ADAUTO JOSÉ MIRANDA DE LIMA

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO COMO ADIÇÃO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Construção Civil, Curso de Pós-Graduação em Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Mauro Lacerda Santos Filho

CURITIBA
2003

TERMO DE APROVAÇÃO

ADAUTO JOSÉ MIRANDA DE LIMA

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO COMO ADIÇÃO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

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

Orientador: Prof. Dr. Mauro Lacerda Santos Filho
Doutorado Colorado ST, USA
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFPR

Prof. Dr. Kleber Franke Portella
Doutorado Universidade de São Paulo, USP
Pesquisador, LACTEC/UFPR
Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, UFPR

Prof. Dr. Luiz Roberto Prudêncio Júnior
Doutorado Universidade de São Paulo, USP
Departamento de Engenharia Civil, UFSC

Curitiba, 30 de outubro de 2003

A Deus, pela vida.
Aos meus pais,
Moacyr e Genoveva,
pelo exemplo de vida.
A minha esposa Luciane,
Pelo carinho e dedicação.
A Laura, pequena estrela
que chegou para iluminar as nossas vidas.

AGRADECIMENTOS

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram, participaram ou incentivaram o desenvolvimento e a elaboração deste trabalho, expresso aqui os meus sinceros agradecimentos:

Ao Prof. Mauro Lacerda Santos Filho, pelos conhecimentos transmitidos e pela constante disponibilidade, atenção e amizade durante a orientação dos trabalhos.

Aos Professores Kleber Franke Portella e Luiz Roberto Prudêncio Júnior, por aceitarem o convite para participar da banca examinadora de defesa desta dissertação.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, da UFPR, pela amizade e pelo conhecimento transmitido ao longo do curso.

Aos colegas do Departamento Acadêmico de Construção Civil do CEFET/PR, em especial aos Professores Amacin Rodrigues Moreira, Iseu Reichmann Losso, Luiz Carlos Wicnewski, Gilberto Walter Gogola e Silvana Leonita Weber, pela amizade e apoio constantes, ao longo do desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas da Prefeitura Municipal de Curitiba, em especial à Inês Ultramari Hartl, José Renato Hass, Nivaldo Ventura Gomes, José Luis Mesquita e equipe do 1° Distrito Rodoviário Municipal, pelo incentivo e apoio logístico e operacional.

As alunas Cláudia Zanetti, Stela Mara da Nóbrega e Suzane Cecília Bini, por realizarem o estudo piloto, demonstrando a possibilidade de uso do material em estudo.

A empresa Boing Comércio de Metais Ltda, e em especial a Alcemar Boing, pelo apoio e colaboração.

A empresa Brica Sistemas Construtivos Ltda, e em especial a Tecnóloga Izabel de Fátima Meira, pelo acompanhamento da produção dos blocos de concreto.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS		x
LISTA DE TABELAS E PLANILHAS		xv
LISTA DE ABREVIATURAS		xxi
LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS		xxii
RESUMO		xxiii
ABSTRACT		xxiv
1	**INTRODUÇÃO**	1
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2	JUSTIFICATIVA	3
1.3	HIPÓTESES	5
1.4	OBJETIVOS	5
1.4.1	Objetivo Geral	5
1.4.2	Objetivos Específicos	6
1.4.3	Objetivos Secundários	6
1.5	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	6
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	8
2	**CONSIDERAÇÕES SOBRE SUSTENTABILIDADE E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL**	10
2.1	DÉFICIT HABITACIONAL NO BRASIL	10
2.3	HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	13
2.3	A GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL	15
2.4	CONSTRUÇÃO CIVIL , RECICLAGEM E MEIO AMBIENTE	16
2.4.1	Breve Histórico da Reciclagem de Resíduos de Construção	19
2.4.2	A Reciclagem de Resíduos no Brasil	20
2.4.3	Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD)	22
2.5	POTENCIAL DE RECICLABILIDADE DOS RESÍDUOS	23
2.6	METAS PARA RECICLAGEM	27
2.7	IMPACTOS DA RECICLAGEM	27
2.8	METODOLOGIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS A PARTIR DE RESÍDUOS	28
2.8.1	Identificação e Quantificação dos Resíduos Disponíveis	28
2.8.2	Caracterização do Resíduo	29
2.8.3	Custos Associados aos Resíduos	29
2.8.4	Seleção das Aplicações Viáveis	30
2.8.5	Avaliação do Produto	30
2.8.6	Análise de Desempenho Ambiental	31
2.8.7	Desenvolvimento do Produto	31
2.8.9	Transferência de Tecnologia	32
2.9	BARREIRAS PARA APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO	32
2.10	CERTIFICAÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS	34
2.11	ESPUMAS DE POLIURETANO.	34
2.11.1	Definição	34
2.11.2	Histórico	35
2.11.3	Aplicações das Espumas de Poliuretano	36
2.11.4	Mercado	36
2.12	ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO	38

