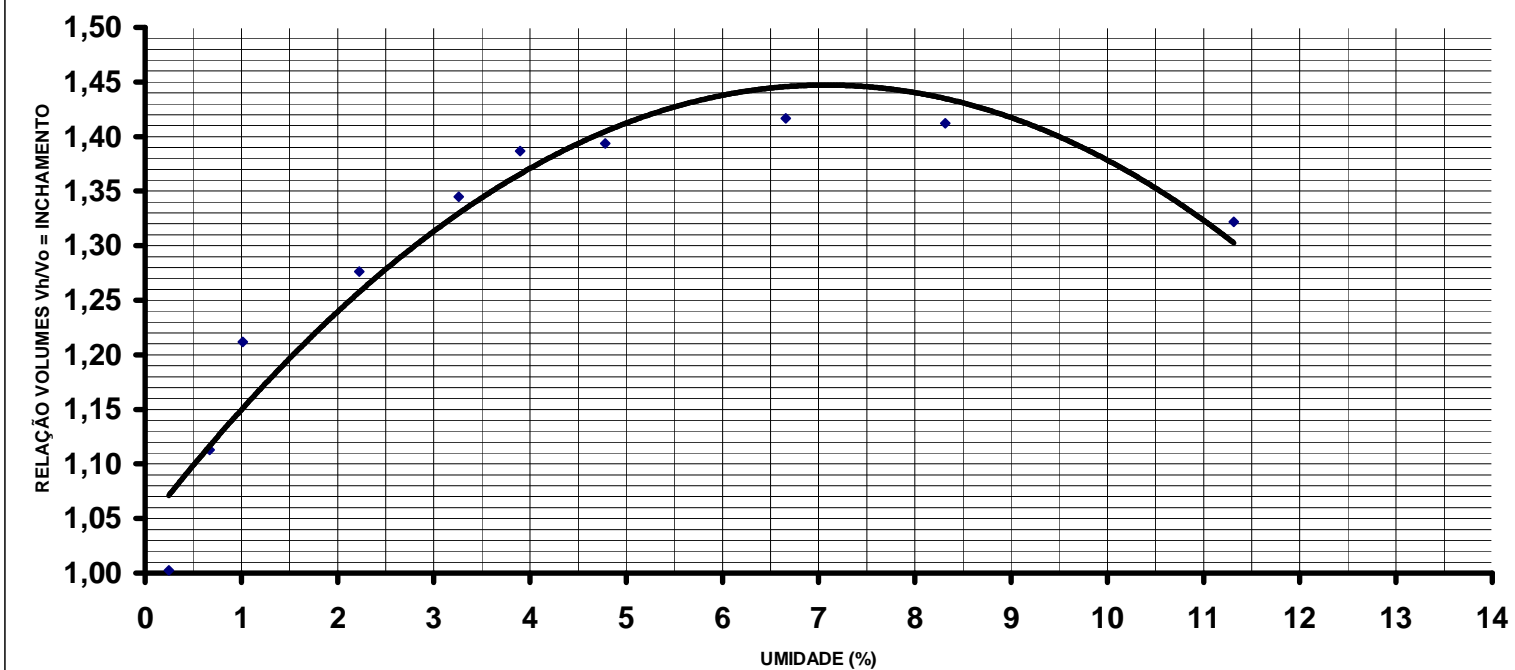
Material = Areia Artificial

Mcaixa (Kg)= 5,56

Vcaixa (dm3)= 10,14

UMIDADE (%)	NºPesagem	PESAGEM (Kg)	Magreg.	Mmédia	Massa Unitária c/ h% de umidade (yh)	Nº RECIPIENTE	Mcápsula(g) (Mc)	Mctotal(g) (Mi)	Mseca(g) (Mf)	Magreg.seco	Teor de Umidade Médio(%) (h)	Coefficiente de inchamento Médio (Vh/Vo)
0	1	21,92	16,36									
	2	21,75	16,19	16,29	1,61	35/26	15,84	73,39	73,26	57,42	0,24	1,00
	3	21,89	16,33			167	19,74	107,30	107,07	87,33		
0,5	1	20,26	14,70									
	2	20,36	14,80	14,74	1,45	15	11,96	58,21	57,88	45,92	0,67	1,11
	3	20,29	14,73			135/22	10,87	97,84	97,30	86,43		
1	1	19,04	13,48									
	2	19,18	13,62	13,57	1,34	53	18,36	80,78	80,19	61,83	1,02	1,21
	3	19,18	13,62			10	10,63	72,48	71,82	61,19		
2	1	18,63	13,07									
	2	18,63	13,07	13,05	1,29	17	18,97	74,01	72,80	53,83	2,22	1,28
	3	18,58	13,02			100	23,91	62,00	61,18	37,27		
3	1	18,00	12,44									
	2	18,12	12,56	12,51	1,23	11	9,62	37,93	37,04	27,42	3,26	1,34
	3	18,09	12,53			15/04	14,16	42,60	41,70	27,54		
4	1	17,75	12,19									
	2	17,80	12,24	12,20	1,20	25	15,20	36,97	36,17	20,97	3,90	1,39
	3	17,72	12,16			105	15,72	37,66	36,82	21,10		
5	1	17,74	12,18									
	2	17,87	12,31	12,24	1,21	21	17,82	49,40	47,98	30,16	4,78	1,39
	3	17,79	12,23			127/18	9,83	37,90	36,60	26,77		
7	1	17,84	12,28									
	2	17,79	12,23	12,26	1,21	1	19,40	43,93	42,42	23,02	6,66	1,42
	3	17,82	12,26			8	11,18	35,50	33,96	22,78		
9	1	18,18	12,62									
	2	18,07	12,51	12,56	1,24	13	13,79	39,87	37,75	23,96	8,32	1,41
	3	18,11	12,55			14	19,67	48,74	46,64	26,97		
12	1	19,30	13,74									
	2	19,18	13,62	13,72	1,35	20	9,93	46,56	42,83	32,90	11,32	1,32
	3	19,37	13,81			24	11,54	52,04	47,93	36,39		

GRÁFICO PARA TRAÇADO DA CURVA DO INCHAMENTO



$$y = -0,0081x^2 + 0,114x + 1,0436$$

x	y
7,7	1,441151
7,6	1,442144
7,5	1,442975
7,4	1,443644
7,3	1,444151
7,2	1,444496
7,11	1,44466799
7,01	1,44470519
6,91	1,44458039

**Tabela C2 - Resultados individuais da resistência à tração por compressão
diametral aos 28 dias**

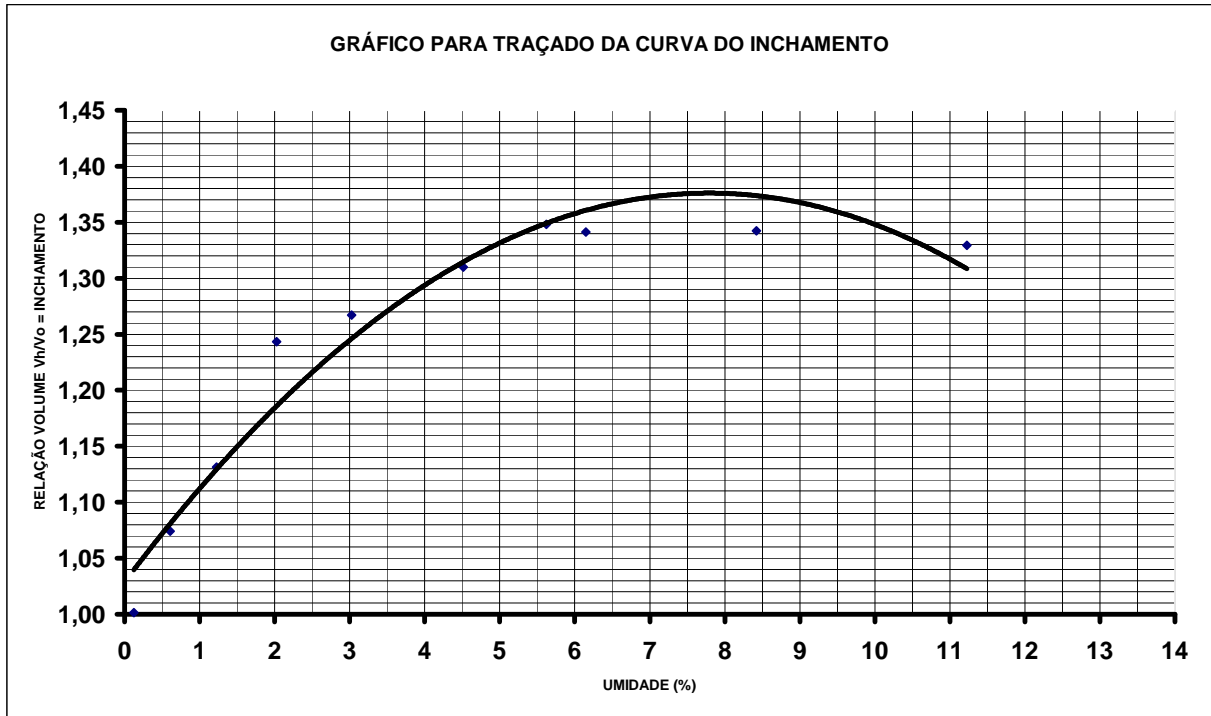
C.P.	Datas		Idade (dias)	CARGA DE RUPTURA		Carga Ruptura Máxima (kgf)	Carga Ruptura Média (kgf)	Tensão Média (MPa)	TRAÇO
	Nº	Moldagem		Ruptura	1				
CR	19/11/2006	18/12/2006	29	6500	7100	7100	6800	2,16	1:3,5
CAA25	19/11/2006	18/12/2006	29	6200	7200	7200	6700	2,13	
CAA50	19/11/2006	18/12/2006	29	7200	7400	7400	7300	2,32	
CAA75	19/11/2006	18/12/2006	29		6800	6800	6800	2,16	
CAA100	19/11/2006	18/12/2006	29	7200	7600	7600	7400	2,36	
CR	17/11/2006	15/12/2006	28	5700	5300	5700	5500	1,75	1:5,0
CAA25	17/11/2006	15/12/2006	28	5300	5500	5500	5400	1,72	
CAA50	17/11/2006	15/12/2006	28	5900	5500	5900	5700	1,81	
CAA75	17/11/2006	15/12/2006	28	5500	5800	5800	5650	1,80	
CAA100	17/11/2006	15/12/2006	28	5800	6200	6200	6000	1,91	
CR	18/11/2006	18/12/2006	30	5000	4600	5000	4800	1,53	1:6,5
CAA25	18/11/2006	18/12/2006	30	4200	4700	4700	4450	1,42	
CAA50	18/11/2006	18/12/2006	30	4700	5400	5400	5050	1,61	
CAA75	18/11/2006	18/12/2006	30	4800	4700	4800	4750	1,51	
CAA100	18/11/2006	18/12/2006	30	5200	5350	5350	5275	1,68	

DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO DE AGREGADO MIÚDO

Material = Areia Natural

Mcaixa (Kg) 5,56 Vcaixa (dm3) 10,14

UMIDADE (%)	NºPesagem	PESAGEM (Kg)	Magreg.	Mimédia	Massa Unitária c/h% de umidade (yh)	Nº RECIPIENTE	Mcápsula(g) (Mc)	Mtotal(g) (Mi)	Mtseca(g) (Mf)	Magreg.seco	Teor de Umidade Médio(%) (h)	Coefficiente de Inchamento Médio (Vh/Vo)
0	1	20,75	15,19									
	2	20,67	15,11	15,18	1,50	51	18,96	52,46	52,41	33,45	0,12	1,00
	3	20,81	15,25			129/04	18,69	50,55	50,52	31,83		
0,5	1	19,74	14,18									
	2	19,76	14,20	14,22	1,40	106/05	15,69	51,69	51,48	35,79	0,61	1,07
	3	19,84	14,28			119	17,51	60,82	60,55	43,04		
1	1	19,12	13,56									
	2	19,06	13,50	13,57	1,34	9	10,34	37,95	37,65	27,31	1,23	1,13
	3	19,20	13,64			104	17,53	60,18	59,61	42,08		
2	1	18,10	12,54									
	2	17,98	12,42	12,47	1,23	196	17,33	49,94	49,27	31,94	2,03	1,24
	3	18,00	12,44			2	14,20	51,69	50,97	36,77		
3	1	17,97	12,41									
	2	17,82	12,26	12,32	1,21	6	19,72	71,75	70,34	50,62	3,03	1,27
	3	17,84	12,28			140	15,75	54,95	53,71	37,96		
4	1	17,77	12,21									
	2	17,65	12,09	12,14	1,20	127/04	9,91	49,40	47,62	37,71	4,51	1,31
	3	17,67	12,11			16	14,90	57,50	55,74	40,84		
5	1	17,58	12,02									
	2	17,52	11,96	12,01	1,18	31	9,44	55,00	52,18	42,74	5,62	1,35
	3	17,60	12,04			3	19,44	65,85	63,79	44,35		
7	1	17,70	12,14									
	2	17,59	12,03	12,05	1,19	145	16,84	65,08	62,17	45,33	6,15	1,34
	3	17,53	11,97			190	14,81	55,32	53,07	38,26		
9	1	17,78	12,22									
	2	17,84	12,28	12,23	1,21	54	9,74	44,81	42,18	32,44	8,42	1,34
	3	17,74	12,18			12	14,60	52,32	49,29	34,69		
12	1	18,24	12,68									
	2	18,23	12,67	12,72	1,25	150	9,76	46,93	43,14	33,38	11,23	1,33
	3	18,36	12,90			88	13,91	46,54	43,28	29,37		



$$y = -0,0057x^2 + 0,0891x + 1,0288$$

x	y
	1,0288
	1,0288
	1,0288
7,8	1,37699
	1,0288
	1,0288
	1,0288
	1,0288

Tabela C1 - Resultados individuais da resistência à tração por compressão diametral aos 7 dias

C.P.	Datas		Idade (dias)	CARGA DE RUPTURA		Carga Ruptura Máxima (kgf)	Carga Ruptura Média (kgf)	Tensão Média (MPa)	TRAÇÃO
	Nº	Moldagem		Ruptura	1				
CR	19/11/2006	27/11/2006	08	6700	6500	6700	6600	2,10	1:3,5
CAA25	19/11/2006	27/11/2006	08	6300	6500	6500	6400	2,04	
CAA50	19/11/2006	27/11/2006	08	7600	6800	7600	7200	2,29	
CAA75	19/11/2006	27/11/2006	08	6800	7000	7000	6900	2,20	
CAA100	19/11/2006	27/11/2006	08	7400	7200	7400	7300	2,32	
CR	17/11/2006	24/11/2006	07	5200	5600	5600	5400	1,72	1:5,0
CAA25	17/11/2006	24/11/2006	07	5400	5100	5400	5250	1,67	
CAA50	17/11/2006	24/11/2006	07	5300	5900	5900	5600	1,78	
CAA75	17/11/2006	24/11/2006	07	5800	5700	5800	5750	1,83	
CAA100	17/11/2006	24/11/2006	07	5400	5600	5600	5500	1,75	
CR	18/11/2006	25/11/2006	07	4500	4700	4700	4600	1,46	1:6,5
CAA25	18/11/2006	25/11/2006	07	4000	4600	4600	4300	1,37	
CAA50	18/11/2006	25/11/2006	07	4800	5100	5100	4950	1,58	
CAA75	18/11/2006	25/11/2006	07	4600	4700	4700	4650	1,48	
CAA100	18/11/2006	25/11/2006	07	5300	5200	5300	5250	1,67	

Tabela B2 - Resultados individuais da resistência à compressão aos 28 dias

C.P. Nº	Datas		Idade (dias)	CARGA DE RUPTURA		Carga Ruptura Máxima (kgf)	Tensão Máxima (MPa)	Carga Ruptura Média (kgf)	Tensão Média (MPa)	TRAÇO
	Moldagem	Ruptura		1	2					
CR	19/11/2006	17/12/2006	28	15700	14000	18300	23,3	16425	20,9	1:3,5
CAA25	19/11/2006	17/12/2006	28	16600	15100	19600	25,0	16950	21,6	
CAA50	19/11/2006	17/12/2006	28	16200	17100	18600	23,7	17450	22,2	
CAA75	19/11/2006	17/12/2006	28	15500	16700	19200	24,4	17450	22,2	
CAA100	19/11/2006	17/12/2006	28	16200	16300	19700	25,1	17900	22,8	
CR	17/11/2006	15/12/2006	28	12800	12500	12900	16,4	12750	16,2	1:5,0
CAA25	17/11/2006	15/12/2006	28	10700	11700	13200	16,8	12100	15,4	
CAA50	17/11/2006	15/12/2006	28	10300	11200	13700	17,4	11750	15,0	
CAA75	17/11/2006	15/12/2006	28	13800	12700	14300	18,2	13750	17,5	
CAA100	17/11/2006	15/12/2006	28	13800	13200	14600	18,6	13900	17,7	
CR	18/11/2006	16/12/2006	28	9000	8500	9900	12,6	9300	11,8	1:6,5
CAA25	18/11/2006	16/12/2006	28	9500	9800	10300	13,1	9950	12,7	
CAA50	18/11/2006	16/12/2006	28	8600	9700	10000	12,7	9525	12,1	
CAA75	18/11/2006	16/12/2006	28	10200	9800	11000	14,0	10475	13,3	
CAA100	18/11/2006	16/12/2006	28	11200	10000	11200	14,3	10100	12,9	

Tabela B3 - Resultados individuais da resistência à compressão aos 56 dias

C.P. Nº	Datas		Idade (dias)	CARGA DE RUPTURA		Carga Ruptura Máxima (kgf)	Tensão Máxima (MPa)	Carga Ruptura Média (kgf)	Tensão Média (MPa)	TRAÇO
	Moldagem	Ruptura		1	2					
CR	19/11/2006	14/01/2007	56	17800	17700	17800	22,7	17750	22,6	1:3,5
CAA25	19/11/2006	14/01/2007	56	18800	19400	19400	24,7	19100	24,3	
CAA50	19/11/2006	14/01/2007	56	18800	19700	19700	25,1	19250	24,5	
CAA75	19/11/2006	14/01/2007	56	21000	19700	21000	26,7	20350	25,9	
CAA100	19/11/2006	14/01/2007	56	21100	21400	21400	27,2	21250	27,1	
CR	17/11/2006	12/01/2007	56	14500	14800	14800	18,8	14650	18,7	1:5,0
CAA25	17/11/2006	12/01/2007	56	15000	13900	15000	19,1	14450	18,4	
CAA50	17/11/2006	12/01/2007	56	13500	14200	14200	18,1	13850	17,6	
CAA75	17/11/2006	12/01/2007	56	15800	16100	16100	20,5	15950	20,3	
CAA100	17/11/2006	12/01/2007	56	16200	15800	16200	20,6	16000	20,4	
CR	18/11/2006	13/01/2007	56	10300	10500	10500	13,4	10400	13,2	1:6,5
CAA25	18/11/2006	13/01/2007	56	11000	10600	11000	14,0	10800	13,8	
CAA50	18/11/2006	13/01/2007	56	11400	9500	11400	14,5	10450	13,3	
CAA75	18/11/2006	13/01/2007	56	10500	11600	11600	14,8	11050	14,1	
CAA100	18/11/2006	13/01/2007	56	10000	10500	10500	13,4	10250	13,1	

Tabela B1 - Resultados individuais da resistência à compressão aos 7 dias

C.P. Nº	Datas		Idade (dias)	CARGA DE RUPTURA		Carga Ruptura Máxima (kgf)	Tensão Máxima (MPa)	Carga Ruptura Média (kgf)	Tensão Média (MPa)	TRAÇO
	Moldagem	Ruptura		1	2					
CR	19/11/2006	26/11/2006	07	14900	14800	14900	18,97	14850	18,9	1:3,5
CAA25	19/11/2006	26/11/2006	07	14900	15100	15100	19,23	15000	19,1	
CAA50	19/11/2006	26/11/2006	07	14300	16000	16000	20,37	15150	19,3	
CAA75	19/11/2006	26/11/2006	07	15300	15100	15300	19,48	15200	19,4	
CAA100	19/11/2006	26/11/2006	07	15900	16300	16300	20,75	16100	20,5	
CR	17/11/2006	24/11/2006	07	11500	11300	11500	14,64	11400	14,5	1:5,0
CAA25	17/11/2006	24/11/2006	07	9700	11600	11600	14,77	10650	13,6	
CAA50	17/11/2006	24/11/2006	07	10800	10500	10800	13,75	10650	13,6	
CAA75	17/11/2006	24/11/2006	07	11800	11700	11800	15,02	11750	15,0	
CAA100	17/11/2006	24/11/2006	07	11900	11500	11900	15,15	11700	14,9	
CR	18/11/2006	25/11/2006	07	9300	7900	9300	11,84	8600	10,9	1:6,5
CAA25	18/11/2006	25/11/2006	07	8600	8800	8800	11,20	8700	11,1	
CAA50	18/11/2006	25/11/2006	07	8000	8900	8900	11,33	8450	10,8	
CAA75	18/11/2006	25/11/2006	07	9100	8500	9100	11,59	8800	11,2	
CAA100	18/11/2006	25/11/2006	07	8500	9400	9400	11,97	8950	11,4	