2.12.1	Fabricação das Espumas Rígidas de Poliuretano	39
2.12.2	Propriedades das Espumas Rígidas	40
2.12.3	Uso como Isolamento Térmico	41
2.13	ASPECTOS AMBIENTAIS DAS ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO	43
2.14	RECICLAGEM DAS ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO	44
2.15	RISCOS À SAÚDE E SEGURANÇA	47
2.15.1	Combustibilidade	48
2.15.2	Poeira	49
3	**BLOCOS PRÉ FABRICADOS DE CONCRETO**	50
3.1	BLOCOS DE CONCRETO – DEFINIÇÃO	50
3.2	HISTÓRICO	51
3.3	A PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO NO BRASIL	51
3.4	DIFERENCIAIS DA ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO	53
3.5	TIPOS DE BLOCOS	54
3.6	MATERIAIS EMPREGADOS NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO	55
3.6.1	Aglomerante	55
3.6.2	Agregados	56
3.6.3	Adições	58
3.6.4	Aditivos	59
3.6.5	Água de Amassamento	60
3.6.6	Corantes	61
3.7	PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO	61
3.7.1	Definições Úteis.	62
3.7.2	Etapas do Processo de Fabricação dos Blocos de Concreto	62
3.7.3	Instalações	62
3.7.4	Proporcionamento dos Materiais	64
3.7.5	Dosagem	65
3.7.5.1	Determinação da melhor composição do agregado total	66
3.7.5.2	Determinação da quantidade de cimento	69
3.7.5.2.1	Estabelecimento da resistência de dosagem	70
3.7.5.3	Determinação da quantidade de água e resistência do concreto	71
3.7.6	Determinação do traço piloto	75
3.7.7	Mistura dos Materiais	76
3.7.8	Equipamentos de Produção	77
3.7.8.1	Mecanismo de vibração	77
3.7.9	Moldagem dos Blocos de Concreto	78
3.7.10	Cura	81
3.8	PROPRIEDADES REQUERIDAS DO CONCRETO PARA BLOCOS	82
3.8.1	Propriedades no Estado Fresco	82
3.8.2	Propriedades no Estado Endurecido	83
3.8.2.1	Resistência à compressão	84
3.8.2.2	Resistência à tração	87
3.8.2.2.1	Resistência à tração por compressão diametral	87
3.8.2.2.2	Resistência à tração por flexão	88
3.8.2.2.3	Relações entre as tensões de ruptura à compressão e à tração	88
3.8.2.2.4	Previsão de resistência à compressão do concreto	90
3.8.2.2.5	Previsão com base em valores tabelados	92
3.8.3	Absorção de Água e Índice de Vazios	93
3.8.4	Estabilidade Dimensional	95
3.8.5	Regularidade Geométrica	96

3.8.5.1	Nomenclatura e dimensões dos blocos de concreto	96
3.8.6	Resistência ao Fogo, Isolamento Térmico e Acústico	98
3.9	CONTROLE DE QUALIDADE	101
3.9.1	Controle de Produção	103
3.9.2	Controle de Aceitação	104
3.10	EXECUÇÃO DO CONTROLE DE PRODUÇÃO DE BLOCOS	104
3.10.1	Proporcionamento dos Materiais	105
3.10.2	Mistura dos Materiais	105
3.10.3	Moldagem dos Blocos	106
3.10.4	Transporte dos Blocos Frescos	107
3.10.5	Procedimentos de Cura Empregados	107
3.10.6	Transporte e Armazenamento dos Blocos Curados	109
3.10.7	Ensaios à Compressão	109
3.10.7.1	Capeamento dos blocos	109
3.10.7.2	Máquinas de ensaio	110
3.10.7.3	Velocidade do ensaio	111
4	**PROGRAMA EXPERIMENTAL**	112
4.1	ESTRUTURA DA PESQUISA	112
4.2	DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ESTUDO	113
4.3	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	114
4.4	DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS COMPONENTES DO CONCRETO	116
4.4.1	Aglomerante	116
4.4.2	Agregados	117
4.4.2.1	Agregado miúdo	117
4.4.2.2	Agregado graúdo	118
4.4.3	Adição de Espuma Rígida de Poliuretano Expandido Reciclado	118
4.4.4	Água de Amassamento	119
4.5	ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DOS BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-FABRICADOS	120
4.5.1	Proporcionamento do Agregado Total	120
4.5.1.1	Composição pela maior massa unitária compactada	120
4.5.1.2	Composição pelo módulo de finura pré-estabelecido	121
4.5.5	Escolha da Relação Agregado/Cimento (*m*)	123
4.5.6	Número de Corpos de Prova e Equipamento Utilizado para Produção dos Blocos de Concreto	125
4.6	DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS DE REFERÊNCIA	126
4.7	DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS DE REFERÊNCIA	127
4.8	DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE PRODUÇÃO	128
4.8.1	Definição da Consistência e Tempo de Moldagem	128
4.9	DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM PARA CORPOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO	129
4.10	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO EM CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO	129
4.10.1	Determinação dos Teores de Adição de Poliuretano Expandido Reciclado Tecnicamente Viáveis	130
4.11	ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS PRODUZIDOS COM O CONCRETO COM ADIÇÃO	131
4.11.1	Características Físicas e Mecânicas	131
4.11.2	Análise Ambiental	132

4.11.3	Determinação da Resistência ao Fogo	132
4.11.3.1	Estabilidade	133
4.11.3.2	Estanqueidade	134
4.11.3.3	Determinação do potencial de isolação térmica	134
4.11.4	Produção dos Blocos de Concreto	135
4.12	**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DA ADIÇÃO**	136
5	**APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**	138
5.1	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	138
5.2	RESULTADOS DOS ENSAIOS COM OS BLOCOS DE REFERÊNCIA – ESTUDO PILOTO	139
5.2.1	Características dos Blocos Moldados com Agregado Total Proporcionado com 50% de Agregado Miúdo e 50% de Agregado Graúdo	139
5.2.2	Características dos Blocos Moldados com Agregado Total Proporcionado com 60% de Agregado Miúdo e 40% de Agregado Graúdo	141
5.3	RESULTADOS DOS ENSAIOS COM CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS	142
5.3.1	Características Físicas	143
5.3.1.1	Variação da umidade de moldagem, em relação aos teores de adição	143
5.3.1.2	Variação da massa específica do concreto fresco, em relação aos teores de adição de PU expandido reciclado	146
5.3.1.3	Variação da massa específica do concreto endurecido, absorção de água e índice de vazios do concreto, em relação aos teores de adição de PU expandido reciclado	148
5.3.1.4	Variação da absorção do concreto, em relação a massa específica do concreto endurecido, para os diferentes teores de adição	153
5.3.1.5	Variação da massa específica do concreto endurecido, em relação ao índice de vazios do concreto para os diferentes teores de adição	155
5.3.1.6	Variação da absorção de água do concreto, em função do índice de vazios	157
5.3.1.7	Variação da absorção do concreto, em relação aos teores de umidade de moldagem para os diferentes teores de adição	158
5.3.1.8	Variação do índice de vazios do concreto, em relação aos teores de umidade de moldagem, para cada teor de adição	160
5.3.1.9	Massa específica do concreto endurecido em função aos teores de umidade de moldagem, para os diversos teores de adição	162
5.3.3	Características Mecânicas e Influência das Características Físicas	164
5.3.3.1	Evolução da resistência à compressão do concreto com a idade	164
5.3.3.2	Modelos matemáticos para previsão da resistência a compressão	166
5.3.3.3	Variação da resistência à compressão do concreto em relação aos teores de adição de PU expandido reciclado	169
5.3.3.4	Resistência à compressão do concreto, aos 28 dias, em função da massa específica do concreto endurecido	171
5.3.3.5	Resistência à compressão do concreto, em relação à absorção de água	173
5.3.3.6	Resistência à compressão do concreto, em relação ao índice de vazios	175
5.3.3.7	Resistência à compressão do concreto, em relação a variação da relação a/c	177
5.3.3.8	Resistência à tração em relação aos teores de adição	179
5.3.3.9	Resistência à tração em relação à massa específica do concreto endurecido	181
5.3.3.10	Resistência à tração em relação a absorção do concreto, verificada para os diversos teores de adição	183
5.3.3.11	Resistência à tração em relação ao índice de vazios do concreto, determinado para o concreto com os vários teores de adição	185

5.3.3.12 Resistência à tração do concreto em função das relações a/c, determinadas com as umidades de moldagem para cada teor de adição ... 187
5.3.3.13 Relação entre resistência à tração e a compressão do concreto, considerando os teores de adição ... 189
5.4 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO VIÁVEIS TECNICAMENTE ... 192
5.5 RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS COM BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE 5% DE PU RECICLADO ... 193
5.5.1 Características Físicas dos Blocos de Concreto ... 193
5.5.1.1 Massa específica dos blocos de concreto no estado fresco ... 194
5.5.1.2 Massa específica, absorção de água por imersão e índice de vazios, dos blocos de concreto no estado endurecido ... 195
5.5.1.3 Massa específica do concreto endurecido ... 196
5.5.2.3 Absorção de água ... 196
5.5.1.4 Índice de vazios do concreto ... 196
5.5.1.5 Retração por secagem ... 197
5.5.2 Características Geométricas dos Blocos de Concreto ... 198
5.5.2.1 Determinação das dimensões ... 199
5.5.3 Características Mecânicas dos Blocos de Concreto ... 200
5.5.3.1 Determinação da resistência à compressão ... 200
5.5.4 Características de Resistência Frente ao Fogo ... 201
5.5.4.1 Estabilidade ... 201
5.5.4.2 Estanqueidade ... 202
5.5.4.3 Isolamento térmico ... 202
5.5.5 Características ambientais ... 203
5.6 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA ADOÇÃO DA ADIÇÃO DE PU RECICLADO ... 205
5.6.1 Determinação da Variação de Volume do Concreto ... 205
5.6.2 Determinação da Viabilidade Econômica da Utilização da Adição de PU Reciclado ... 206
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS ... 210
6.1 CONCLUSÕES QUANTO À VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DA ADIÇÃO DO POLIURETANO RECICLADO NO CONCRETO UTILIZADO PARA A FABRICAÇÃO DE BLOCOS ... 211
6.2 CONCLUSÕES QUANTO À VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DA ADIÇÃO DE POLIURETANO RECICLADO NO CONCRETO UTILIZADO PARA A FABRICAÇÃO DE BLOCOS ... 213
6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS ... 214
6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS ... 215
REFERÊNCIAS ... 216
DOCUMENTOS CONSULTADOS ... 222
APÊNDICES ... 228