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**



Keillon Oliveira Cabral

Orientador: Profº Drº Enio José Pazini Figueiredo

Goiânia, Outubro de 2007

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**



**INFLUÊNCIA DA AREIA ARTIFICIAL ORIUNDA DA
BRITAGEM DE ROCHA GRANITO-GNAISSE NAS
PROPRIEDADES DO CONCRETO CONVENCIONAL NO
ESTADO FRESCO E ENDURECIDO.**



ESTRUTURA DO TRABALHO



ESTRUTURA DO TRABALHO

CAP 1 - INTRODUÇÃO

CAP 2 – AGREGADOS PARA CONCRETO

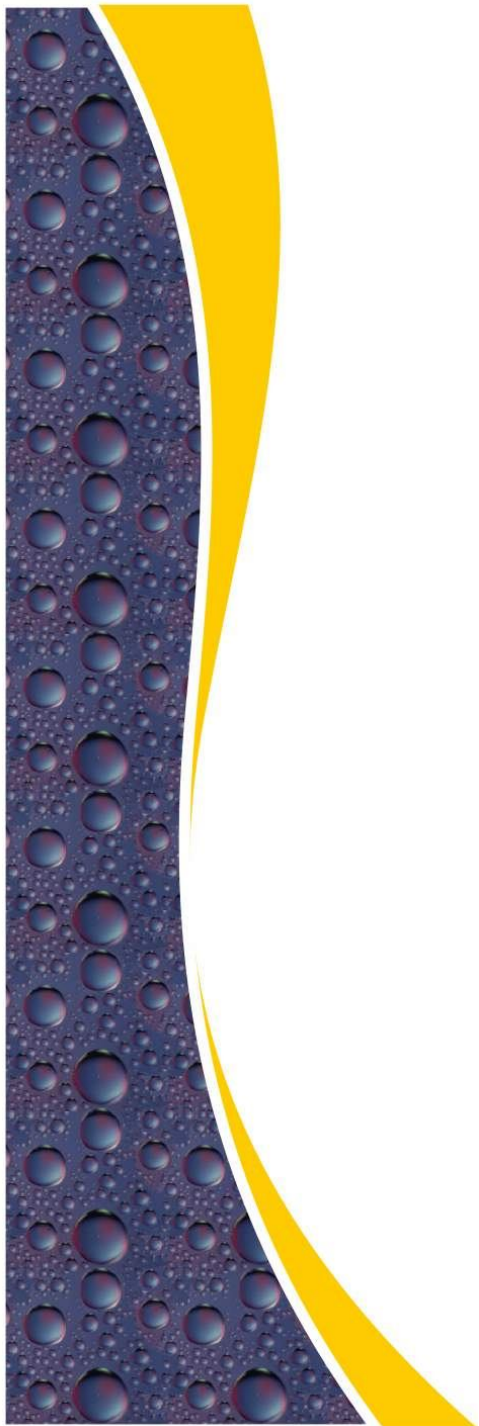
CAP 3 – INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS

CAP 4 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

CAP 5 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

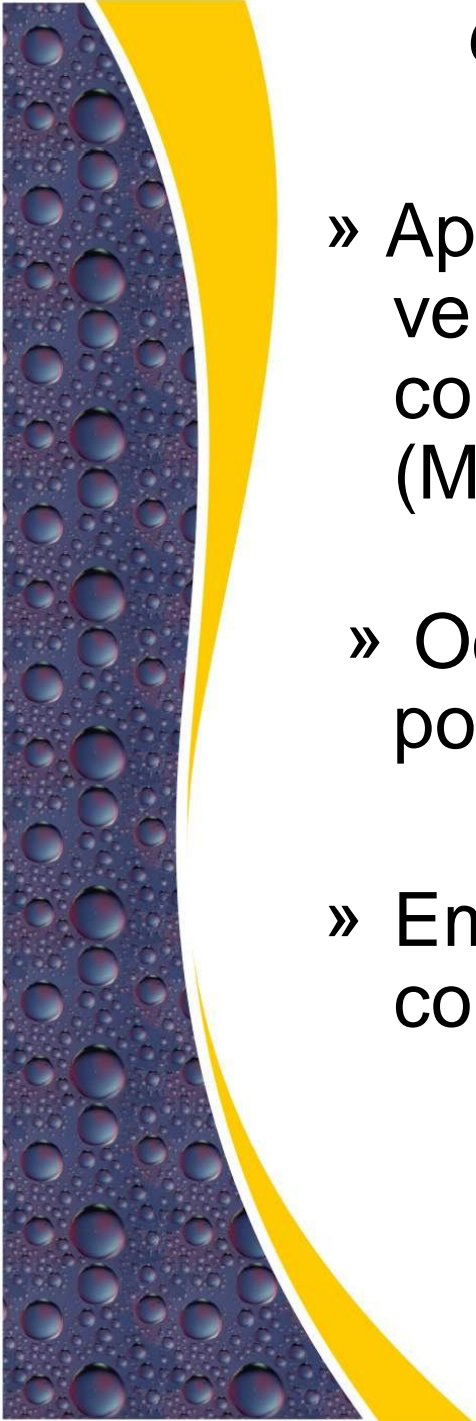
CAP 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

AGRADECIMENTOS



CAP 1 - INTRODUÇÃO

CAP 01 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

- 
- » Após segunda guerra mundial, o concreto vem se mostrando como o material de construção mais consumido do mundo (METHA; MONTEIRO, 1994);
 - » Ocorre, portanto uma elevada demanda por insumos que o compõe;
 - » Em relação aos agregados miúdos duas conseqüências se destacam:
 - Escassez;
 - Encarecimento.





CAP 01 - IMPORTÂNCIA DO TEMA

- »Três alternativas a partir da produção de areia artificial são claramente projetadas:
 - redução dos impactos ambientais;
 - econômica;
 - técnica.

- »O eixo Goiânia-Brasília, constitui-se no terceiro mercado consumidor de agregados do país(AREIA & BRITA, 2003).

- »A variação na qualidade dos insumos do concreto é uma preocupação constante das empresas do setor.



CAP 01 - JUSTIFICATIVA

- » Problemas aparecem porque os “novos” agregados provenientes de resíduos reciclados podem mostrar uma grande **variabilidade química, física e mineralógica** (AREIA & BRITA, 2003).
- » **Escassez e aumento do custo das areias** nas grandes metrópoles.
- » Areia artificial resultante da britagem tende a ser um dos principais materiais para a **substituição parcial** ou até mesmo total da areia natural (BERTOCINI, 2004).



CAP 01 – OBJETIVOS GERAIS

» OBJETIVOS GERAIS:

- avaliar o efeito da **substituição parcial e total da areia natural** por areia artificial de granito-gnaiss nas porcentagens de 25%, 50%, 75% e 100%, em massa.



CAP 01 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

» OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- avaliar a **caracterização** da areia natural e artificial;
- avaliar a **forma e a textura** dos grãos de areia natural e artificial;
- avaliar o **concreto fresco**, quanto a trabalhabilidade, a massa específica e ao teor de ar incorporado;
- avaliar o **concreto endurecido**, quanto da resistência à compressão, à tração por compressão diametral, do módulo de deformação e à reação álcali-agregado;
- analisar a **absorção** de água por imersão e fervura;
- avaliar a composição de **custo unitário** dos concretos produzidos.



***CAP 02 – AGREGADOS
PARA CONCRETO***



Figura 2.1 – Usina hidrelétrica de Itaipu.

CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO

❖ Atualidade:

- » A adição de areia natural é atualmente prática bastante difundida entre as concreteiras. Mas, recentemente, tem-se estudado como melhorar o agregado miúdo, a "areia artificial", visando utilizá-la integralmente sem adição de outras areias.
- » Cerca de 9% da areia consumida no Estado de São Paulo, provém de areia artificial (VALVERDE, 2003).

CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO

❖ **Mercado em expansão:**

- » Somente em Goiânia, com uma população de **1,4 milhão de habitantes**, são consumidos atualmente cerca de **100.000 m³** de pedra britada por mês.
- » Da produção de pedra britada



**20% AREIA
ARTIFICIAL**

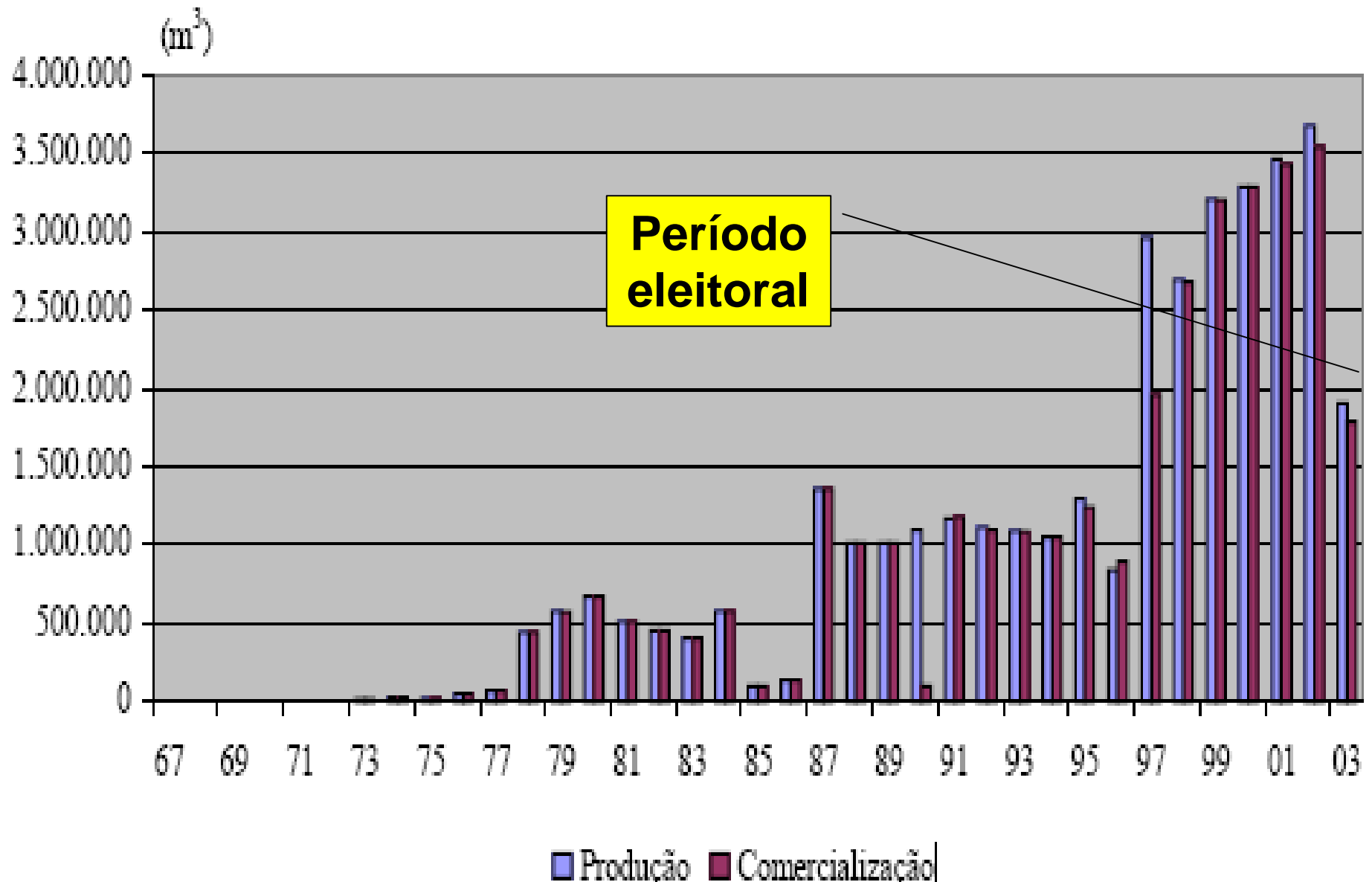


Figura 2.15 – A evolução da produção e comercialização de britas em Goiás (DNPM, 2003).



CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO

❖ **Revisão da norma NBR 7.211 (ABNT, 2005) :**

» Terminologias relativas 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 e qual encontrado na natureza.

- **Agregado artificial**: material resultante de processo industrial.



CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO

❖ Revisão da norma NBR 7.211 (ABNT, 2005) :

» Terminologias relativas a dimensões:

- **Agregado miúdo:** grãos passam pela peneira 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150 μ m.
- **Agregado graúdo:** grãos passam pela peneira 75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 4,75mm.
- **Pó-de-pedra:** material resultante da britagem de rocha que passa na peneira de malha 6,3mm.
- **Fíller ou microfino:** material granular que passa na peneira com abertura de malha de 150 μ m.



CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO

PRODUÇÃO AREIA NATURAL

» LAVRA POR DESMONTE HIDRAÚLICO:

É aplicado para extração de areia localizados em depósitos de planícies fluviais ou encostas de morros (OLIMPIA, 2001).

» LAVRA POR DRAGAGEM:

É extração de areia localizados sob um leito de água (OLIMPIA, 2001).

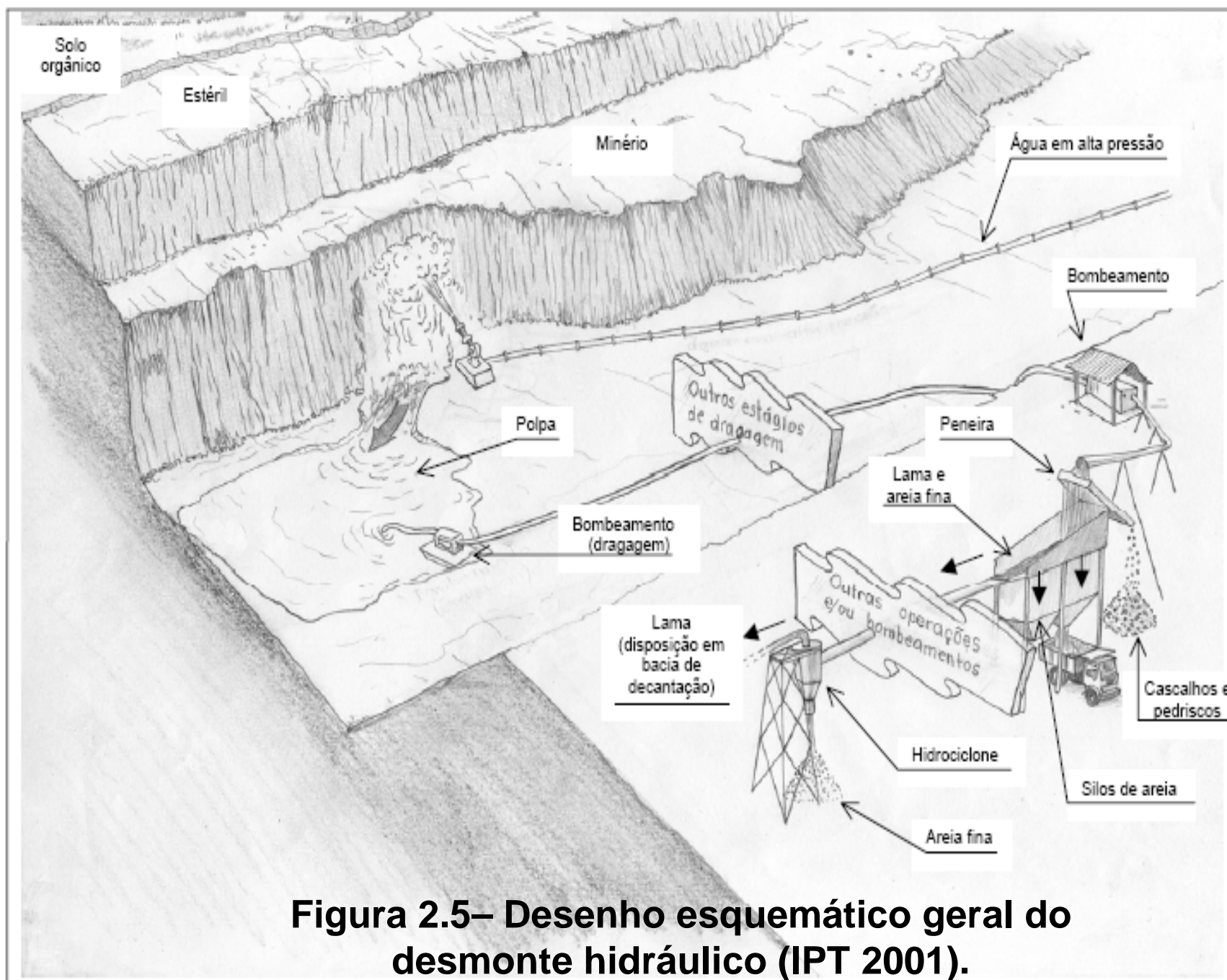


Figura 2.5– Desenho esquemático geral do desmonte hidráulico (IPT 2001).

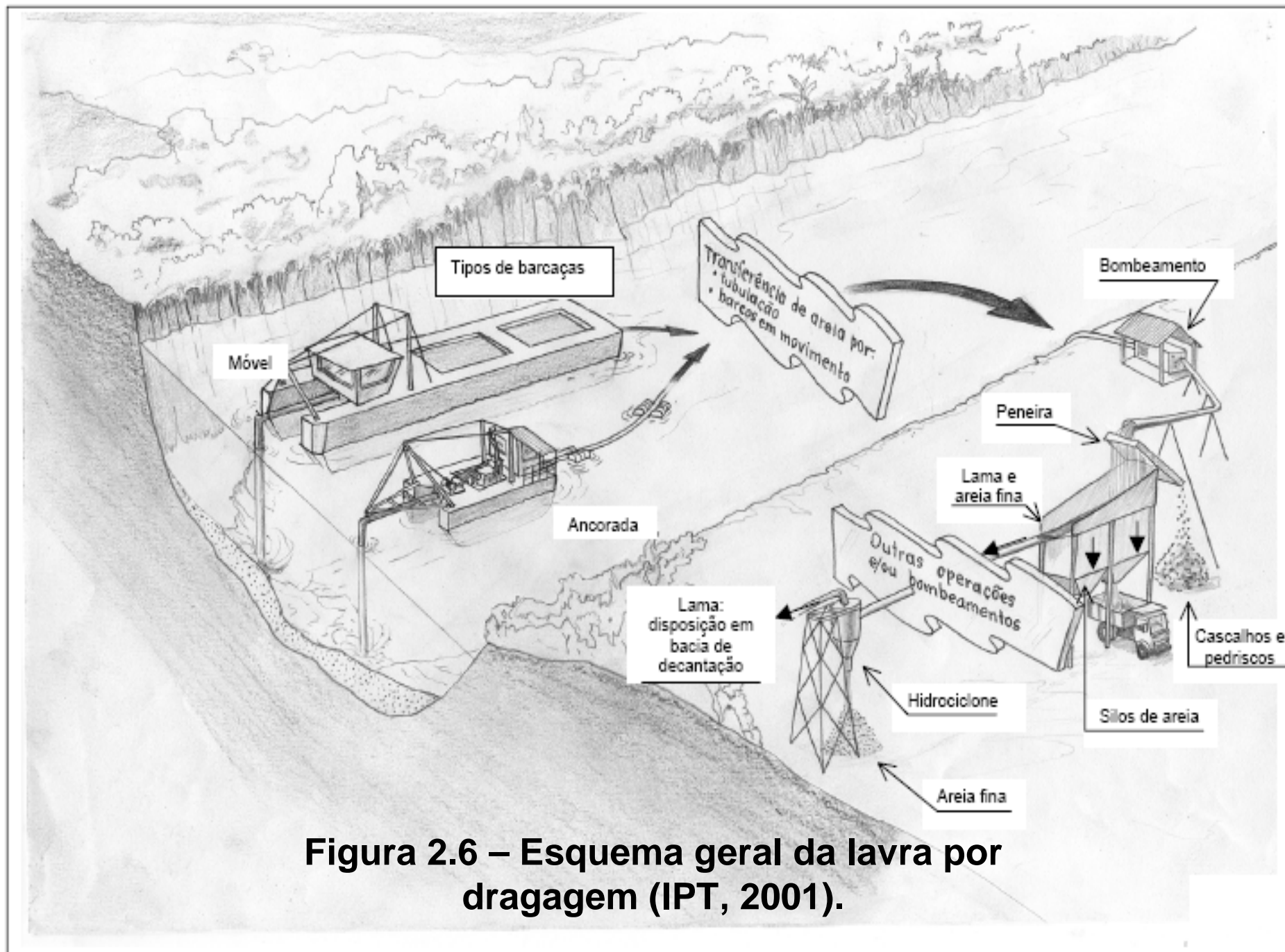


Figura 2.6 – Esquema geral da lavra por dragagem (IPT, 2001).



CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO

PRODUÇÃO AREIA ARTIFICIAL

- » As operações de **beneficiamento são puramente mecânicas** e consistem em britagem primária, secundária e rebitagem em uma ou duas etapas (britagem terciária e quaternária) que pode ser realizada a seco ou a úmido.
- » Os britadores terciário e quaternário são cônicos ou de impacto, sendo atualmente usados na tentativa de reduzir a **lamelaridade** do agregado e a produção de excesso de fino.