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - DISTRIBUIÇÃO DO DÉFICIT HABITACIONAL BRASILEIRO SEGUNDO GRANDES REGIÕES (IBGE, 2000 – ADAPTADO PELO AUTOR) 12
FIGURA 2.2 - DÉFICIT HABITACIONAL URBANO SEGUNDO FAIXA DE RENDA FAMILIAR (IBGE, 2000 – ADAPTADO PELO AUTOR) 13
FIGURA 2.3 - DEMANDA MUNDIAL DE PU POR REGIÃO EM 2000 (VILAR, 2002 - ADAPTADO PELO AUTOR) 37
FIGURA 2.4 - CONSUMO MUNDIAL DE PU POR SEGMENTO EM 2000 (VILAR, 2002 - ADAPTADO PELO AUTOR) 37
FIGURA 2.5 - CONSUMO DE PU POR SEGMENTO NO BRASIL (VILAR, 2002 - ADAPTADO PELO AUTOR) 38
FIGURA 2.6 - FASES DA PRODUÇÃO DA ESPUMA DE POLIURETANO (VILAR, 2002) 39
FIGURA 2.7 DETALHE DA ESTRUTURA CELULAR DAS ESPUMAS DE POLIURETANO (SANDIA NATIONAL LABORATORIES, 2002) 40
FIGURA 2.8 - MÉTODOS DE INJEÇÃO DE ESPUMAS RÍGIDAS EM REFRIGERADORES (VILAR, 2002) 43
FIGURA 2.9 - DEPÓSITO DE PLACAS DE PU EM EMPRESA RECICLADORA DE ELETRODOMÉSTICOS 44
FIGURA 2.10-EXEMPLO DE ESPUMAS DE PU COM E SEM RETARDANTES DE FOGO 49
FIGURA 3.1 - ETAPAS DE FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO (MEDEIROS, 1993 - ADAPTADO PELO AUTOR) 63
FIGURA 3.2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS IDEAIS PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO (PFEIFFENBERGER ,1985; MEDEIROS, 1993 - ADAPTADO PELO AUTOR) 67
FIGURA 3.3 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO DO CONCRETO, PARA ENERGIA DE ADENSAMENTO FIXA (TANGO, 1984) 74
FIGURA 3.4 - SEQÜÊNCIA BÁSICA DE FUNCIONAMENTO DE UMA VIBRO-PRENSA AUTOMÁTICA (MEDEIROS, 1993; SOUSA, 2001) 80
FIGURA 3.5 - VARIAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DOS CIMENTOS BRASILEIROS, COM A IDADE (SOBRAL, 1993) 93
FIGURA 3.6 - NOMENCLATURA DAS PARTES E DIMENSÕES DE UM BLOCO DE CONCRETO (MEDEIROS, 1993) 97
FIGURA 3.7 - ETAPAS DE PRODUÇÃO E CONSUMO DO BLOCOS DE CONCRETO (TANGO, 1984) 102
FIGURA 3.8 - INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE NA RESISTÊNCIA MÉDIA REQUERIDA, PARA OBTENÇÃO DE UMA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA fbk (TANGO, 1984) 106
FIGURA 4.1 - ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO RECICLADO 119
FIGURA 4.2 - COMPARAÇÃO DAS GRANULOMETRIAS IDEAIS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO (PFEIFFENBERGER ,1985; MEDEIROS, 1993 - ADAPTADO PELO AUTOR) E GRANULOMETRIA DO AGREGADO TOTAL ENSAIADO (MF = 4,01) 121

FIGURA 4.3 -COMPARAÇÃO DAS GRANULOMETRIAS IDEAIS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO (PFEIFFENBERGER ,1985; MEDEIROS, 1993 - ADAPTADO PELO AUTOR) E GRANULOMETRIA DO AGREGADO TOTAL ENSAIADO (MF = 3,74) 123

FIGURA 4.4 - EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA PRODUÇÃO DOS BLOCOS 126
FIGURA 4.5 - CURA EMPREGADA NA PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO..... 127
FIGURA 5.1 - ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO 140
FIGURA 5.2 - RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇOS EM VOLUME, AGREGADO TOTAL COM PROPORCIONAMENTO DE 50% DE AGREGADO MIÚDO E 50% DE AGREGADO GRAÚDO (MF = 4,01) 141
FIGURA 5.3 - RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇOS EM VOLUME, AGREGADO TOTAL COM PROPORCIONAMENTO DE 50% DE AGREGADO MIÚDO E 50% DE AGREGADO GRAÚDO (MF = 3,74) 142
FIGURA 5.4 - CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS PRODUZIDOS COM ADIÇÃO DE 5%, 7,5%, 10%, 15% E 20% DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO 143
FIGURA 5.5 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM, EM RELAÇÃO A ADIÇÃO DE PU EXPANDIDO AO CONCRETO TRAÇO 1 : 8 145
FIGURA 5.6 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM, EM RELAÇÃO A ADIÇÃO DE PU EXPANDIDO AO CONCRETO TRAÇO 1 : 6 145
FIGURA 5.7 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO INCORPORADO – TRAÇO 1 : 8..... 147
FIGURA 5.8 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO INCORPORADO – TRAÇO 1 : 6..... 147
FIGURA 5.9 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO INCORPORADO – CONCRETO TRAÇO 1 : 8..... 149
FIGURA 5.10-VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO INCORPORADO – CONCRETO TRAÇO 1 : 6..... 150
FIGURA 5.11-VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1 : 8 151
FIGURA 5.12-VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1 : 6 151
FIGURA 5.13-VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1 : 8 152
FIGURA 5.14-VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1 : 6 152
FIGURA 5.15-VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO..... 154
FIGURA 5.16-VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO..... 155
FIGURA 5.17-VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8..... 156
FIGURA 5.18-VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6..... 156
FIGURA 5.19-VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6..... 158

FIGURA 5.20-VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 158
FIGURA 5.21-VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 160
FIGURA 5.22-VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 160
FIGURA 5.23-VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 162
FIGURA 5.24-VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 162
FIGURA 5.25-VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 164
FIGURA 5.26-VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 164
FIGURA 5.27-CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS - ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 165
FIGURA 5.28-GRÁFICOS E MODELOS MATEMÁTICOS QUE REPRESENTAM A EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 167
FIGURA 5.29-GRÁFICOS E MODELOS MATEMÁTICOS QUE REPRESENTAM A EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 168
FIGURA 5.30-GRÁFICOS QUE REPRESENTAM A PERDA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO E IDADE DO CONCRETO – CONCRETO TRAÇO 1:8 170
FIGURA 5.31-GRÁFICOS QUE REPRESENTAM A PERDA DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO E IDADE DO CONCRETO – CONCRETO TRAÇO 1:6 170
FIGURA 5.32-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 172
FIGURA 5.33-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 172
FIGURA 5.34-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA ABSORÇÃO DO CONCRETO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 174
FIGURA 5.35-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA ABSORÇÃO DO CONCRETO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 174
FIGURA 5.36-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 176

FIGURA 5.37-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 176
FIGURA 5.38-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO A/C DO CONCRETO, DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 178
FIGURA 5.39-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO A/C DO CONCRETO, DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 179
FIGURA 5.40-CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL 179
FIGURA 5.41-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO A/C E DOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 181
FIGURA 5.42-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO A/C E DOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 181
FIGURA 5.43-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 183
FIGURA 5.44-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 183
FIGURA 5.45-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA ABSORÇÃO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 185
FIGURA 5.46-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA ABSORÇÃO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 185
FIGURA 5.47-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 187
FIGURA 5.48-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 187
FIGURA 5.49-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DAS RELAÇÕES A/C DO CONCRETO, DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO E UMIDADES DE MOLDAGEM – CONCRETO TRAÇO 1:8 189
FIGURA 5.50-VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DAS RELAÇÕES A/C DO CONCRETO, DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO E UMIDADES DE MOLDAGEM – CONCRETO TRAÇO 1:8 189
FIGURA 5.51-VARIAÇÃO DA RELAÇÃO FT 28/ FC 28 , DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 192
FIGURA 5.52-VARIAÇÃO DA RELAÇÃO FT 28/ FC 28 , DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 192
FIGURA 5.53-BLOCOS DE CONCRETO - DETERMINAÇÃO DA MASSA NO ESTADO FRESCO 194
FIGURA 5.54-BLOCOS DE CONCRETO - ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM 197
FIGURA 5.55-BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU – DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM 198
FIGURA 5.56-CORPO DE PROVA APÓS ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO 202
FIGURA 5.57-DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE ISOLAMENTO TÉRMICO 202