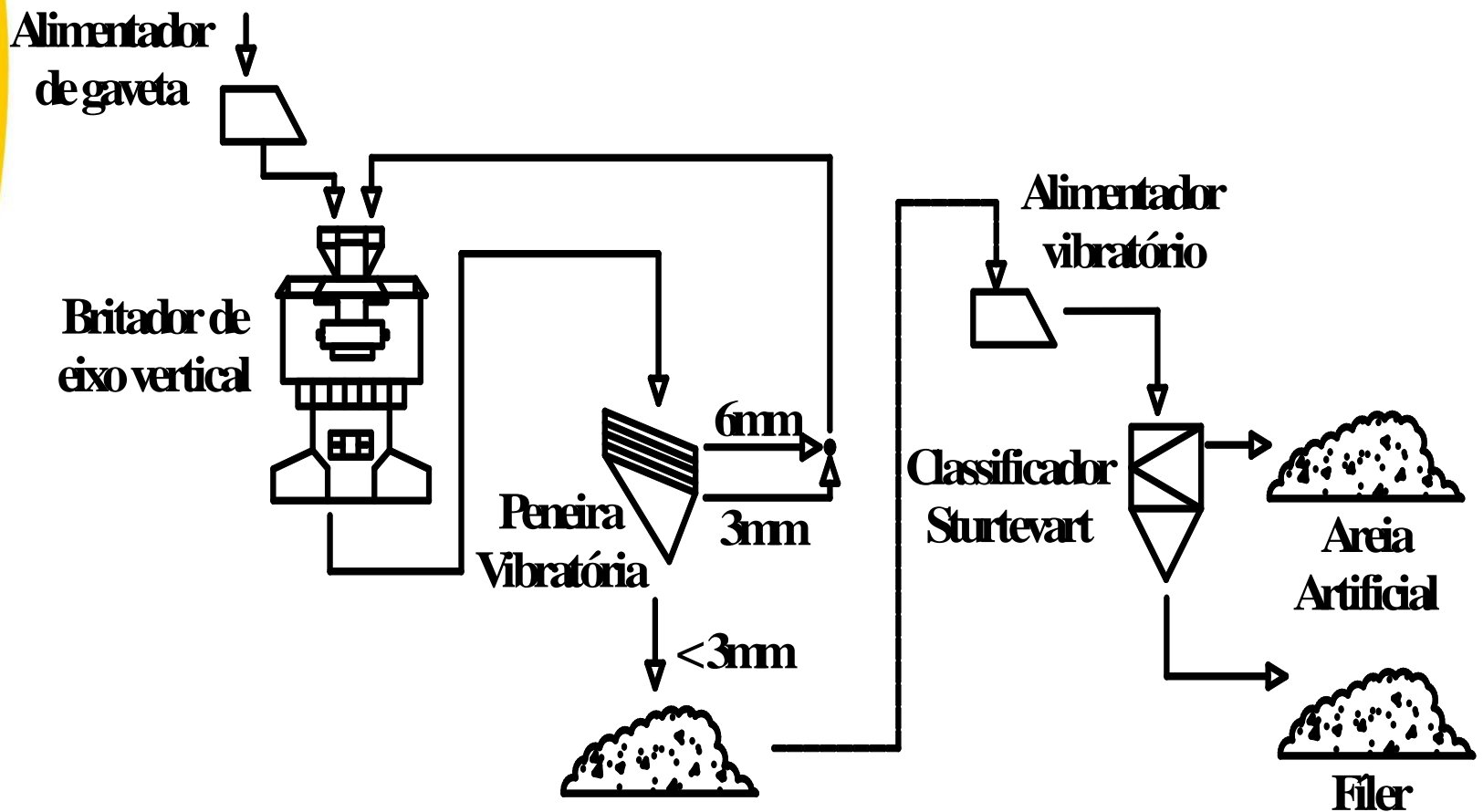


Figura 2.8 – Diagrama esquemático do circuito geral de britagem (ALMEIDA; SILVA, 2005).

CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO

ETAPAS DA PRODUÇÃO

Figura 2.11 – Desmonte secundário por rompedor secundário (CUCHIERATO, 2000).

Figura 2.10 – Bancada para extração de agregados (HOLCIM, 2007).

CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO



Figura 2.13 – Britadores da planta de britagem da Britagran

CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO



Figura 2.14 – Pilha de areia artificial produzida por via seca.

Figura 2.13 – Britadores em produção



CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO

IMPACTOS NA PRODUÇÃO DE AREIA NATURAL

- »Contaminação do curso d'água;
- »Assoreamento dos rios;
- »Depreciação das qualidades física, química e biológica da água superficial;;
- »Comprometimento da vegetação original e do ecossistema ciliar.

CAP 02 – AGREGADOS PARA CONCRETO



Figura 2.18 – Assoreamento provocado pela extração mineral (Barra do sul – SC).



Figura 2.19 – Partículas em suspensão.



***CAP 03 – INFLUÊNCIA DOS
AGREGADOS MIÚDOS***



CAP 03 – INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS MIÚDOS

AGREGADOS NO CONCRETO

- » **Razões técnicas e econômicas para o uso de agregados no concreto:**
 - **contribuir com grãos capazes de resistir aos esforços solicitantes e à ações de intempéries;**
 - **reduzir as variações de volume;**
 - **reduzir custos do concreto.**



CAP 03 – INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS MIÚDOS

» Características desejáveis do agregado:

- **ter uma boa distribuição granulométrica para permitir uma boa compactação do concreto;**
- **forma de partículas mais equidimensional possível;**
- **adequada resistência mecânica;**
- **adequada composição mineralógica;**
- **ausência de impurezas que possam diminuir a durabilidade do concreto.**

CAP 03 – INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS MIÚDOS PROPRIEDADES CARACTERIZAÇÃO

Textura e índice de forma

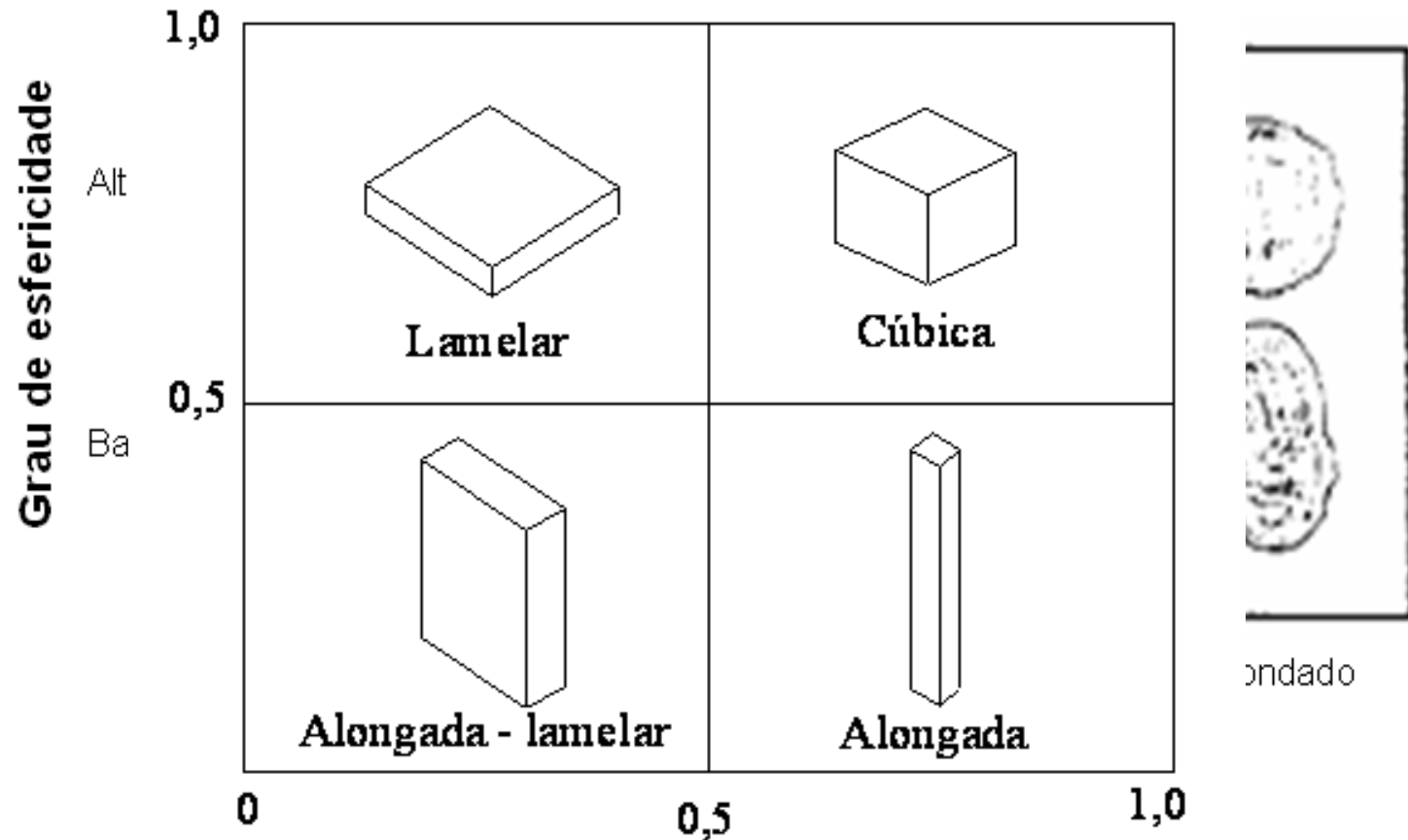
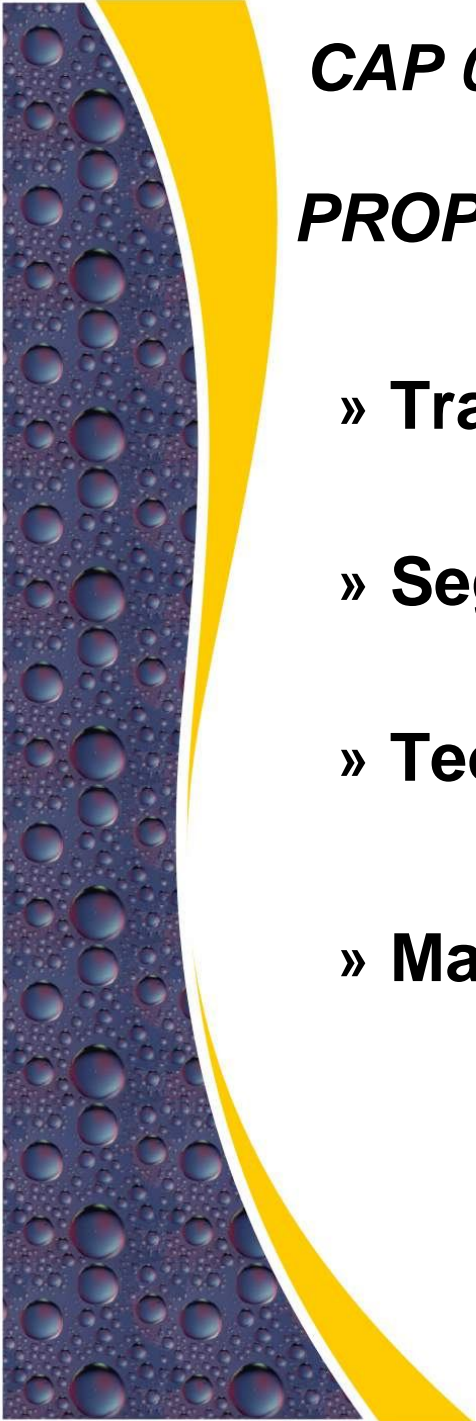



Figura 3.11 – Representação esquemática da avaliação do grau de arredondamento e esfericidade dos agregados miúdos (ABNT, NBR 7339 (ABNT, 1982) 6.954 (ABNT, 1989).



CAP 03 – INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS MIÚDOS
PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

- » **Trabalhabilidade**
- » **Segregação e exsudação**
- » **Teor de ar incorporado**
- » **Massa específica**



CAP 03 – INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS MIÚDOS

PROPRIEDADES DO CONCRETO FRESCO

» Trabalhabilidade

- A perda de abatimento está relacionada com a capacidade do concreto fresco em reter a água de amassamento.

- Quantidade de finos por possuir uma maior superfície específica, retêm uma maior quantidade de água.



***CAP 03 – INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS MIÚDOS
PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO***

- » Resistência a compressão**
- » Resistência a tração por compressão diametral**
- » Absorção de Água por Imersão e fervura**
- » Módulo de deformação**



***CAP 03 – INFLUÊNCIA DOS AGREGADOS MIÚDOS
PROPRIEDADES DO CONCRETO ENDURECIDO***

» Reação Álcali-Agregado

- Reação química que ocorre internamente em uma estrutura de concreto, envolvendo os hidróxidos alcalinos provenientes principalmente do cimento e alguns minerais reativos presentes no agregado utilizado.

CAP 03 – RAA - BRITAGRAN

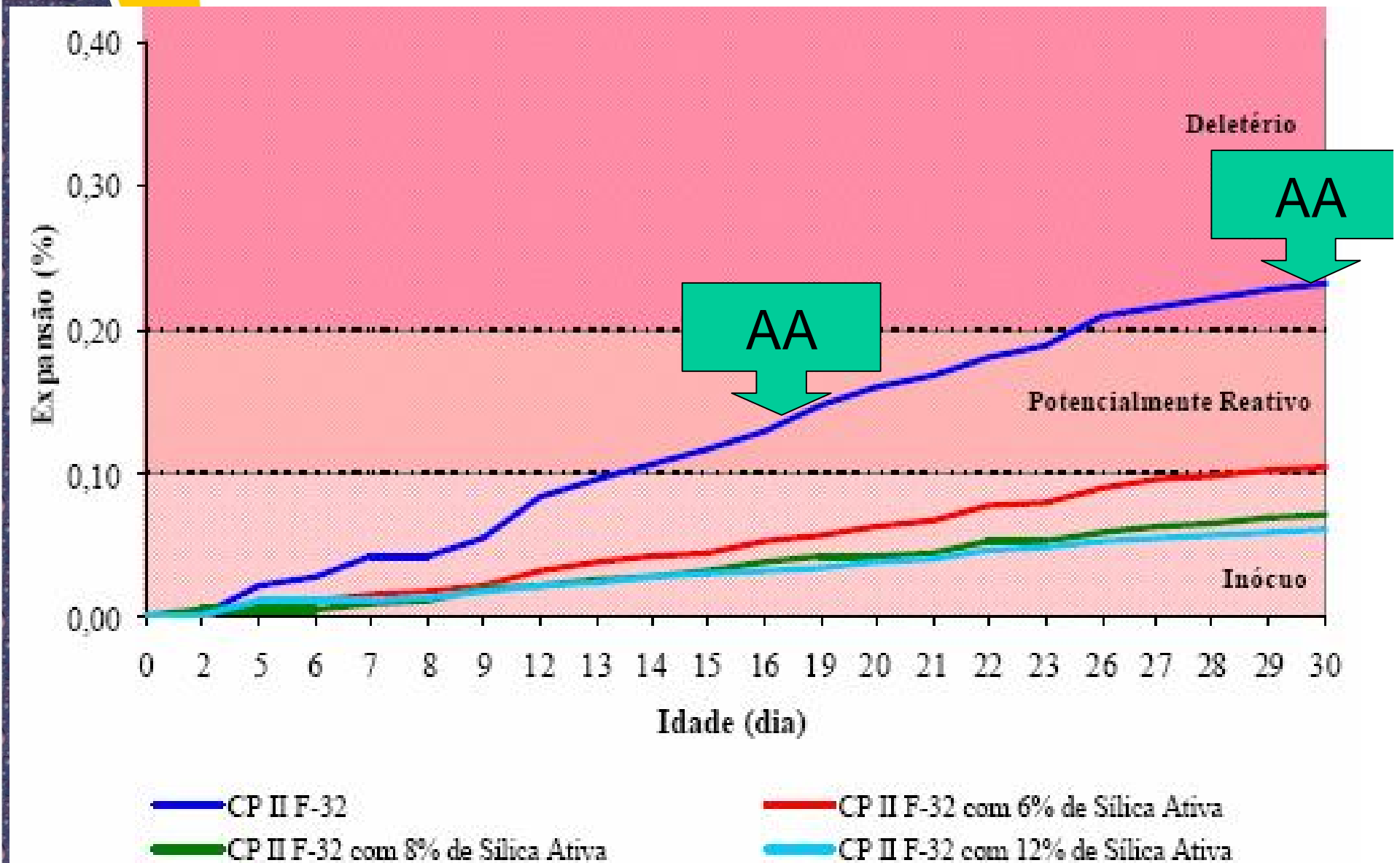


Figura 3.1 – Reatividade Potencial (Fonte: DCT.T.0529.2005- Furnas).



***CAP 04 – PROGRAMA
EXPERIMENTAL***



CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

- » Proposta uma metodologia para verificar a influência da areia artificial (AA) de rocha britada em substituição à areia natural (AN), na qualidade do concreto no estado fresco e endurecido, levando-se em conta os aspectos mecânicos, físico, químicos e microestruturais.

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

PLANEJAMENTO DOS ENSAIOS

CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS MIÚDOS NATURAIS E ARTIFICIAIS

Granulometria, torrões de argila e materiais friáveis, material pulverulento, impurezas orgânicas, teor de cloretos, teor de sulfatos solúveis, massa específica, massa unitária, absorção de água, inchamento, textura e índice de forma do grão

ENSAIOS NO CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Ensaio de abatimento do tronco cone, teor de ar incorporado e massa específica

ENSAIOS NO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Resistência à compressão, tração por compressão diametral, módulo de deformação, absorção de água por imersão e reação álcali-agregado



CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

OS LABORATÓRIOS

- a) Laboratório de Materiais de Construção da Escola de Engenharia Civil, chamado de **LMC/EEC/UFG**;
- b) Laboratório **Concremat** – Qualimat, em São Paulo – SP, chamado nesta pesquisa de Concremat;
- c) Laboratório **Carlos Campos**, onde foram realizados alguns dos ensaios de caracterização.



CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

OS TRAÇOS

- » O programa de pesquisa será realizado com base em 15 (quinze) tipos diferentes de traços de concreto:
 - traço rico (1:3,5) com as seguintes substituições de AN por AA: (0%, 25%, 50%, 75% e 100%);
 - traço médio (1:3,5) com as seguintes substituições de AN por AA: (0%, 25%, 50%, 75% e 100%);
 - traço pobre (1:6,5) com as seguintes substituições de AN por AA: (0%, 25%, 50%, 75% e 100%).

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

Tabela 4.1 – Componentes e abreviações.

Item	Componentes	Abreviações
1	Areia Natural	AN
2	Areia Artificial	AA
3	Concreto de referência	CR
4	Concreto com 25% de AA e 75% de AN	CAA25
5	Concreto com 50% de AA e 50% de AN	CAA50
6	Concreto com 75% de AA e 25% de AN	CAA75
7	Concreto com 100% de AA	CAA100

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

			CONCRETOS			
1:3,5			1:5,0			1:6,5
CR			CR			CR
CAA25			CAA25			CAA25
CAA50			CAA50			CAA50
CAA75			CAA75			CAA75
CAA100			CAA100			CAA100



CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

- » **Cimento Portland CPII – F**, classe 32, por ser o mais utilizado na região.
- » **Agregado miúdo natural - AGRECON** - Rio do Peixe, localizada no município de Faina-Go (DT = 250 Km);
- » **Agregado miúdo artificial - BRITAGRAN** - Município de Nova Veneza-Go(DT = 30 Km);
- » **Agregado graúdo britado** é de composição granito-gnaisse - **Britagran** - Município de Nova Veneza-Go (DT = 30 Km);
- » **Água** - Abastecimento pública da Saneago;

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL



Figura 4.3 – Agregado natural, A



Figura 4.3 – Agregado artificial, BR



Figura 4.3 – Agregado graúdo, BRITAGRAN.

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL GRANULOMETRIA



Figura 4.6 – Peneiras utilizadas no ensaio da determinação da composição granulométrica.



Figura 4.7 – Areia sendo peneirada.

NBR NM 248 (ABNT, 2003d).

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL INCHAMENTO



Figura 4.12 – AN sendo umedecido.



Figura 4.13 – AN sendo homogeneizada.



Figura 4.14 – AN para pesagem.

**NBR 6467
(ABNT, 1987a).**

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL

PRODUÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

**NBR 5.738
(ABNT, 2003)**



Figura 4.15 – Preparação de concreto na betoneira.



Figura 4.16 – Moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos.

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL CONCRETO FRESCO



Figura 4.19 – Ensaio no concreto fresco. massa específica. NBR 9.853 (ABNT, 1987).
cone1 NBR 67 (ABNT, 1990) 1982a).