FIGURA 5.58-AUMENTO DA TEMPERATURA NAS FACES DOS PAINÉIS ENSAIADOS 203
FIGURA 5.59-ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA LIXIVIAÇÃO DE RESÍDUOS 204
FIGURA 5.60-DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DE VOLUME DO CONCRETO SEM E COM ADIÇÃO DE PU RECICLADO 206
FIGURA A1.1 EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO PARA PERMITIR A COMPRESSÃO DO CONCRETO FRESCO 233
FIGURA A1.2 VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, EM RELAÇÃO AOS TEMPOS DE MOLDAGEM ADOTADOS 236
FIGURA A1.3 RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE MOLDAGEM E MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO SECO 239
FIGURA A1.4 RELAÇÃO ENTRE TEMPO DE MOLDAGEM E ABSORÇÃO DO CONCRETO POR IMERSÃO 240
FIGURA A1.5 RELAÇÃO ENTRE TEMPO DE MOLDAGEM E ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO 240
FIGURA A1.6 RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO, AOS 7 DIAS DE IDADE, EM RELAÇÃO AOS TEMPOS DE MOLDAGEM 242
FIGURA A1.7 VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, PRODUZIDO COM O SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE UMIDADE DE MOLDAGEM ADOTADOS 245
FIGURA A1.8 VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO EM FUNÇÃO DOS TEORES DE UMIDADE DE MOLDAGEM 246
FIGURA A1.9 RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VAZIOS E ABSORÇÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM ADOTADOS 247
FIGURA A1.10VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DA ALTERAÇÃO DOS TEORES DE UMIDADE DE MOLDAGEM 249
FIGURA A2.1 AGREGADO MIÚDO – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA 251
FIGURA A2.2 AGREGADO MIUDO – DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO 252
FIGURA A2.3 AGREGADO GRAÚDO – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA 253
FIGURA A2.4 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA COMPACTADA 254
FIGURA A2.5 AGREGADO TOTAL (50%/ 50%) – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA 255
FIGURA A2.6 AGREGADO TOTAL (40%/60%) – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA 256
FIGURA A2.7 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AGREGADO TOTAL (50%/50%) – COMPARAÇÃO COM CURVAS PADRÃO 257
FIGURA A2.8 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AGREGADO TOTAL (50%/50%) – COMPARAÇÃO COM CURVAS PADRÃO 258

LISTA DE TABELAS E PLANILHAS

TABELA 2.1 - DÉFICIT HABITACIONAL BRASILEIRO POR REGIÕES (IBGE, 2000- ADAPTADO PELO AUTOR) 11
TABELA 2.2 - PARTICIPAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO, NO TOTAL DE RESÍDUOS COLETADOS EM CIDADES BRASILEIRAS (PINTO, 1999 - ADAPTADO PELO AUTOR) 15
TABELA 2.3 - POTENCIAL DE RECICLABILIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (SANTOS, 2001) 25
TABELA 2.4 - PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MATERIAIS ISOLANTES (VILAR, 2002) ADAPTADO PELO AUTOR 39
TABELA 2.5 - PROPRIEDADES TÍPICAS DE ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO (VILAR, 2002) ADAPTADO PELO AUTOR 41
TABELA 2.6 - PRODUÇÃO DE REFRIGERADORES E CONGELADORES NO BRASIL ENTRE 1967 – 2000(KOSSAKA, 2002) ADAPTADO PELO AUTOR 45
TABELA 3.1 - ÍNDICES DE QUALIDADE DE AGREGADOS PARA CONCRETO (NBR 7211/83) 58
TABELA 3.2 - TEORES MÁXIMOS DE SUBSTÂNCIAS NOCIVAS PRESENTES NA ÁGUA DE AMASSAMENTO PARA CONCRETO 60
TABELA 3.3 - CONSUMO APROXIMADO DE CIMENTO (C) EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO DE MASSAS AGREGADO/CIMENTO (m) (RELAÇÃO A/C = 0,45)(RODRIGUES, 1984) 71
TABELA 3.4 - PROPRIEDADES DO CONCRETO PARA BLOCOS, NO ESTADO ENDURECIDO (TANGO, 1984 – ADAPTADO PELO AUTOR) 84
TABELA 3.5 - VALORES MÍNIMOS PARA A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL, CONFORME A NBR 6136/94 (ADAPTADO PELO AUTOR) 85
TABELA 3.6 - VALORES MÍNIMOS PARA A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL (NBR 7173/82 - ADAPTADO PELO AUTOR) 85
TABELA 3.7- VALORES MÁXIMOS PARA UMIDADE DOS BLOCOS E CONCRETO (NBR 12.118/91 – ADAPTADO PELO AUTOR) 86
TABELA 3.8 - COMPARATIVO DO DESENVOLVIMENTO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, COM A IDADE (SOBRAL, 1983, ADAPTADO PELO AUTOR) 92
TABELA 3.9 - DIMENSÕES PADRONIZADAS PARA BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL (NBR 6136/94 – ADAPTADO PELO AUTOR) 97
TABELA 3.10-DIMENSÕES PADRONIZADAS PARA BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL (NBR 7173/82 – ADAPTADO PELO AUTOR) 98
TABELA 3.11-CARACTERÍSTICAS TERMOACÚSTICAS DE PAREDES CONSTITUÍDAS POR BLOCOS VAZADOS (IPT, 1995 – ADAPTADO PELO AUTOR) 100
TABELA 3.12-CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE PAREDES CONSTITUÍDAS POR BLOCOS VAZADOS (IPT, 1995) 101
TABELA 4.1 - COMPOSIÇÃO DO CIMENTO CPV-ARI-RS 116
TABELA 4.2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO CIMENTO CPV–ARI-RS 116
TABELA 4.3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CIMENTO CPV-ARI-RS 117
TABELA 4.4 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CIMENTO CPV-ARI-RS 117
TABELA 4.5 - AGREGADO MIÚDO – CARACTERIZAÇÃO 118