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL CONCRETO ENDURECIDO



Figura 4.20 – Ensaio de resistência à compressão sendo preparado . NBR 5.739 (ABNT, 1994a)

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL CONCRETO ENDURECIDO

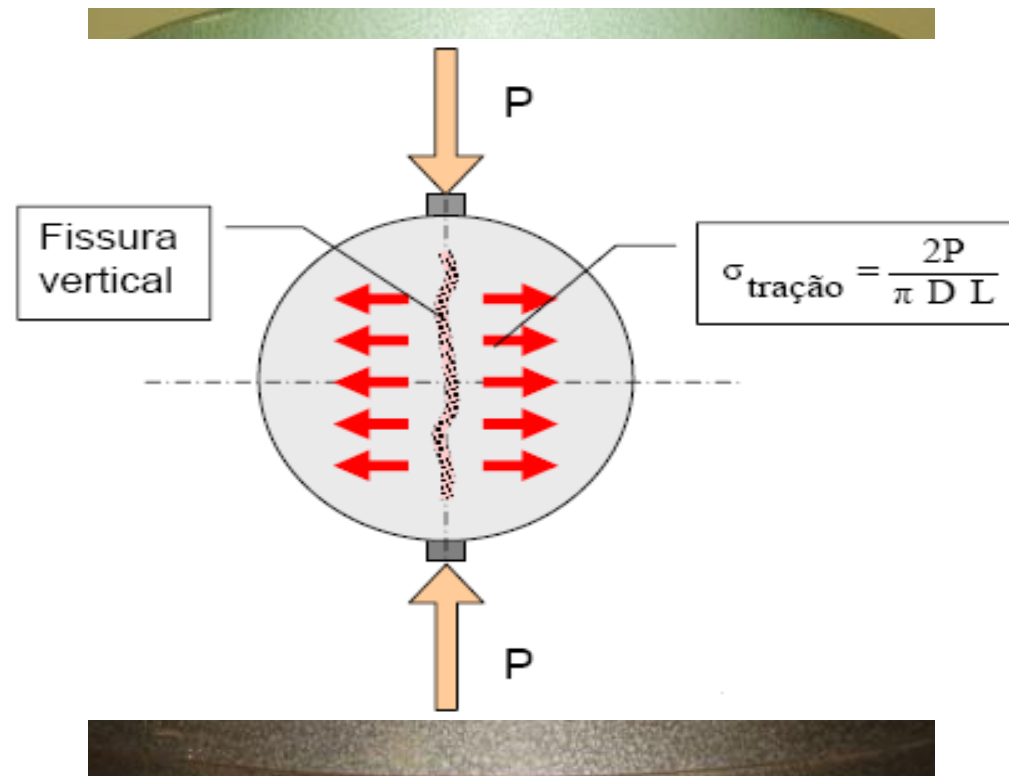


Figura 4.21 – Disposição dos esforços no corpo de prova (THOMAZ, 2002).
Figura 4.22 – Ensaio de resistência à tração por compressão diametral NBR 7 222 (ABNT, 1994b).

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL CONCRETO ENDURECIDO



Figura 4.23 – Ensaio de módulo de deformação, utilizando medidor mecânico de deformação. NBR 8.522 (ABNT, 1984).



Figura 4.24 – Amostra prismática em ensaio de aferição de expansão por RAA. ASTM C-1260 (ASTM, 2001).

CAP 04 – PROGRAMA EXPERIMENTAL CONCRETO ENDURECIDO



**Figura 4.25 – Ensaio de absorção sendo realizado – CPs na estufa .
NBR 9.778 (ABNT, 1987e)**



Figura 4.26 – CPs na fase de fervura.



***CAP 05 – APRESENTAÇÃO E
ANÁLISE DOS RESULTADOS***

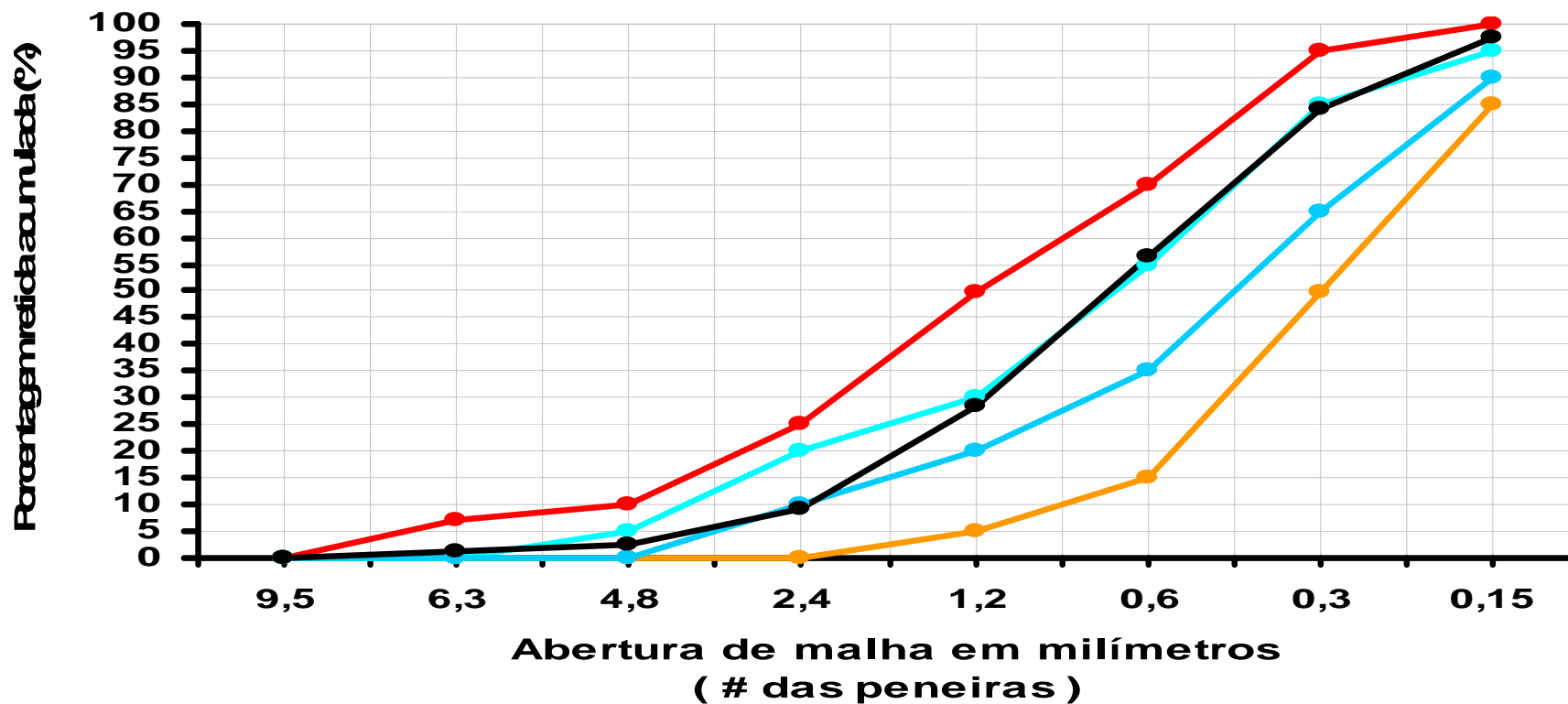
CAP 05 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Tabela 5.2 – Caracterização do agregado graúdo.

MÉTODO	ENSAIO REALIZADO	RESULTADO
NBR –9937 (ABNT, 1987)	Absorção (%)	0,50
NBR – 7217 (ABNT, 1987)	Granulometria (MF)	6,95
NBR – 7217 (ABNT, 1987)	D. Máx.	19 (3/4”)
NBR –7251 (ABNT, 1987)	Massa unitária. (Kg/cm ³)	1,43
NBR –9937 (ABNT, 1987)	Massa específica S.S.S. (g/cm ³)	2,65

CAP 05 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

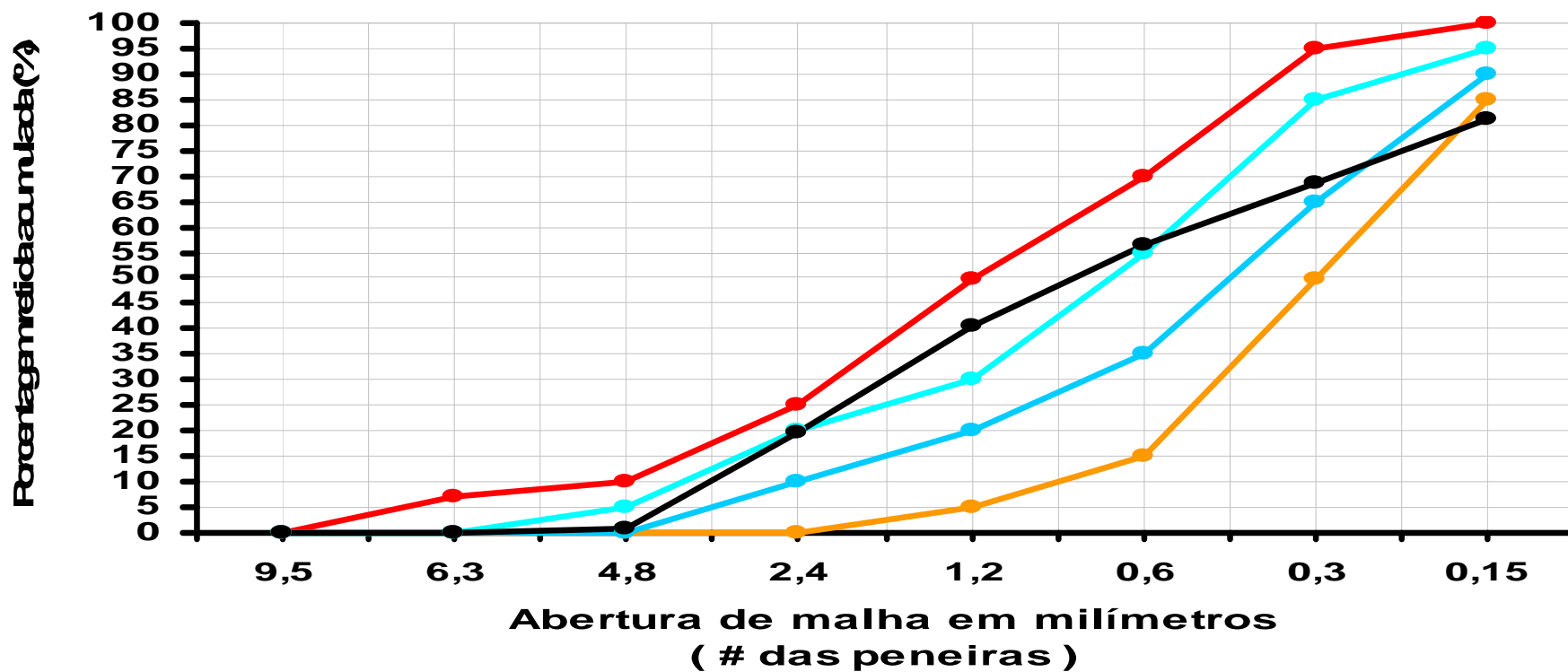
Determinação da distribuição granulométrica NBR 7211:2005 NM 248:2003 Agregado miúdo



- Utilizável - Limite superior
- Utilizável - Limite inferior
- Ótima - Limite superior
- Ótima - Limite inferior
- Areia natural lavada de rio (ensaiada)

CAP 05 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Determinação da distribuição granulométrica NBR 7211:2005 NM 248:2003 Agregado Artificial miúdo



- Utilizável - Limite superior
- Utilizável - Limite inferior
- Ótima - Limite superior
- Ótima - Limite inferior
- Areia natural lavada de rio (ensaiada)



CARACTERIZAÇÃO	NORMA		UNID.	LIMITES DA NORMA	RESULTADOS A.N.	STATUS	RESULTADOS A.A.	STATUS
	MERCOSUL	BRASILEIRA						
Torrões de argila e materiais friáveis		NBR 7218, (ABNT, 1987)	(%)	1,5	0,65		0,25	
Material pulverulento	NBR NM 46, (ABNT, 2003)		(%)	12	1,2		11,4	
Impurezas orgânicas	NBR NM 49, (ABNT, 2001)	NBR 7220, (ABNT, 1987)	cor	A solução obtida no ensaio deve ser mais clara do que a solução-padrão	MAIS CLARA		MAIS CLARA	
Teor de cloretos	NBR 9917, (ABNT, 1987)		(%)	0,01	0,02		0,009	
Teor de sulfatos		NBR 9917, (ABNT, 1987)	(%)	0,05	0,009		0,055	
Teor de sais		NBR 9917, (ABNT, 1987)	(%)	0,2	0,045		0,15	
Massa específica	NBR NM 52, (ABNT, 2003)	NBR 9776, (ABNT, 1987)	(kg/dm ³)	----	2,60		2,78	
Massa unitária		NBR 7251, (ABNT, 1982)	(kg/dm ³)	----	1,50		1,61	
Absorção de água	NBR NM 30, (ABNT, 2000)		(%)	----	0,81		0,2	
						Legenda:		
							Atende à norma	
							Não atende à norma	

Tabela 5.7 – Resumo das caracterizações

CAP 05 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

TEXTURA E FORMA DOS GRÃOS



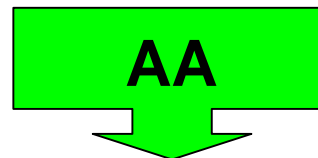
Figura 5.5 – Imagem ampliada dos grãos de areia artificial.



Figura 5.6 – Imagem ampliada dos grãos de areia natural.



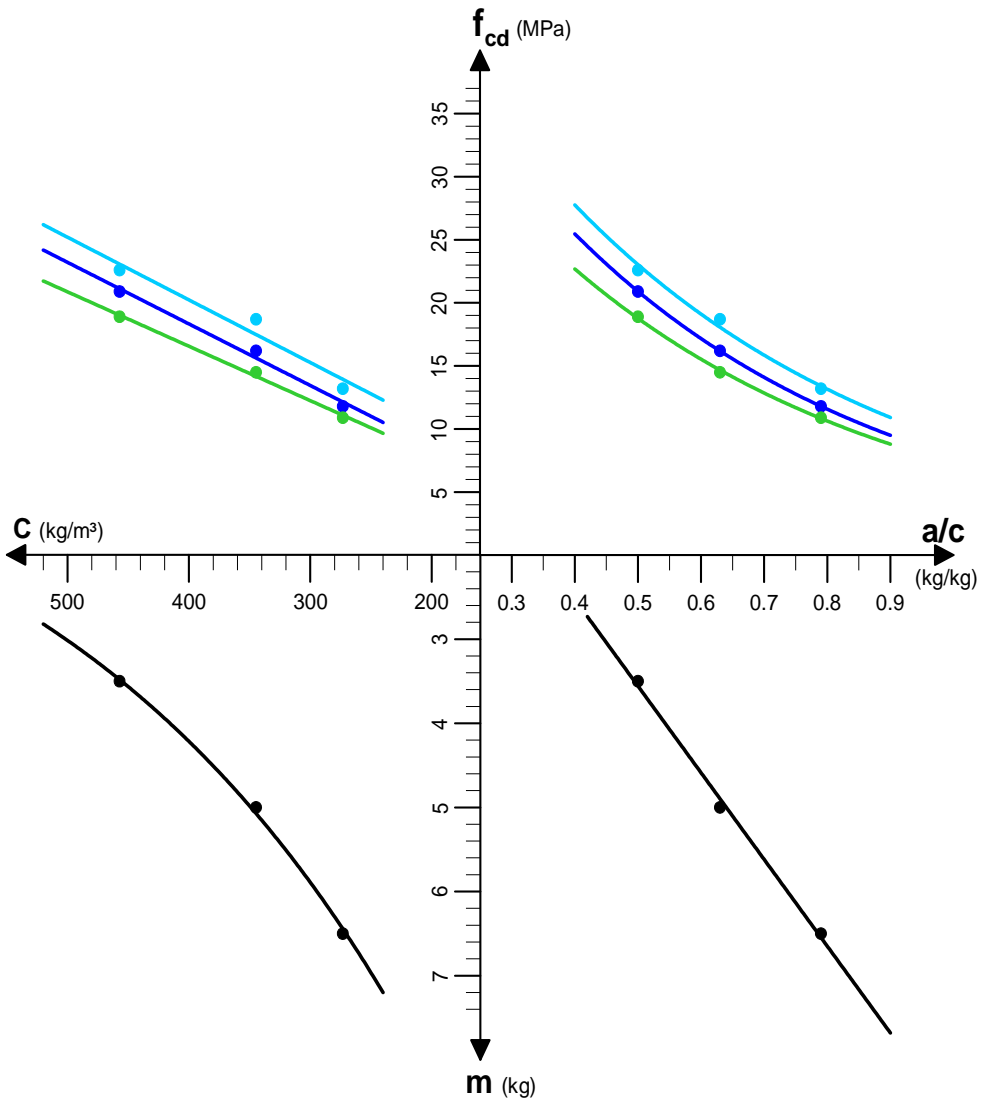
Figura 5.7 – Imagem ampliada dos grãos de areia normal.



- » grau de esfericidade baixo,
- » grau de arredondamento do tipo subanguloso,
- » com a forma das partículas do tipo lamelar
- » textura superficial do tipo áspera

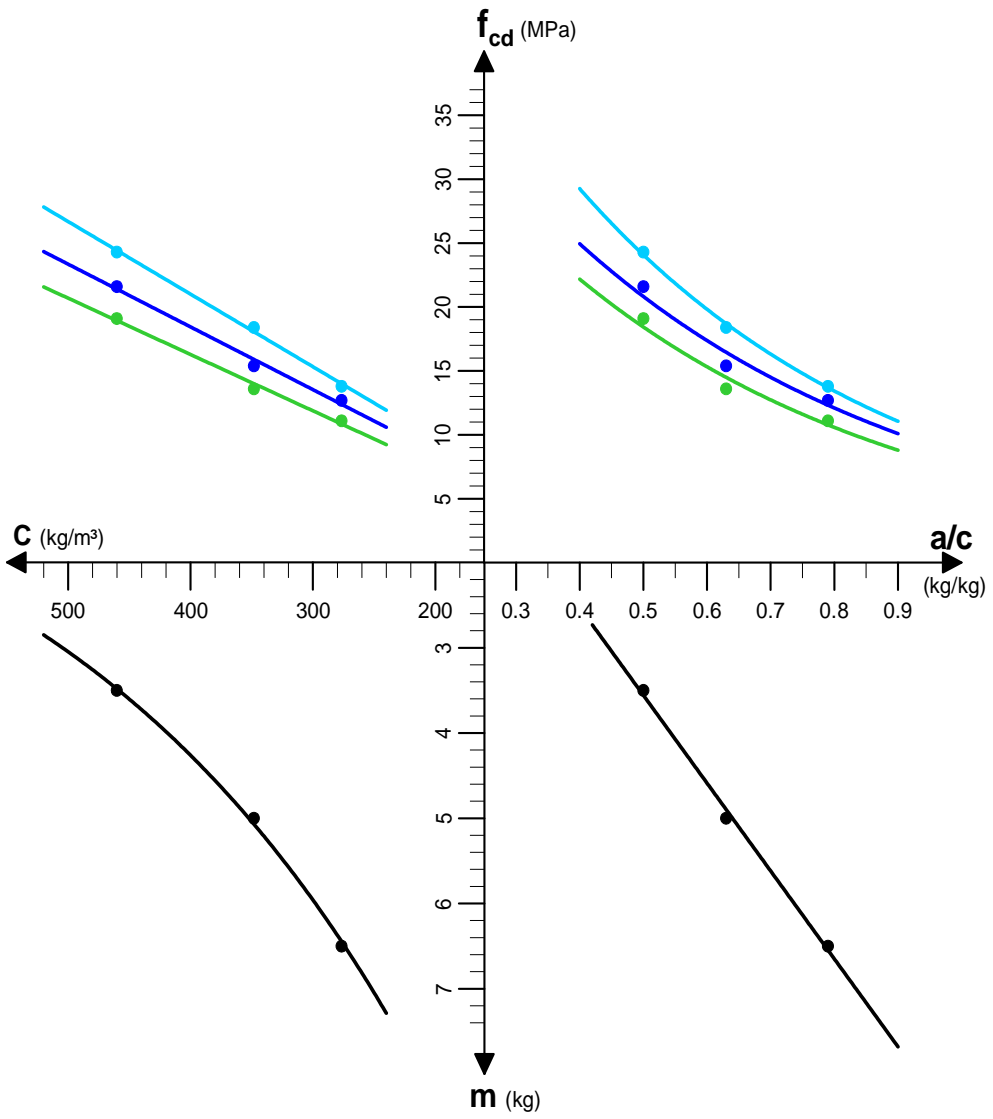
CAP 05 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