TABELA 4.6 - AGREGADO GRAÚDO – CARACTERIZAÇÃO 118
TABELA 4.7 - ADIÇÃO DE POLIURETANO RECICLADO – CARCTERÍSTICAS 119
TABELA 4.8 - CACTERÍSTICAS DO AGREGADO TOTAL COM PROPORCIONAMENTO DE 50% DE AGREGADO MIÚDO E 50% DE AGREGADO GRAÚDO 121
TABELA 4.9 - CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO TOTAL COM PROPORCIONAMENTO DE 60% DE AGREGADO MIÚDO E 40% DE AGREGADO GRAÚDO (MF = 3,74) 122
TABELA 4.10-TRAÇOS EM MASSA, PARA COMPOSIÇÃO DO AGREGADO TOTAL COM 50% DE AGREGADO MIÚDO E 50% DE AGREGADO GRAÚDO 124
TABELA 4.11-TRAÇOS EM MASSA, PARA COMPOSIÇÃO DO AGREGADO TOTAL COM 60% DE AGREGADO MIÚDO E 40% DE AGREGADO GRAÚDO 124
TABELA 4.12-ESTUDO PILOTO – NÚMERO DE BLOCOS DE CONCRETO E ENSAIOS PROGRAMADOS 125
TABELA 4.13-INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO NO CONCRETO – NÚMERO DE CORPOS DE PROVA E ENSAIOS PROGRAMADOS POR TRAÇO PESQUISADO 130
TABELA 4.14-BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO RECICLADO – NÚMERO DE CORPOS DE PROVA E ENSAIOS PROGRAMADOS 135
TABELA 5.1-CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS PRODUZIDOS NO ESTUDO PILOTO 139
TABELA 5.2-MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E ÍNDICE DE VAZIOS DOS BLOCOS PRODUZIDOS COM OS TRAÇOS PILOTO 140
TABELA 5.3 -RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO, DOS BLOCOS PRODUZIDOS COM OS TRAÇOS PILOTO, COM PROPORCIONAMENTO DO AGREGADO TOTAL COM 50% DE AGREGADO MIÚDO E 50% DE AGREGADO GRAÚDO 141
TABELA 5.4 -RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO, DOS BLOCOS PRODUZIDOS COM OS TRAÇOS PILOTO, COM PROPORCIONAMENTO DO AGREGADO TOTAL COM 60% DE AGREGADO MIÚDO E 40% DE AGREGADO GRAÚDO 142
TABELA 5.5 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU EXPANDIDO RECICLADO 143
TABELA 5.6 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO FRESCO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO 146
TABELA 5.7 - VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO – CONCRETO TRAÇO 1 : 8 148
TABELA 5.8 - VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO – CONCRETO TRAÇO 1 : 6 148
TABELA 5.9 - VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DO CONCRETO, EM RELAÇÃO A MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO 153
TABELA 5.10-VALORES DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO E DO ÍNDICE DE VAZIOS, PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO 155
TABELA 5.11-VALORES DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO E DO ÍNDICE DE VAZIOS, PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO 157