DIAGRAMA DE DOSAGEM
CONCRETOS DE REFERÊNCIA - CR



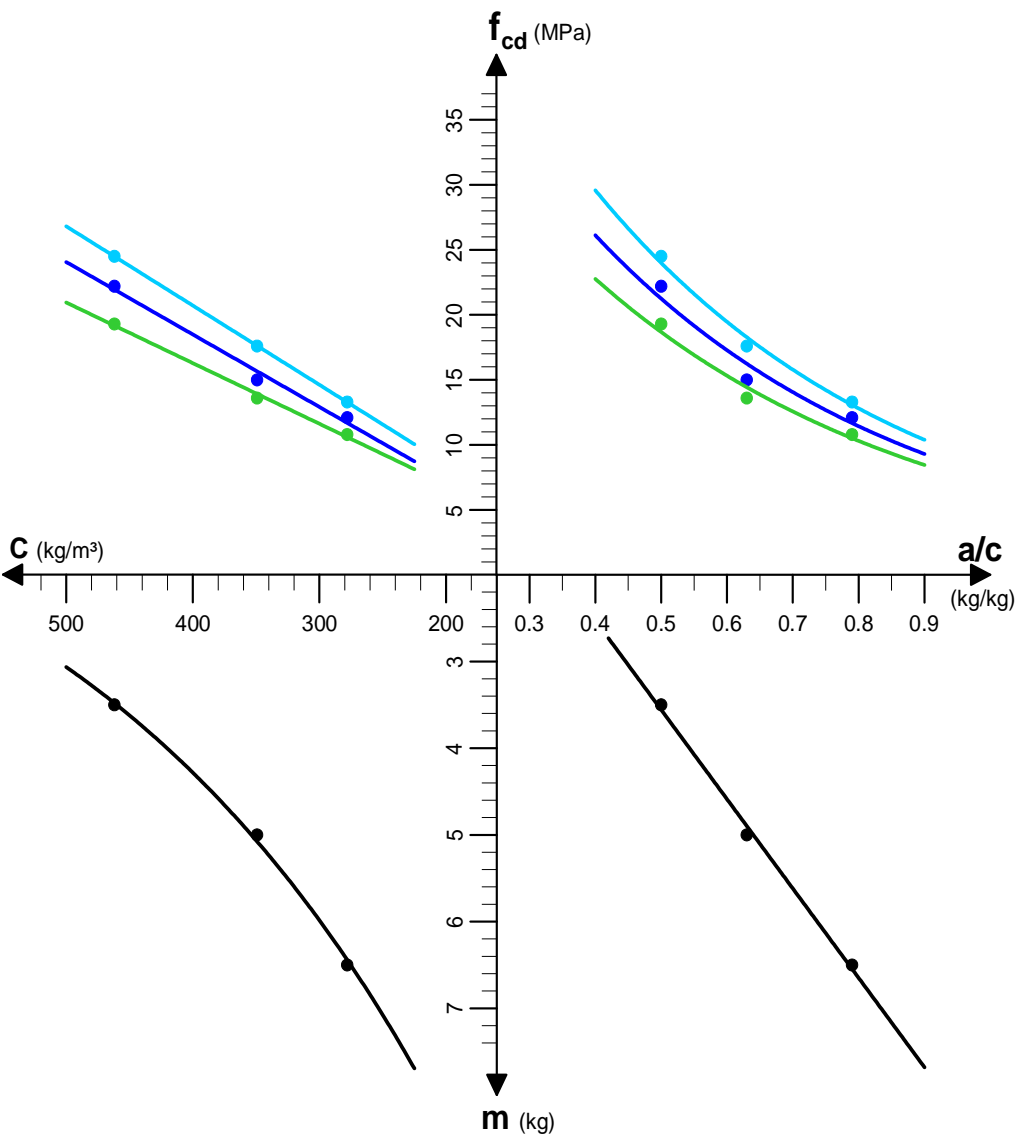
CAP 05 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

DIAGRAMA DE DOSAGEM
Concretos CAA25



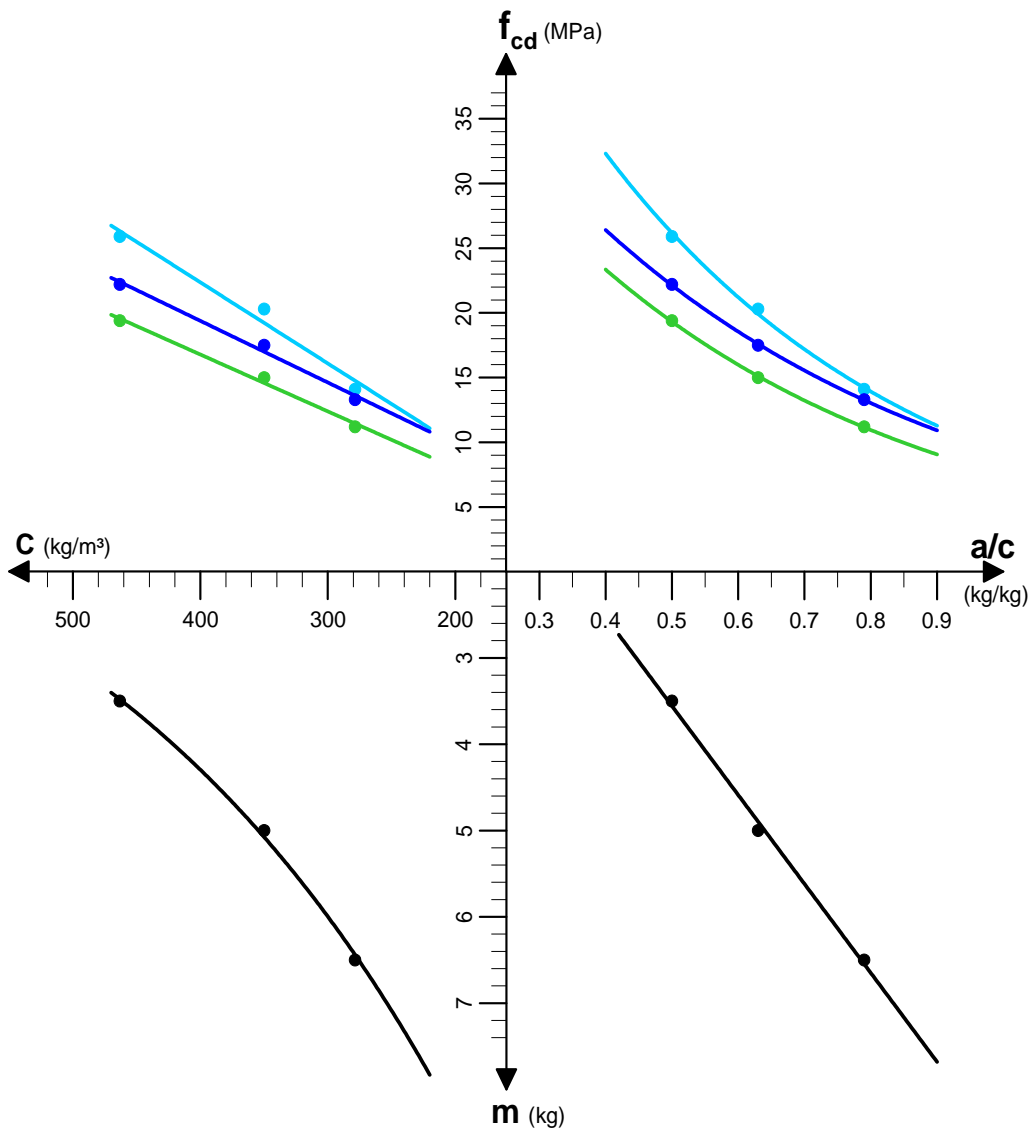
CAP 05 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

DIAGRAMA DE DOSAGEM
Concretos CAA50



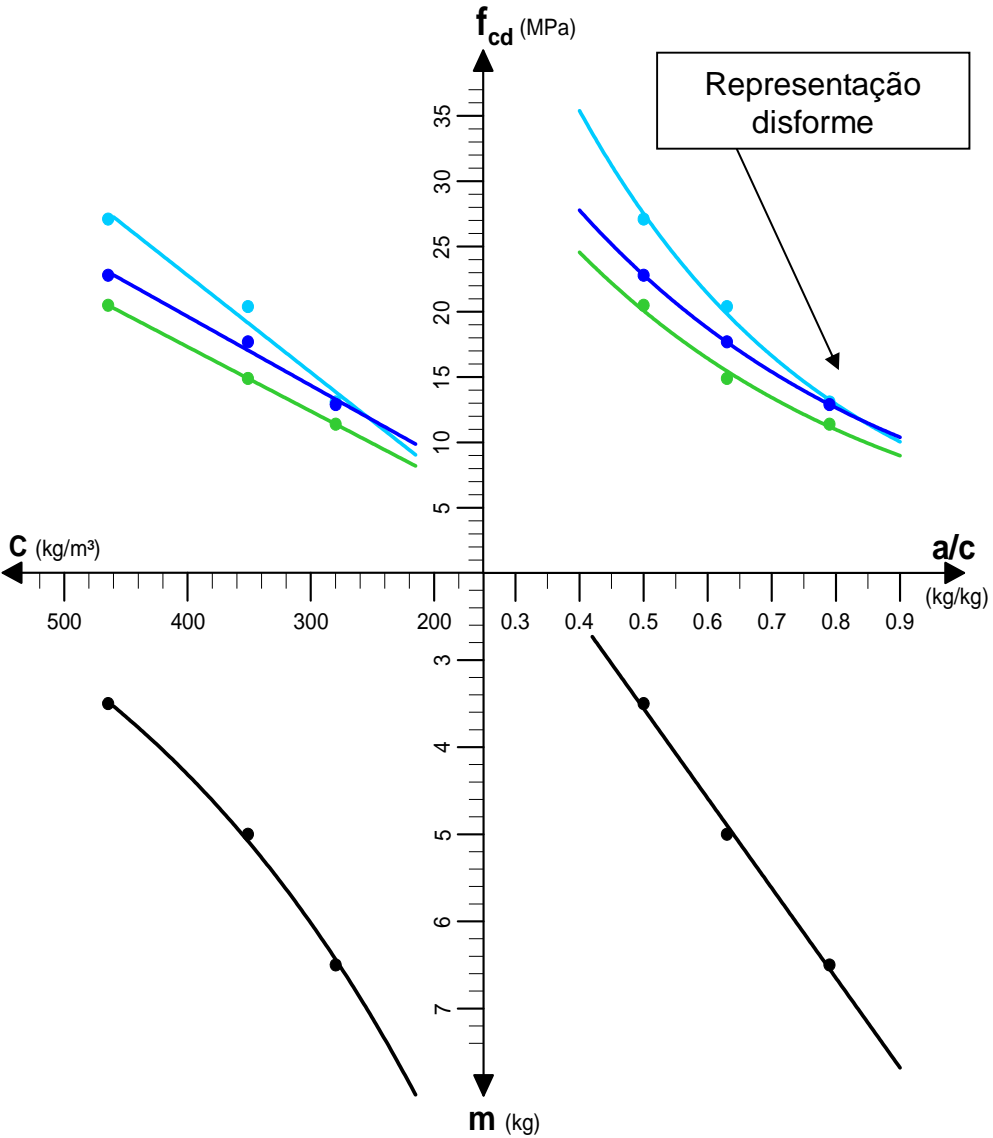
CAP 05 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

DIAGRAMA DE DOSAGEM
C concretos CAA75



CAP 05 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

DIAGRAMA DE DOSAGEM
Concretos CAA100

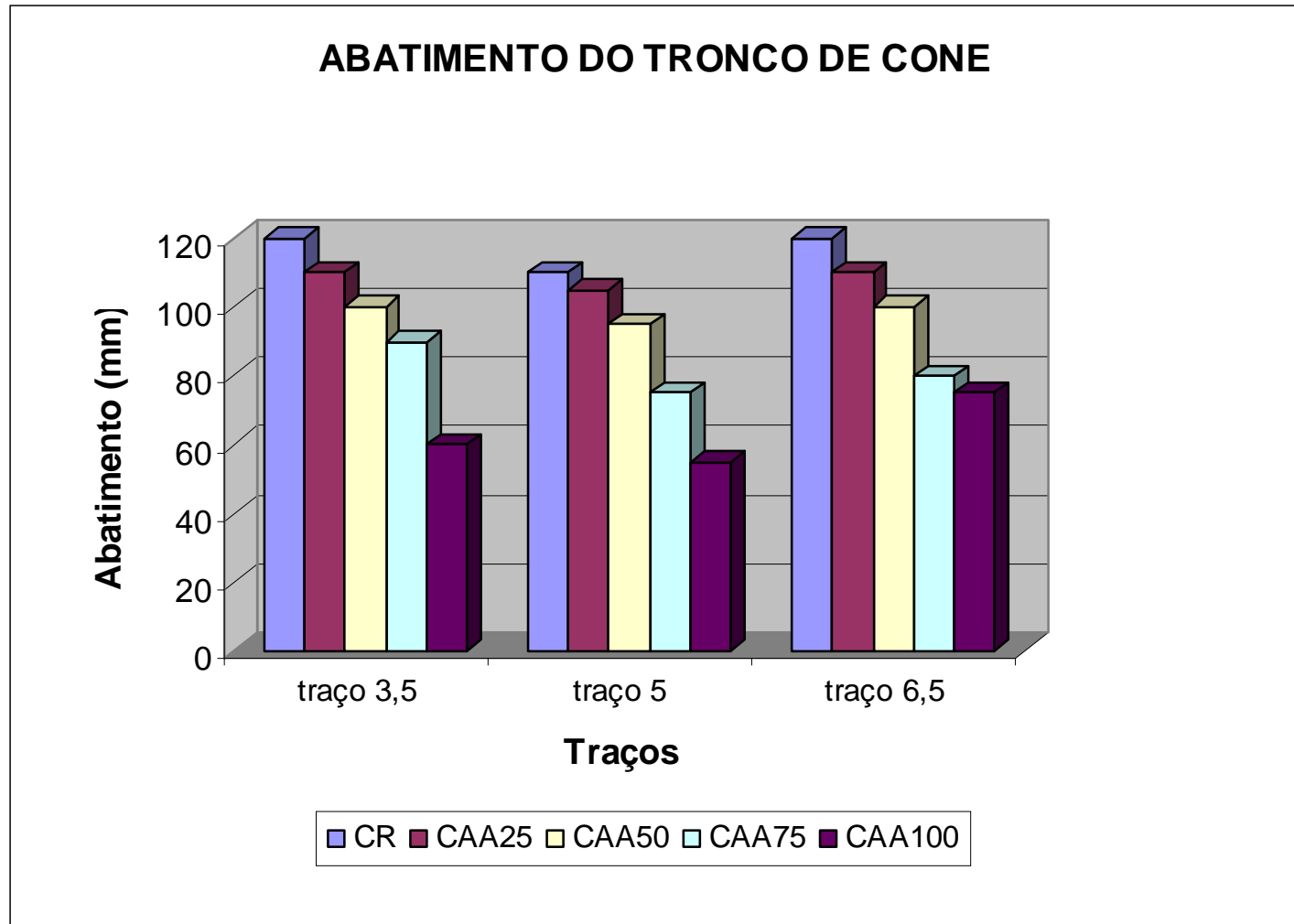




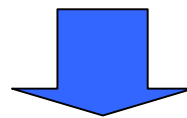
CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO FRESCO

Nº da Mistura	m	Composição	Relação	Abatimento (mm)	Teor de Ar Incorporado (%)	Massa Específica (kg/m ³)	
1	3,5	CR	↑ slump	120	2,5	2230	
2	3,5	CAA25		110	2,0	2245	
3	3,5	CAA50		0,5	100	1,8	2265
4	3,5	CAA75		0,5	90	1,7	2250
5	3,5	CAA100		0,5	80	1,6	2257
6	5,0	CR	0,63	110	2,5	2222	
7	5,0	CAA25	0,63	105	1,7	2227	
8	5,0	CAA50	0,63	95	1,6	2245	
9	5,0	CAA75	0,63	75	↑ teor de ar → ↑ massa esp	2252	
10	5,0	CAA100	0,63	75		2265	
11	6,5	CR	0,79	↑ teor de ar		1,9	2210
12	6,5	CAA25	0,79			1,9	2230
13	6,5	CAA50	0,79			100	1,7
14	6,5	CAA75	0,79		80	1,6	2255
15	6,5	CAA100	0,79		75	1,4	2248

CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO FRESCO

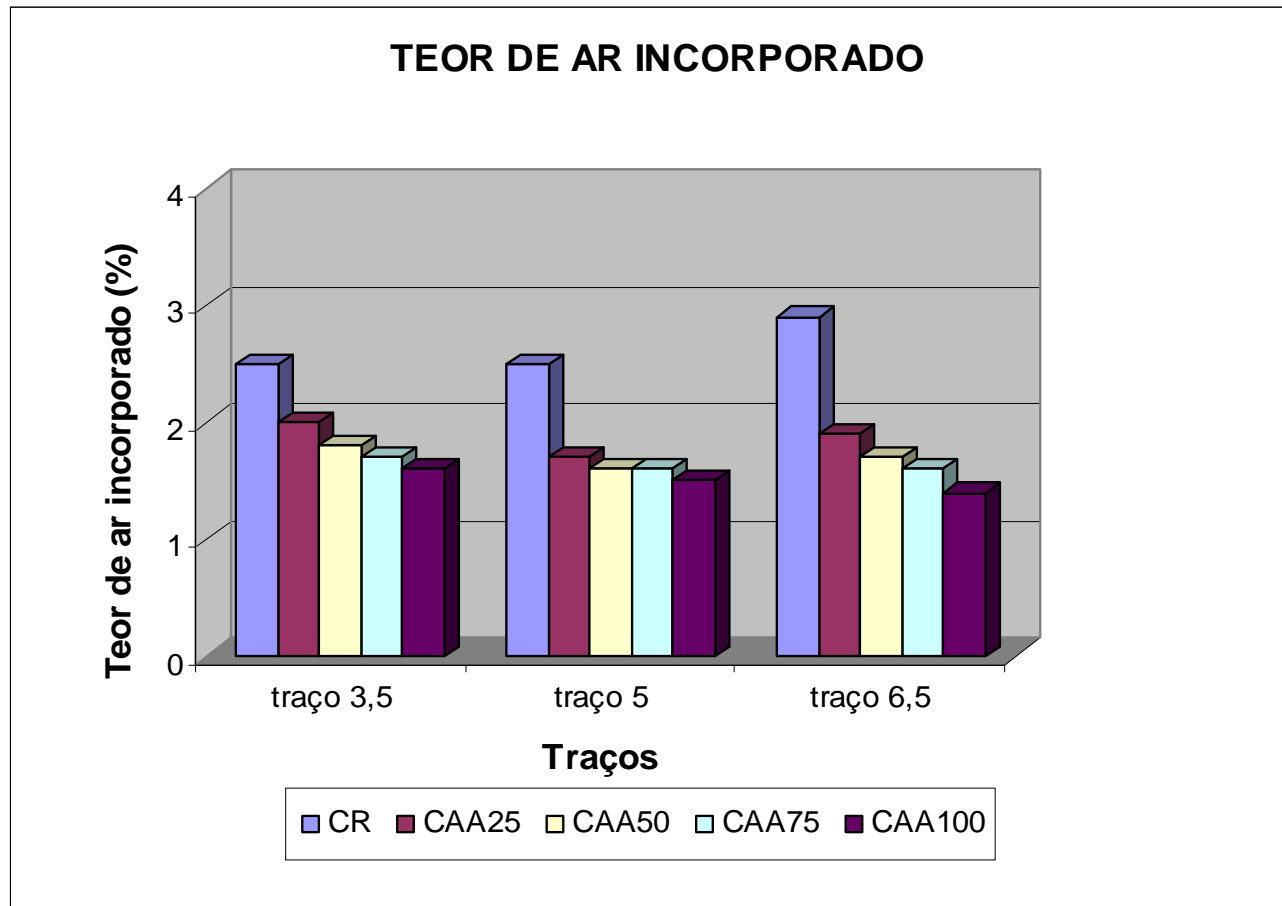


» Perda de 50%, nos traços 1:3,5 e 1:5,0.

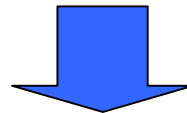


Acréscimo de finos e a forma do grão de AA.

CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO FRESCO

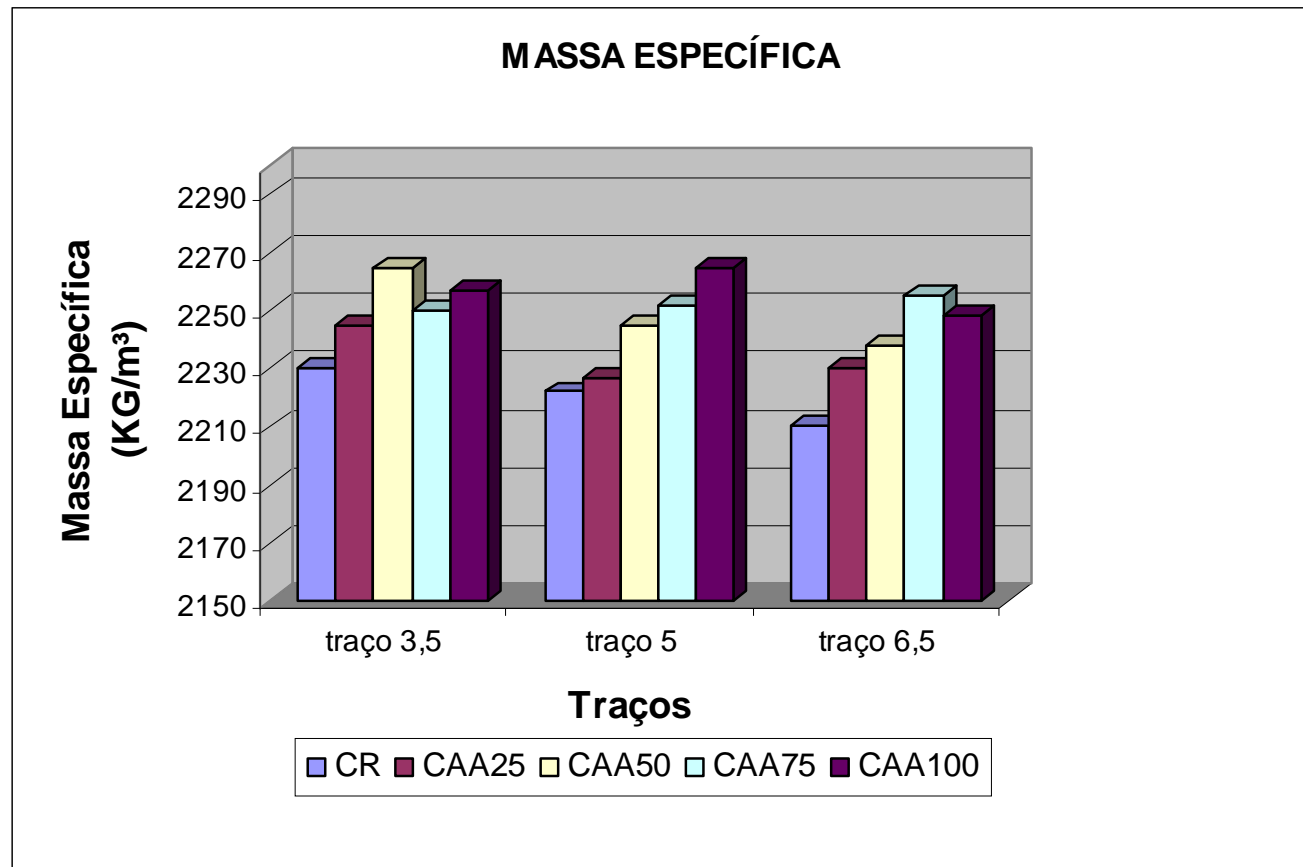


» Redução média de 43%.



Rearranjo, preenchendo, assim, os espaços vazios da mistura.

CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO FRESCO

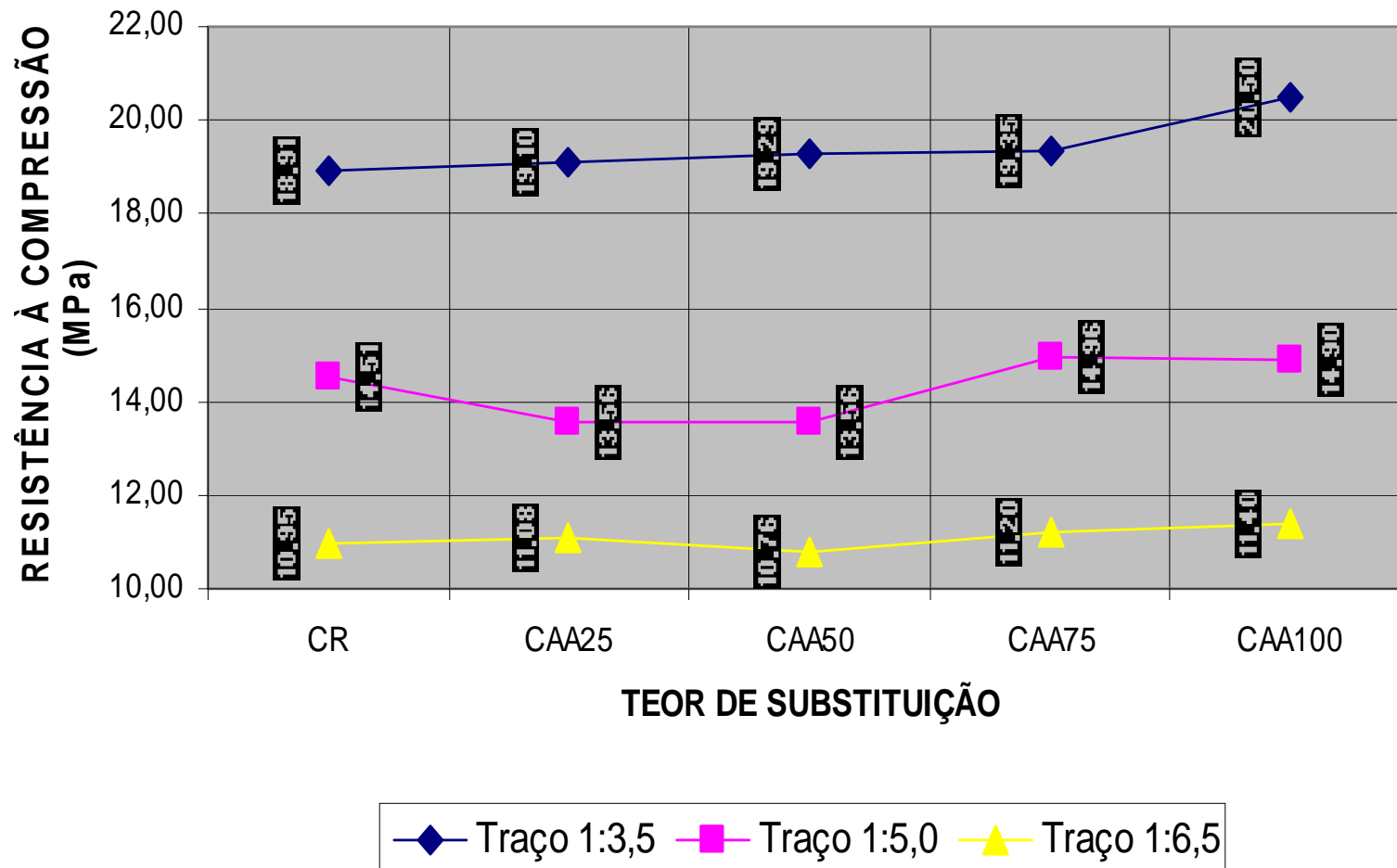


» **Maior massa específica do AA => maior massa específica para os concretos.**

CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

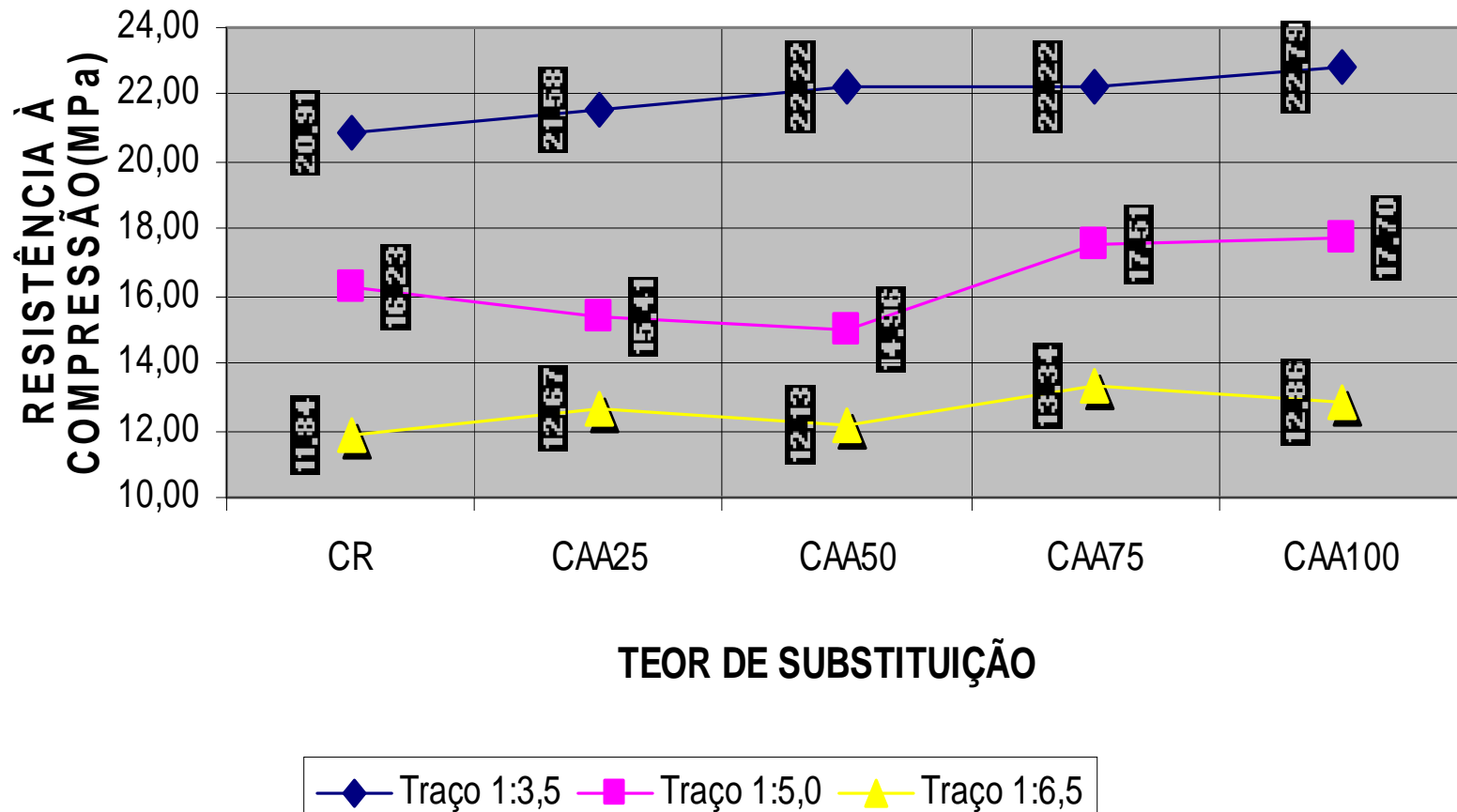
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 7 DIAS



CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

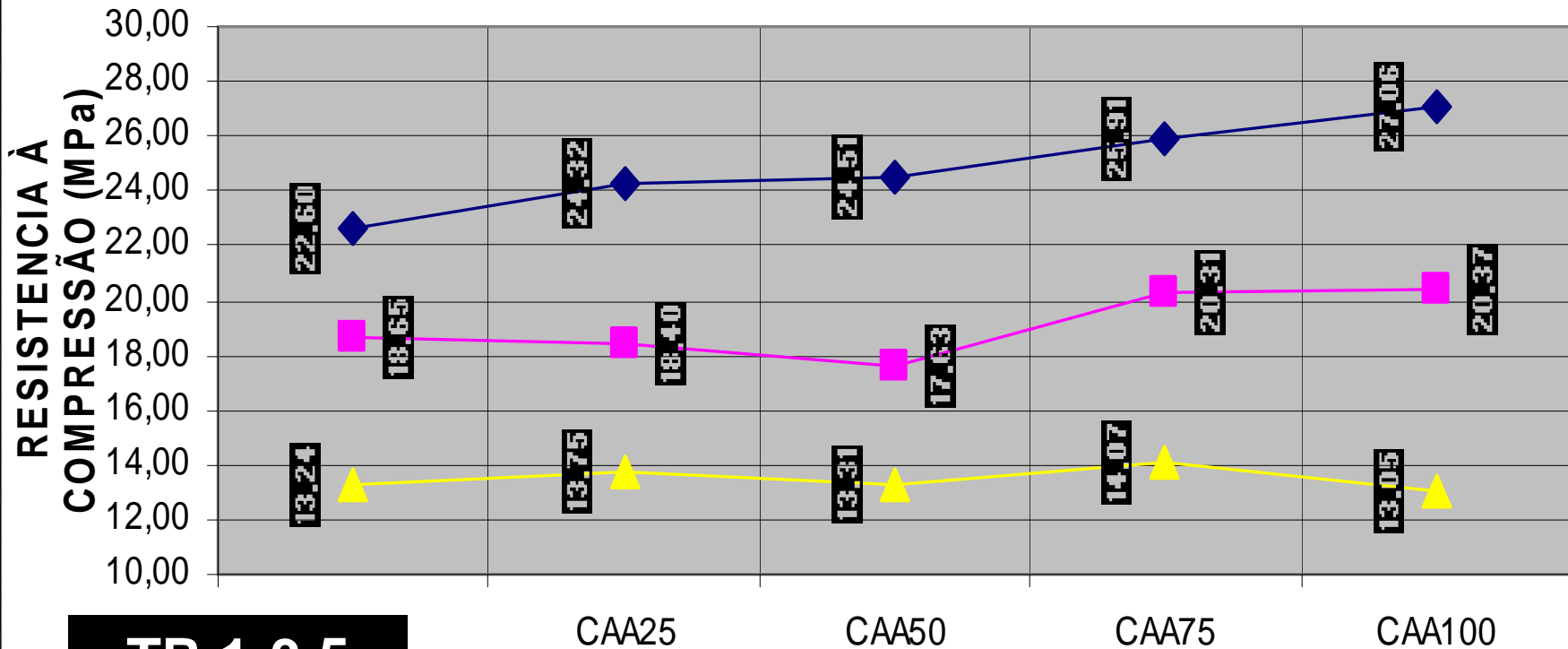
RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS



CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 56 DIAS



TR 1;3,5

↑ 19,72%

TEOR DE SUBSTITUIÇÃO

◆ Traço 1:3,5 ■ Traço 1:5 ▲ Traço 1:6,5



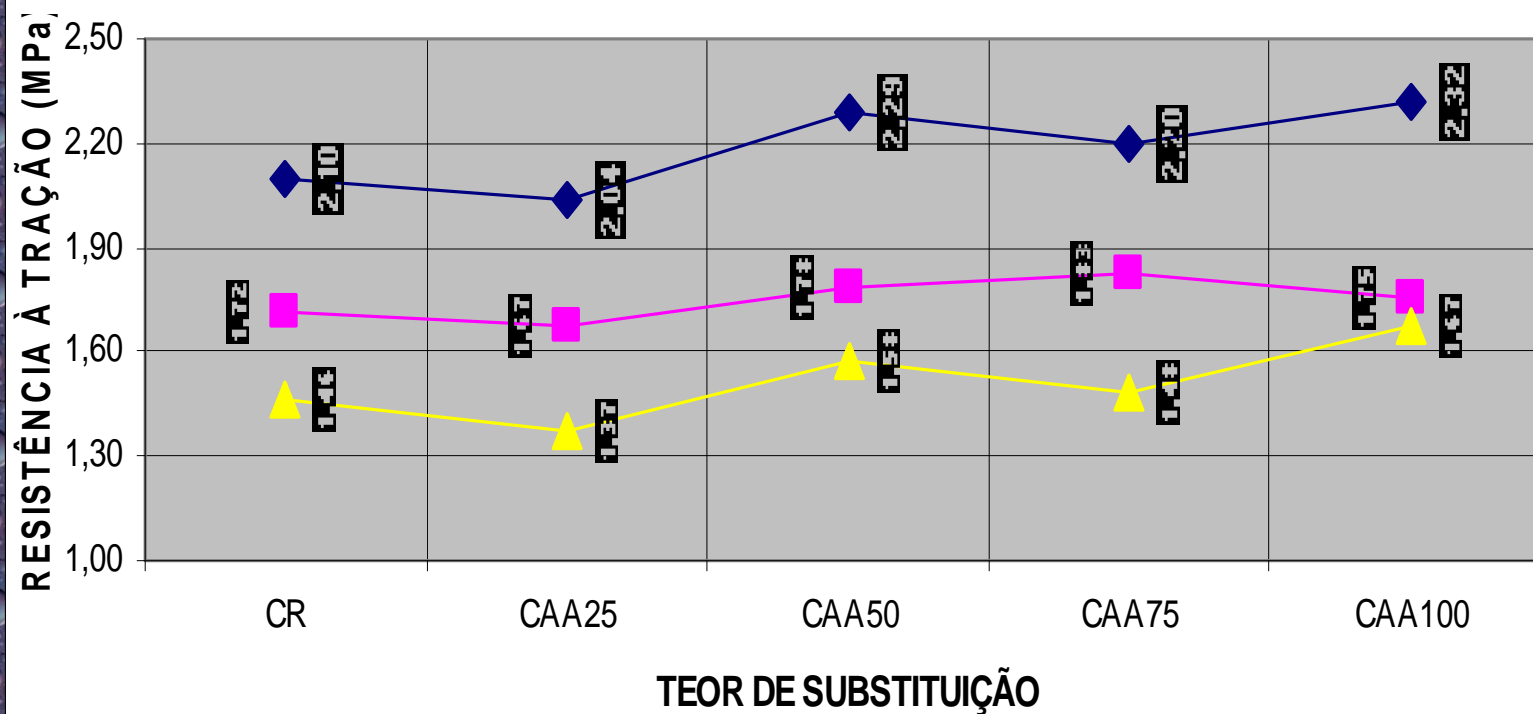
CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

- » Para o concreto 1:3,5 aos 56 dias, comprovou-se a tendência de crescimento contínuo da resistência à compressão à medida que se aumenta a quantidade de AA.
- » O material pulverulento (dentro de certos limites) pode contribuir para preencher os vazios, influenciando para que o cimento envolva melhor os grãos dos agregados, diminuindo a porosidade e aumentando a resistência do concreto .

CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO RESULTADOS DA TRAÇÃO POR COMP. DIAMETRAL

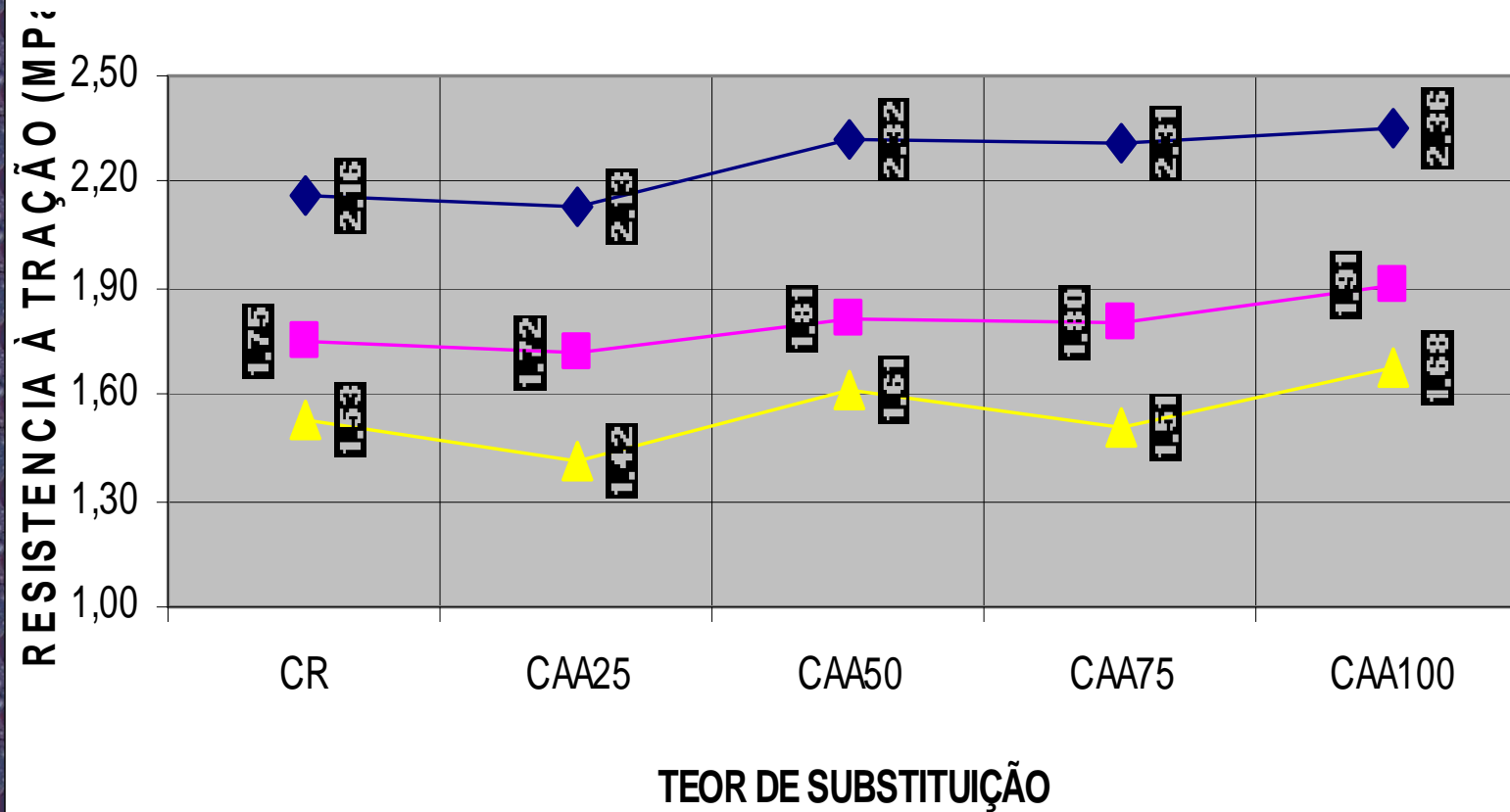
RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 7 DIAS



◆ Traço 1:3,5 ■ Traço 1:5 ▲ Traço 1:6,5

CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO RESULTADOS DA TRAÇÃO POR COMP. DIAMETRAL

RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS



◆ Traço 1:3,5 ■ Traço 1:5 ▲ Traço 1:6,5



CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

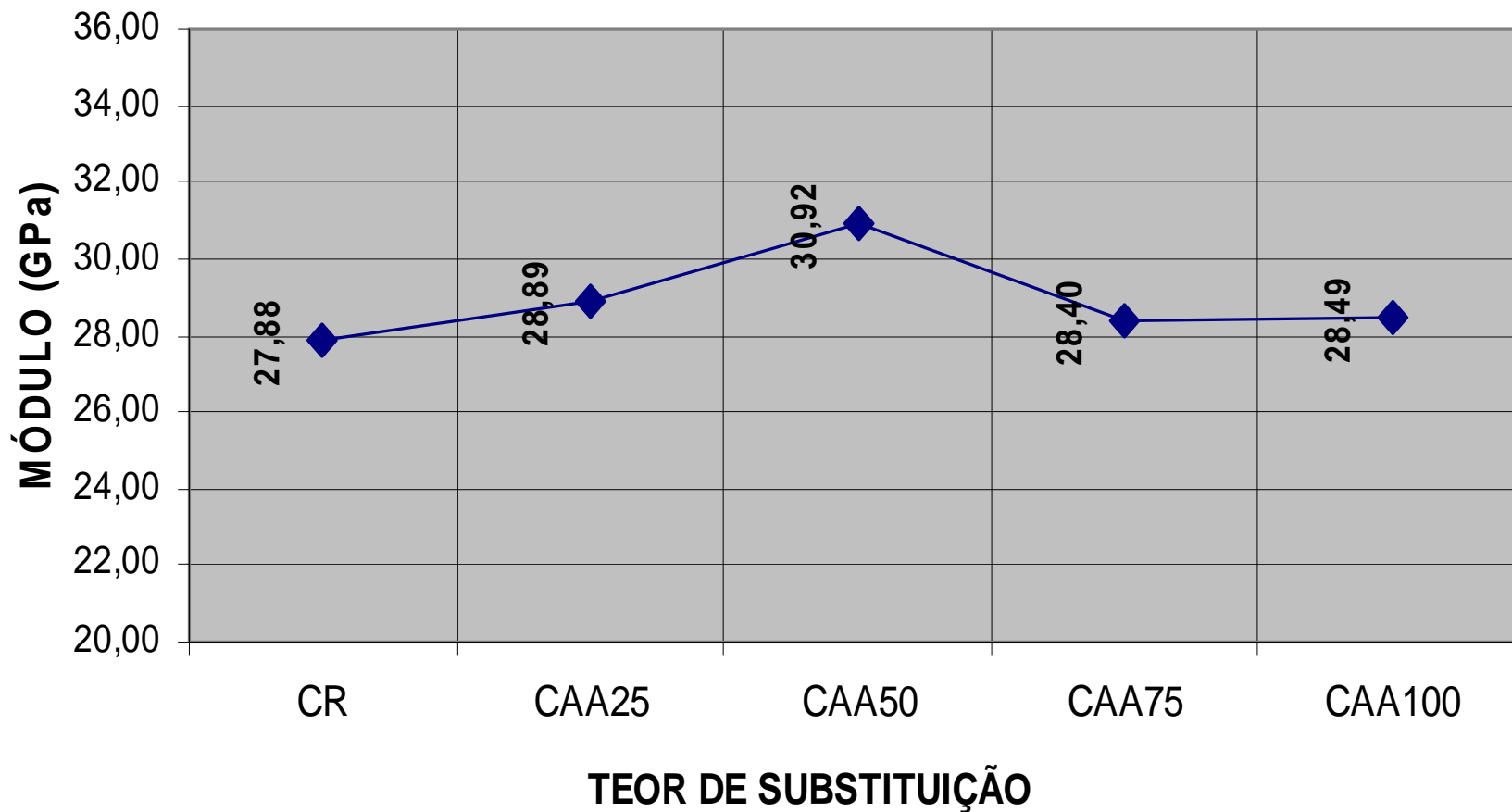
» Para o traço rico (1:3,5), os resultados demonstram que há uma leve tendência em aumentar suas resistências à tração à medida que se aumenta as proporções de substituição, porém, com pequenas oscilações.

CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

RESULTADOS DE MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

ANÁLISE DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

MÓDULO DE DEFORMAÇÃO - TRAÇO 1:3,5





CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

ANÁLISE DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO

» Para os concretos de traço 1:3,5, os resultados apresentados de módulo foram maiores, entre 1,86% a 10,90% .

» Razões:

- a massa específica maior dos agregados alternativos;

- a forma e a textura dos agregados miúdos de rocha que condicionaram um intertravamento;

- os vazios (poros na matriz) que foram aparentemente reduzidos pelo efeito empocatamento, proveniente dos finos.

CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

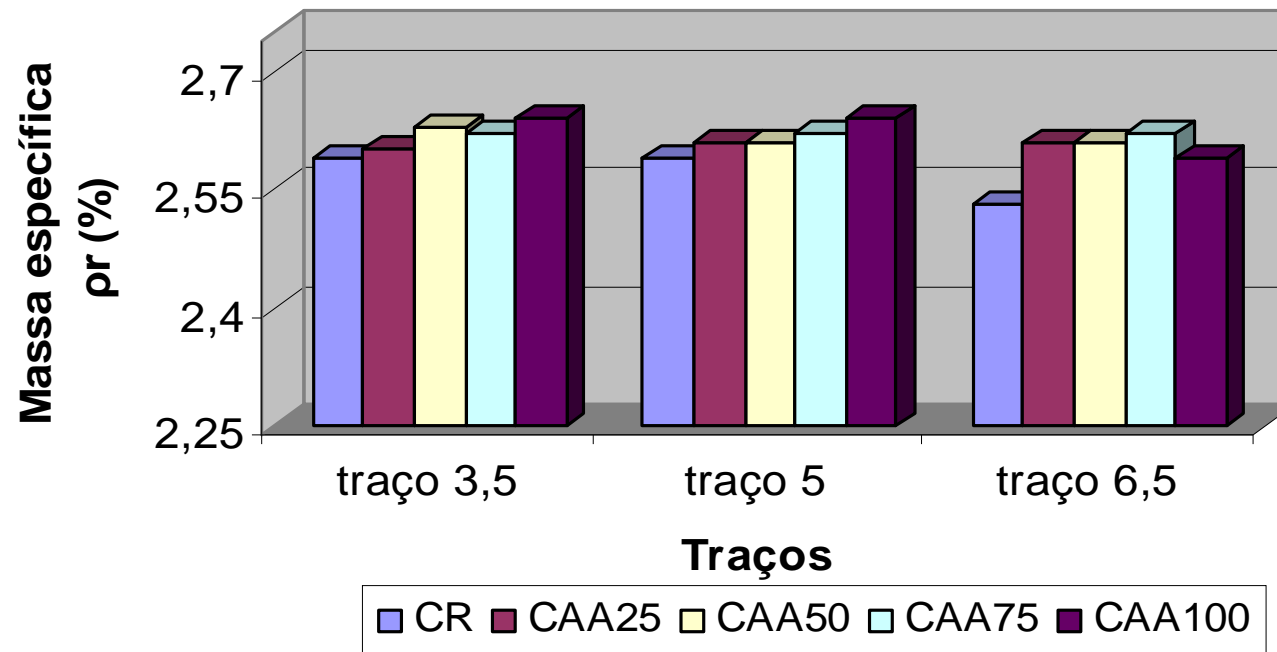
ENSAIOS DE ABSORÇÃO

Tabela 5.15 – Valores de absorção, índice de vazios e massa específica.

Nº DA MISTURA	m	Composição	Absorção Média A (%)	Índice de Vazios Médio I_v (%)	Massa Específica Real Média ρ_r (%)
1	3,5	CR	6,52	14,42	2,59
2	3,5	CAA25	6,63	14,70	2,60
3	3,5	CAA50	7,00	15,57	2,63
4	3,5	CAA75	6,92	15,34	2,62
5	3,5	CAA100	7,66	16,85	2,64
6	5,0	CR	7,01	15,35	2,59
7	5,0	CAA25	6,43	14,35	2,61
8	5,0	CAA50	6,85	15,18	2,61
9	5,0	CAA75	6,77	15,07	2,62
10	5,0	CAA100	7,45	16,44	2,64
11	6,5	CR	5,58	12,33	2,53
12	6,5	CAA25	6,98	15,40	2,61
13	6,5	CAA50	6,71	14,88	2,61
14	6,5	CAA75	6,73	14,98	2,62
15	6,5	CAA100	7,24	15,80	2,59

CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO ENSAIOS DE ABSORÇÃO

AVALIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA REAL MÉDIA





CAP 05 – CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

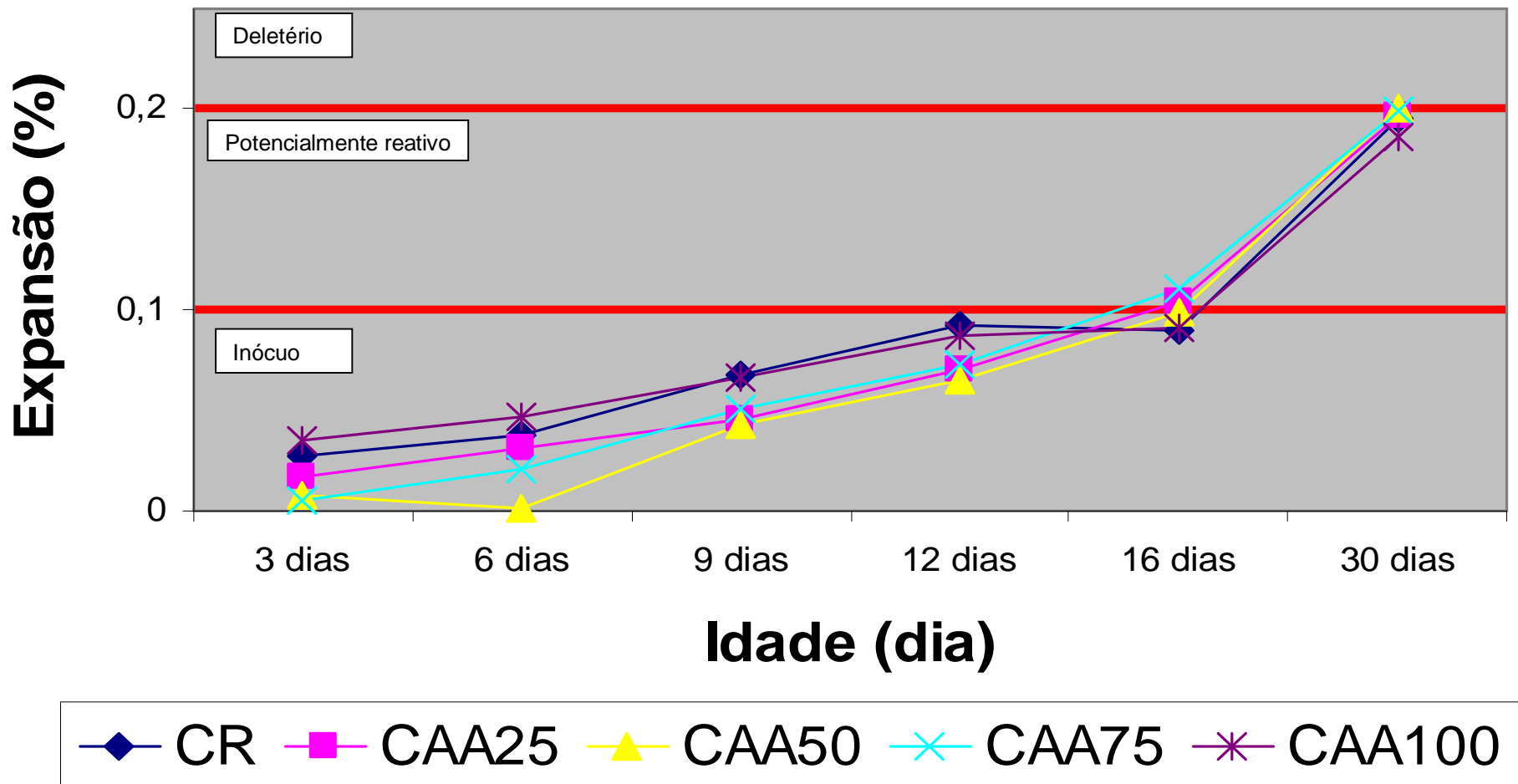
ANÁLISE DA ABSORÇÃO

- » Para todos os traços, os **índices de vazios** são maiores para concretos CAA100 em relação ao CR, contrariando os estudos de alguns.

- » Ocorre uma inversão dos valores obtidos de **absorção**, pois, de acordo com Bastos (2002), à medida que se aumentam os teores de substituição de AN por AA o índice de absorção tende a reduzir.

CAP 05 – RAA
REATIVIDADE POTENCIAL

Reatividade Potencial





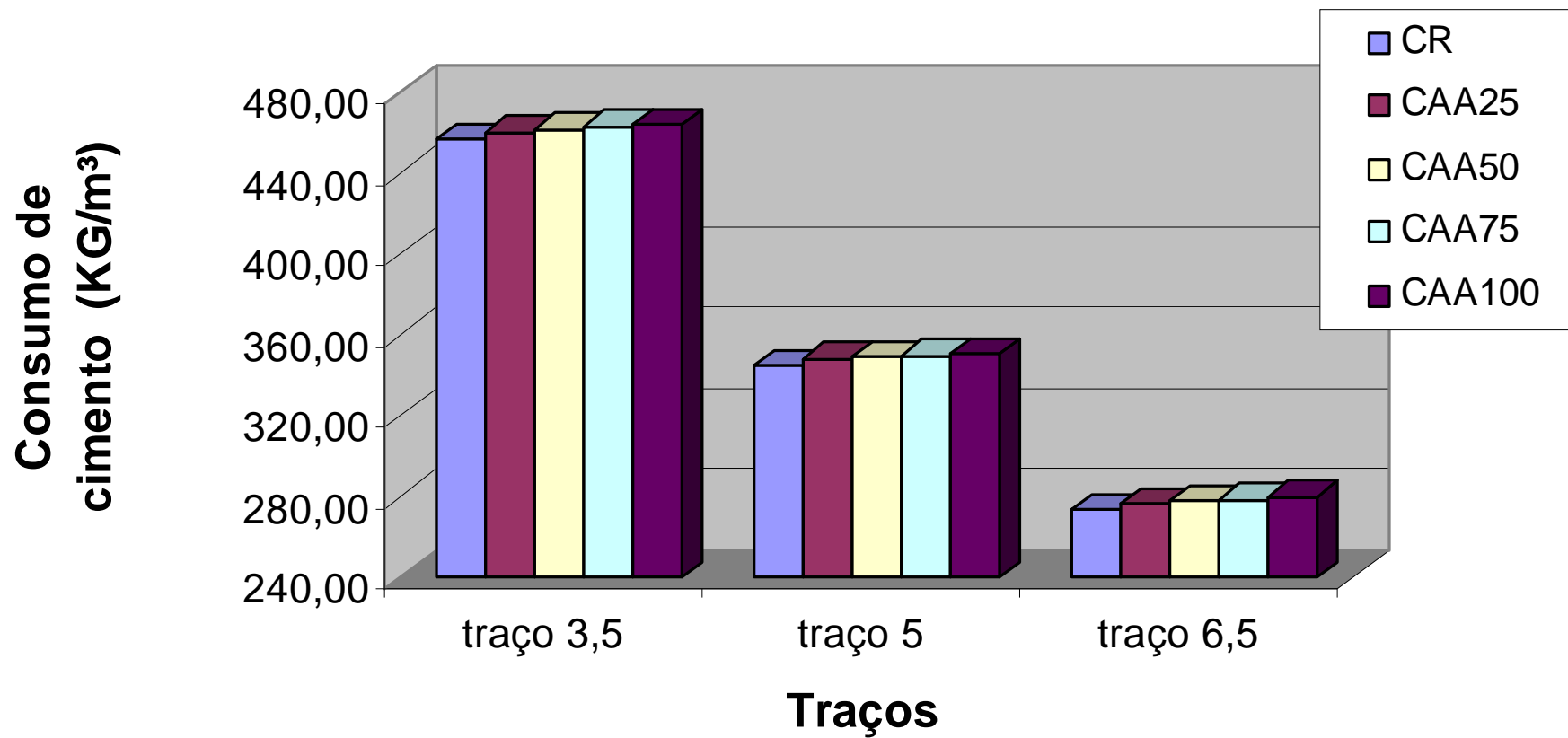
CAP 05 – RAA

ANÁLISE DA REATIVIDADE

» Aos 16 dias, com exceção da expansão da argamassa feita com o CAA75, todas as demais expansões foram $\leq 0,1\%$.

CAP 05 – VIABILIDADE

AVALIAÇÃO DO CONSUMO DE CIMENTO





CAP 05 – VIABILIDADE

ANÁLISE DA VIABILIDADE

» O concreto com AA no traço 1:6,5 apresentou uma economia de 8,99%, mesmo tendo um aumento de 2,42% no consumo de cimento.



***CAP 06 – CONSIDERAÇÕES
FINAIS***



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

QUANTO AS CARACTERIZAÇÕES

- » Tanto a areia natural como a areia artificial utilizados nesta pesquisa possuem boa distribuição granulométrica.
- » A areia natural apresentou um coeficiente de inchamento menor.
- » A areia natural apresentou uma absorção de água maior.
- » AA c/ alto teor de materiais pulverulentos de 11,4%, contra 1,2% da AN.
- » O teor de cloretos da areia natural apresentou-se acima do limite.



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

QUANTO AS CARACTERIZAÇÕES

» A areia artificial apresentou grãos com grau de esfericidade baixo, grau de arredondamento do tipo subanguloso, forma das partículas do tipo lamelar e textura superficial do tipo áspera.

» Os grãos de AN apresentaram grau de esfericidade alto, grau de arredondamento do tipo anguloso, forma das partículas do tipo arredondando, levemente irregular e textura superficial do tipo granulosa.



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

QUANTO ÀS DOSAGENS

» Os concretos estudados atendem as leis de Abrams, Molinari e Lyse.



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

QUANTO ÀS PROPRIEDADES NO ESTADO FRESCO

- » A trabalhabilidade verificada nos concretos permitiu concluir que houve uma significativa redução do abatimento do tronco de cone. Isto deve-se a forma lamelar e a grande quantidade de finos da areia artificial.

- » Tal fator evidencia a necessidade do uso apenas parcial da areia alternativa. Em porções de 25 a 75%.



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

QUANTO ÀS PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

» Foi verificado que em todas as idades, para o traço 1:3,5, houve aumento da resistência à medida que se aumentava a proporção de substituição. devido à presença de finos e, conseqüentemente, devido ao efeito filler. Outro fator determinante: grãos de AA apresentaram-se mais rugosos, proporcionando maior aderência mecânica.

» Conclui-se que a substituição dos agregados não causou prejuízos ou ganhos na resistência à tração por compressão diametral dos concretos estudados.

» Módulo de deformação indicam que os concretos produzidos com areia artificial apresentaram resultados maiores de módulo somente na família de traços 1:3,5.



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

QUANTO ÀS PROPRIEDADES NO ESTADO ENDURECIDO

» O índice de vazios e a absorção média de todos os resultados ficaram abaixo do limite estabelecido por alguns autores para o concreto ser considerado de boa qualidade.

» Aos 16 dias verifica-se que, com exceção da expansão da argamassa feita com o CAA75, todas as demais expansões foram $\leq 0,1\%$ o que indica que os agregados miúdos avaliados, bem como suas composições, se apresentaram como inócuas.



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

QUANTO À VAIBILIDADE ECONÔMICA

» Verificou-se um custo 8,99% mais econômico em relação ao concreto CR, e esta foi a maior economia verificada entre todos os concretos analisados. Portanto, não existe uma variação expressiva dos custos na atual situação de preço de mercado.



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

QUANTO AO MEIO AMBIENTE

- » As empresas sérias que utilizam o processo de extração correto operam com **equipamentos de extração móveis**, circulando pelos leitos dos mananciais, finalizando os depósitos submersos e retornando no ano seguinte, ou mesmo antes, aos locais que estarão **com depósitos recarregados, cuja recarga se dá por processos naturais.**
- » Práticas de revegetação.



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- » Analisar, em grande escala de amostragem, os efeitos do teor de material pulverulento na influência da resistência à compressão.
- » Realizar estudos sobre concretos produzidos com uso de aditivo plastificante, visando melhorar sua plasticidade e o consumo de cimento, bem como o de aditivo retardador de pega para produção de concretos em larga escala.
- » Estudar o efeito fíller, a sua ocorrência, a sua proporção e qual a parcela de responsabilidade desse efeito na melhoria da resistência à compressão.



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

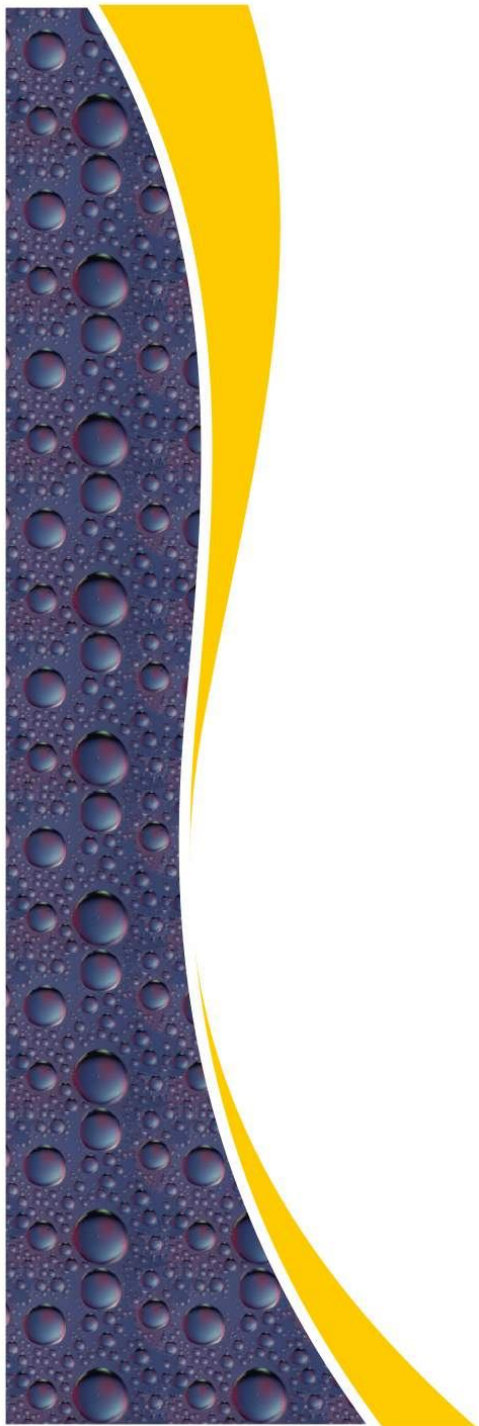
- » Avaliar aspectos referentes à durabilidade dos concretos com areia artificial, tal como a resistência à carbonatação e à penetração de cloretos.
- » Verificar o comportamento de argamassas produzidas com areia artificial para assentamento e revestiment.
- » Realizar estudos sobre a utilização da areia artificial em concretos de alto desempenho (CAD), tais como os de alta resistência (CAR) e auto-adensáveis (CAA).



CAP 06 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- » Realizar ensaios complementares de RAA, como por exemplo, Análises Petrográficas e de Microscopia Estereoscópica para melhor avaliar a reatividade das areias artificiais e naturais.



AGRADECIMENTOS



***E A CAMINHADA
CONTINUA...***

BIBLIOGRAFIA

- NBR 5739: Concreto – ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1994-a.
- _____. NBR 7584: Concreto endurecido – avaliação da dureza superficial pelo esclerômetro de reflexão: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1995.
- ANDRADE, E. F. R. et al. Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo. São Paulo: Pini, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto: procedimento. Rio de Janeiro, 1994.
- BASTOS, P. K. X.; CINCOTTO, M. A. Retração de compósitos à base de cimento. 2000. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/arquivos/rev25a.pdf>. Acesso em 09 mai. 2002.
- BAUER, L. A. F. Materiais de construção. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987. 435 p.
- BEER, F. P.; JOHNSTON Jr, E. R. J. Resistência dos Materiais. 3. ed. São Paulo: MAKRON Books do Brasil Editora Ltda, 1995. 1255 p.
- BERTOLO, L. A. Um manual de estatística. 2001. Disponível em: http://intermega.com.br/lbertolo/StatFile/Manual_Estatistica.htm. Acesso em 20 abr. 2003.
- MALHOTRA, V. M. Nondestructive tests. In: KLIEGER, P; LAMOND, J. F. Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials. 4. ed. Fredericksburg: American Society for Testing and Materials, 1994.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. Concreto: propriedades e materiais. São Paulo: Pini, 1994.
- MENEGHETTI, L. C. Avaliação da resistência à compressão de concretos nas primeiras idades através do ultra-som. 1999. 163 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITCIN, P. C. **Concreto de alto desempenho**. 1. ed. São Paulo: Pini, 2000.

ALMEIDA, S. L. M.; SILVA, V. S. **Areia artificial: Uma alternativa econômica e ambiental para o mercado nacional de agregados**. In: II SUFFIB - SENINÁRIO: o Uso da Fração Fina da Britagem. 2005. São Paulo. **Artigos em CDROM**. São Paulo, 2005.

ALONSO, C.; ANDRADE, C.; CASTELLOTE, M.; CASTRO, P. Chloride threshold values to depassivate reinforcing bars embedded in a standardized OPC mortar. *Cement and Concrete Research*. v. 30. p. 1047-1055, 2000.

ALVES, J. D. **Materiais de Construção**. Goiânia: UFG/CEFET, 1999. 298P.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS

_____. ASTM C-289: **Standard test method for potencial alkali-silica reactivity of aggregates (chemical method)**. Philadelphia, 1997. section 4 (Construction), v. 04.02 (Concrete and Aggregates), p.156-162.

_____. ASTM C-295/9a: **Standard guide for petrographic examination of aggregates for concrete**. Philadelphia, 1997. section 4 (Construction), v. 04.02 (Concrete and Aggregates), p.173-180.

_____. ASTM C-1260: **Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method)**. section 4 (Construction), v. 04.02 (Concrete and Aggregates), p.647-650. West Conshohocken, 2001.

_____. ASTM C-1567: **Standard test method for determining the potential alkali-silica reactivity of combinations of cementitious materials and aggregate (accelerated mortar-bar method)**. West Conshohocken, 2004.

ANDRIOLO, F.R. **Construções de Concreto: Manual de Práticas para Controle e Execução**. São Paulo, Pini, 1984, 738p.

ANEPAC – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE ENTIDADES PRODUTORAS DE AGREGADOS PARA CONSTRUÇÃO CIVIL - **DNPM/DIRIN, 2000**

ANDRIOLO, F. R.; SGARBOSA, B. C. **Inspeção e controle de qualidade do concreto**. São Paulo: Newswork, 1993.

ANDRADE, P. W. et alii, **Concretos – Massa, Estrutural, Projetado e Compactado com Rolo**. São Paulo: Pini, 1997

ANDRADE, T.; (1); SILVA, J. J. R.; HASPARYK, N. P.; SILVA, C. M. **Investigação do potencial de reatividade para o desenvolvimento de RAA dos agregados miúdos e graúdos comercializados na região metropolitana do Recife**. In: II SIMPÓSIO SOBRE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO., Setembro /2006 IBRACON.

AREIA & BRITA. **Mercado produtor de brita de Goiânia**. São Paulo: ANEPAC. n. 42, p. 8-12, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: **Concreto procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.

_____.NBR 5739: **Concreto: ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 1994a.

_____.NBR 6118: **Projeto de estruturas de concreto: procedimento.** Rio de Janeiro, 2003.

_____.NBR 6467: **Agregados: Determinação do inchamento de agregado miúdo.** Rio de Janeiro, 1987a.

_____.NBR 6954 (MB 894): **Lastro Padrão – Determinação da Forma do Material.** 1989.

_____.NBR 7211: **Agregados para concreto – Especificação.** Rio de Janeiro, 2005.

_____.NBR 7218: **Agregados – determinação do teor de argila em torrões e materiais friáveis.** Rio de Janeiro. 1987b.

_____.NBR 7222: **Argamassa e concreto: determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 1994b.

_____.NBR 7223: **Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone.** Rio de Janeiro, 1982a.

_____. NBR 7251: **Agregado em estado solto – determinação da massa unitária – método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1982b.

_____.NBR 7389: **Apreciação petrográfica de materiais naturais, para utilização como agregado em concreto.** Rio de Janeiro, 1992a.

_____. NBR 8522: **Concreto: determinação do módulo de deformação estática e diagrama - tensão-deformação.** Rio de Janeiro, 1984.

_____.NBR 9773: **Agregado: Reatividade potencial de álcalis em combinações cimento-agregado.** Rio de Janeiro, 1987c.

_____.NBR 9774: **Agregado: Verificação da reatividade potencial pelo método químico.** Rio do Janeiro, 1987d.

_____.NBR 9778: **Argamassa e concreto endurecidos: determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica.** Rio de Janeiro, 1987e.

_____.NBR 9833: **Concreto fresco – Determinação da massa específica e do teor de ar pelo método gravimétrico.** Rio de Janeiro, 1987f.

_____.NBR 9917:**Agregados para concreto – determinação de sais, cloretos e sulfatos solúveis: método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1987g.

_____.NBR 9935: **Agregados para concreto – Terminologias.** Rio de Janeiro, 2005.

_____.NBR 12.654: **Controle tecnológico de materiais componentes do concreto.** Rio de Janeiro, 1992b.

BASÍLIO, Eduardo Santos. **Agregados para concreto. Estudo Técnico No. 41.** 3.e.ver.atual. São Paulo: ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland, fev. 1995. 44p.

BASTOS, P. K. X.; NETO, F. A.; CARVALHO, C. H.; CARROS, C. E. P. **Argamassas de revestimento compostas com areia de brita – A experiência de Juiz de Fora / MG.** In: II SUFFIB - SENINÁRIO: o Uso da Fração Fina da Britagem. 2005. São Paulo. **Artigos em CDROM.** São Paulo, 2005

BASTOS, S. R. B. **Uso da areia artificial basáltica em substituição parcial à areia fina para produção de concretos convencionais.** Dissertação de Mestrado. UFSC. 2002. 119 p.

BAUER, L. A. F. **Materiais de construção.** 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1987. 435 p.

BEER, F. P.; JOHNSTON Jr, E. R. J. **Resistência dos Materiais.** 3. ed. São Paulo: MAKRON Books do Brasil Editora Ltda, 1995. 1255 f.

BICZOK, I. **Corrosion y proteccion del hormigon.** Bilbao/España: Ediciones Urmo, 1972. p.275-280. Trad. de Emilio J. d'Ocon Asensi.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **Testing aggregates. Methods for determination of particle size and shape.** BS 812: Part 1, London, 1975.

CALLISTER, W. D. **Ciências e engenharia de materiais: uma introdução.** 5. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2002. 589 p.

CAMPOS, C. **Considerações sobre o controle tecnológico do concreto.** REVISTA CENG – CLUBE DE NOTÍCIAS. Goiânia, nº 107, p.22-23, 2007.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e terapia do concreto armado.** São Paulo: Pini, 1988, 522p.

CÁNOVAS, M. F. **Hormigon.** Madrid: Colegio de ingenieros de caminos, canales y puertos, 1996.

CARNEIRO, A. M. P. **Contribuição ao estudo da influência do agregado nas propriedades de argamassas compostas a partir de curvas granulométricas.** São Paulo, 1999. 203 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CARNEIRO, A. M. P.; CINCOTTO, M. A.; JOHN, VANDERLEY M. A massa unitária da areia como parâmetro de análise das características de argamassa. **Ambiente Construído**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 37-44, jul/dez. 1997.

CHAVES, A. P., **Estado da arte da produção de areia artificial.** In: II SUFFIB - SENINÁRIO: o Uso da Fração Fina da Britagem. 2005. São Paulo. **Artigos em CDROM.** São Paulo, 2005.

CINCOTTO, M. A.; SILVA, M. A. C.; CASCUDO, H. C. **Argamassas de revestimento: características, propriedades e métodos de ensaio.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1995. Boletim Técnico n. 68.

COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso futuro comum.** 2. Ed., Fundação Getulio Vargas. Rio de Janeiro - RJ, 1991.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL du BETÓN. **CEB Design Guide.** Paris: CEB, 1989. (Bulletin D'Information n. 192).

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Resolução 307 (2002).**
CUCHIERATO, G.; SBRIGHI, C. N.; QUITETE, B. E., **A revisão das normas ABNT de agregados: NBR 7211 e NBR 9935 – Quais as alterações nas terminologias e especificações para os fins de pedreiras.** In: II SUFFIB - SENINÁRIO: o Uso da Fração Fina da Britagem. 2005. São Paulo. **Artigos em CDROM.** São Paulo, 2005.

CUCHIERATO, G., 2000, **Caracterização tecnológica de resíduos da mineração deagregados da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), visando seu**

aproveitamento econômico. Universidade de São Paulo (Dissertação de Mestrado). São Paulo. 201 p.

DAL MOLIN, D. C. C. **Contribuição ao estudo de propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microssílica.** São Paulo, SP. 1995 286p. Dissertação (Tese de doutorado na área de tecnologia de materiais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. **Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba.** Brasília: DNPM, 2001.

DNPM: Departamento Nacional de Produção Mineral. **Relatório de bens minerais no estado de Goiás.** 2003

FERREIRA, Gilda Carneiro & DAITX, E. C. - A mineração de areia industrial na região sul do Brasil. **REM - Revista Escola de Minas. Ouro Preto:** , v.56, n.1, p.59 - 65, 2003.

FIGUEIREDO, E. J. P. **Avaliação do desempenho de Revestimento para proteção da armadura contra a corrosão através de técnicas eletroquímicas – contribuição ao estudo de reparo de estruturas de concreto armado.** Tese (Doutorado). São Paulo, 1994

FIGUEIREDO, E. J. P. **Terapia das construções de concreto – Metodologia de avaliação de sistemas epóxi, destinados a injeção de fissuras passivas das estruturas de concreto.** Dissertação (Mestrado). Porto Alegre, 1989.

FOSSIL. **Definições e conceitos** [site de geologia]. www.fossil.com.br, 2006. Acesso em: 25 novembro 2006.

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

FRAZÃO, E. B.; CAMPOS, E.; CALAES, G. D.; HERMANN, H. **Agregados para construção civil no Brasil**. Belo Horizonte: ANEPAC. 2007. 233p.

FURNAS Centrais Elétricas S.A. **Relatório DCT.T.01.000.2005-R0**: Departamento de Apoio e Controle Técnico Laboratório de Concreto. p. 1-12, 2005.

FURNAS Centrais Elétricas S.A. **Relatório DCT.T.0529.2005-R0**: Departamento de Apoio e Controle Técnico Laboratório de Concreto. p. 1-12, 2005.

GEOCITIES. **Definições e conceitos** [site de geologia]. www.GEOCITIES.com.br, 2006. Acesso em: 30 novembro 2006.

Gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res02/res30702.html>>. Acesso em 29 abr. 2005.

GIAMUSSO, S. E. **Manual do Concreto**. São Paulo, 1992.

HASPARYK, N. P. **Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado – efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, Goiânia, 1999. 257p.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado**. São Paulo, 1993, p. 231. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

HELENE, P. R. L.; TERZIAN, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. São Paulo: Pini; Brasília: SENAI, 1992.

HOLANDA, A. B. de. **Dicionário Aurélio básico da língua portuguesa**. 1ª Ed. RJ, 1988.

HOLCIM. **Catálogo de produtos. Maquinários, suprimentos e logísticas**. www.holcim.com.br, 2007. Acesso em: 9 julho 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS S.A. **Mineração e município: manual para planejamento e gestão da atividade de mineração**. São Paulo, 2001. p. 39-46, 67-138. (Relatório IPT, 55.955)

ISHIKAWA, P. H. **Propriedades de argamassas de assentamento produzidas com areia artificial para alvenaria estrutural**. Dissertação de Mestrado. UNICAMP-Campinas, 2003.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção: Uma contribuição a metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. (Tese de Livre Docência) Escola Politécnica, USP, 2000.

JOHN, V. M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de escórias de alto-forno no Brasil**. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO/RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS, 2000, São Paulo. Anais...São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo, 2000. 5p. (cd-rom).

KIHARA, Y. **Reação álcali-agregado: aspectos mineralógicos**. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS**, 1., 1986, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1986. p. 127-138.

LELLES, L. C., GRIFFITH, J. J., MARTINS, S. V. **Perfil ambiental qualitativo da extração de areia em cursos d'água**. Viçosa, 2005. Programa de pós-graduação em ciências florestal da Universidade Federal de Viçosa, 2005.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos.** São Paulo, 1997. 146 p. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1997

MEDEIROS, E. R.; RECKZIEGEL, B. W.; TÁPIA, B. T. **Problemas ambientais decorrentes da extração de areia no Passo do Arenal, Município de Santa Maria.** COBRAC - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, - UFSC – Florianópolis, 2002.

MEHTA, P. K., MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais.** 1 ed. São Paulo, Pini, 1994. 573 p.

MENOSSE, T. R. **Utilização do pedra basáltica em substituição à areia natural do concreto.** 2004. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia do Câmpus da Ilha Solteira, Universidade Estadual de São Paulo, Ilha Solteira, 2004.

METSO. **Catálogo de produtos para processamento de agregados. Maquinários, suprimentos e logísticas.** www.metsominerals.com.br. 2006. Acesso em: 24 julho 2007.

METSO. **Manual de britagem.** Uma publicação Técnica da Metso Minerals. 6º Edição. Sorocaba-SP: 2005. ANEPAC, 2005 cap. 14.

MINERAIS DO PARANÁ S.A – MINEROPAR. **Plano Diretor de Mineração para a Região Metropolitana de Curitiba.** Curitiba: MINEROPAR, 2004. 288 p.

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

MIRANDA, L. F. R.; SELMO, S. M. S. Avaliação de argamassas com entulhos reciclados, por procedimentos racionais de dosagem. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DAS ARGAMASSAS, 3., 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: PPGEC/ANTAC, 1999.v. 1, p. 295-307.

NEVILLE, A. M. **Propriedade do concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 1997.

NORMA MERCOSUL - NBR NM 030: **Agregado miúdo: determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 2001a.

_____.NBR NM 046: **Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75µm por lavagem**. Rio de Janeiro, 2003a.

_____.NBR NM 049: **Agregado miúdo – Determinação de impurezas orgânicas**. Rio de Janeiro, 2001b.

_____.NBR NM 052: **Agregado miúdo: determinação da massa específica e massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 2003b.

_____.NBR NM 053: **Agregado graúdo – determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água**. Rio de Janeiro, 2003c.

_____.NBR NM 248: **Agregados: determinação da composição granulométrica**. Rio de Janeiro, 2003d.

OHASHI, T. **Areia de brita: Histórico e Evolução**. AREIA & BRITA - ANEPAC, São Paulo, EMC, nº 34, p. 19-24, 2006.

PATON, W. J. **Materiais de construção para engenharia civil**. EPU, Ed. Universidade de São Paulo, SP, 1978.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland**. Porto Alegre: Editora Globo, 1971. 269 p.

PINTO, T. P. De volta à questão do desperdício. **Construção**. São Paulo: Pini, n. 2491, p. 18-19, 1995.

PISSATO, E.; SOARES, L. **Utilização de finos de pedreira em misturas de solo-cimento**. In: II SUFFIB - SENINÁRIO: o Uso da Fração Fina da Britagem. 2005. São Paulo. **Artigos em CDROM**. São Paulo, 2005.

RILEM – Recommendations CPC-18. **Measurement of Hardened Concrete Carbonation Depth. Matériaux et constructions**, RILEM, vol. 21, nov/dec. 1988, p. 453-455.

RODRIGUES, Púlio Penna Firme. **Parâmetros de dosagem do concreto**. São Paulo: ABCP, 1984. 29p.

SALLES, F. M.; ANDRIOLO, F. R.; OLIVEIRA, P. J. R.. Uso de finos de britagem como redutores da expansão devida à reação álcali-agregado. **World TecNet - Tecnologia do Concreto**. São Paulo, v. 1, p 52-67, 1997.

SANTOS, D. R e FIGUEIREDO, E. P. **Propriedades do concreto produzido com agregados graúdo reciclados de resíduos da etapa de produção das alvenarias**. **Construção em Goiás**. n 476, p. 4-11, 2007.

SBRIGHI, C. N. **A Influência da natureza petrográfica da areia britada e seus finos em algumas propriedades do betão**. Lisboa, Tese apresentada no Laboratório Nacional de Engenharia, 1975. 213 p.

SBRIGHI, C. N. **Areia de brita: Histórico e Evolução**. AREIA & BRITA - ANEPAC, São Paulo, EMC, nº 34, p. 19-24, 2006.

SELMO, S. M. S. **Agregado miúdo para argamassas de revestimento.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1986, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Núcleo de Ligação Industrial – EPUSP, 1986, p. 27-43.

SENA, A. M. **Avaliação do comportamento mecânico dos concretos auto-adensáveis em relação aos concretos convencionais.** 2002. 155f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2002.

SENA RODRIGUES, G. S. **Módulo de deformação estático do concreto pelo método ultra-sônico: estudo da correlação e fatores influentes.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2003.

SERVIÇO GEOLÓGICO AMERICANO (USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY) CITADO POR **VALVERDE (2001),**

SILVA, F. G. **Estudo de concretos de alto desempenho frente à ação de cloretos.** Tese de Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais, USP, São Carlos – SP, 2006.

SILVA, O. I. **influência da cinza de casca de arroz amorfa e cristalina e da sílica ativa na reação álcali-agregado.** 2007. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2007.

TÉCHNE, A revista do engenheiro civil. **Minas de entulho.** São Paulo: Pini, n. 15, p. 15-19, 2004.

THOMAZ, Eduardo C. S. **Ensaio de compressão diametral**. IME, São Paulo, 2002. 12p. Notas de aula.

VALVERDE, F. M. **Agregados para construção civil**. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção – ANEPAC, 2003.

VALVERDE, F. M. **Agregados para construção civil. Balanço Mineral Brasileiro**. São Paulo: DNPM, 2001. 15 p.

VAN VLACK, L. H. **Princípios de ciência dos materiais**. 13. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1970. 427 f.

VASCONCELOS, A. C.; GIAMMUSSO, S. E. **O misterioso módulo de elasticidade**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 40., 1998, Rio de Janeiro. Anais. São Paulo: Instituto Brasileiro do Concreto, 1998. CD-ROM – Trabalho_090.

ZORDAN, S. E. **A utilização do entulho como agregado, na confecção do concreto**. Campinas/SP. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual de Campinas. 1997. 156 p. Disponível em: <<http://www.reciclagem.pcc.usp.br/ftp/dissertação%20szordan.pdf>>. Acesso em: 22 agosto 2007.

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)

Cabral, Keillon Oliveira.
C117i Influência da areia artificial oriunda da britagem de rocha granito-
gnaisse nas propriedades do concreto convencional no estado fresco e
endurecido [manuscrito] / Keillon Oliveira Cabral. – 2007.
xx, 259f.: il., figs., tabs.

Orientador: Prof.Dr. Enio José Pazini Figueiredo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola
de Engenharia Civil, 2007.

Bibliografia: f.246-259.
Inclui listas de figuras e de tabelas.
Anexos e apêndices.

1. Concreto convencional 2. Areia-artificial 3. Rocha granito-
gnaisse I. Figueiredo, Enio José Pazini. II. Universidade Federal de
Goiás, **Escola de Engenharia Civil** III. Título.

CDU:691.32