TABELA 5.12-VALORES DE UMIDADES DE MOLDAGEM E ABSORÇÃO DO CONCRETO, PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO 159
TABELA 5.13-VALORES DE UMIDADES DE MOLDAGEM E ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO 161
TABELA 5.14-VALORES DE MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO E UMIDADES DE MOLDAGEM, PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO 163
TABELA 5.15-VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO – ENSAIOS REALIZADOS EM CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS – CONCRETO TRAÇO 1:8 165
TABELA 5.16-VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO – ENSAIOS REALIZADOS EM CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS – CONCRETO TRAÇO 1:6 166
TABELA 5.17-RELAÇÕES QUE REPRESENTAM A PERDA DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DA IDADE E TEORES DE ADIÇÃO 169
TABELA 5.18-VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO 171
TABELA 5.19-VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DA ABSORÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO 173
TABELA 5.20-VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO 175
TABELA 5.21-VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS, UMIDADES DE MOLDAGEM E RELAÇÕES A/C – CONCRETO TRAÇO 1:8 177
TABELA 5.22-VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS, UMIDADES DE MOLDAGEM E RELAÇÕES A/C – CONCRETO TRAÇO 1:6 177
TABELA 5.23-VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO 180
TABELA 5.24-VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO 182
TABELA 5.25-VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DA ABSORÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO 184
TABELA 5.26-VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO 186
TABELA 5.27- VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DA RELAÇÃO A/C, DETERMINADOS PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO 188
TABELA 5.28- VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS EM FUNÇÃO DOS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8 190
TABELA 5.29- VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS EM FUNÇÃO DOS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6 190

TABELA 5.30- COMPARAÇÃO ENTRE VALORES MÍNIMOS ESTABELECIDOS PELAS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS NBR 6136/94 E NBR 7173/82 E VALORES DETERMINADOS NOS ENSAIOS COM CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS, COM ADIÇÃO DE PU = 5,0% 193
TABELA 5.31-BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO FRESCO 194
TABELA 5.32- BLOCOS DE CONCRETO – VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO ENDURECIDO, ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO 195
TABELA 5.33- BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU – DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM 198
TABELA 5.34- BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU – DIMENSÕES REAIS 199
TABELA 5.35- BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, AOS 7 DIAS DE IDADE 200
TABELA 5.36- BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU – LIXIVIAÇÃO DE RESÍDUOS 204
TABELA 5.37-VALORES DOS INSUMOS (SETEMBRO/ 2003) 207
TABELA 5.38-DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CONCRETO TRAÇO 1:6 207
TABELA 5.39-DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CONCRETO TRAÇO 1:8 208
TABELA 5.40-DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CONCRETO TRAÇO 1:10 208
TABELA 5.41-ANÁLISE DE CUSTOS EM FUNÇÃO DA RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO 209
TABELA A1.1 NORMAS PARA DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO 232
TABELA A1.2 AFERIÇÃO DO SISTEMA DE MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS NÚMERO DE CORPOS DE PROVA E ENSAIOS PROGRAMADOS 234
TABELA A1.3 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, EM FUNÇÃO DO TEMPO DE MOLDAGEM UTILIZANDO A MESA VIBRATÓRIA 236
TABELA A1.4 DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE MOLDAGEM EQUIVALENTES, PARA PRODUÇÃO DE CONCRETOS COM O SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM 237
TABELA A1.5 RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DETERMINADAS COM O CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DO TEMPO DE MOLDAGEM 238
TABELA A1.6 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO MOLDADO NA MESA VIBRATÓRIA, EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO TEMPO DE MOLDAGEM 241
TABELA A1.7 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM NÚMERO DE CORPOS DE PROVA E ENSAIOS PROGRAMADOS 243
TABELA A1.8 DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM 244
TABELA A1.9 VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, PRODUZIDO COM O SISTEMA MOLDAGEM ALTERNATIVA, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE UMIDADE DE MOLDAGEM ADOTADOS 246
TABELA A1.10 VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO AOS TEORES DE UMIDADE DE MOLDAGEM 248
TABELA A2.1 AGREGADO MIÚDO - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA 251
TABELA A2.2 AGREGADO MUÍDO – CARACTERÍSTICAS 251

TABELA A2.3 AGREGADO MIÚDO – INCHAMENTO 252
TABELA A2.4 AGREGADO GRAÚDO – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA 253
TABELA A2.5 CARACTERÍSTICAS – AGREGADO GRAÚDO 253
TABELA A2.6 DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA COMPACTADA 254
TABELA A2.7 AGREGADO TOTAL (50%/50%) – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA 255
TABELA A2.8 AGREGADO TOTAL (50%/ 50%) – CARACTERÍSTICAS 255
TABELA A2.9 AGREGADO TOTAL (40%/60%) – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA 256
TABELA A2.10 AGREGADO TOTAL (40%/60%) – CARACTERÍSTICAS 256
TABELA A2.11 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AGREGADO TOTAL (50%/50%) – COMPARAÇÃO COM CURVAS PADRÃO 257
TABELA A2.12 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AGREGADO TOTAL (50%/50%) – COMPARAÇÃO COM CURVAS PADRÃO 258
TABELA A3.1 TRAÇO 1:6 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 50% DE AGREGADO GRAÚDO E 50% DE AGREGADO MIÚDO 260
TABELA A3.2 TRAÇO 1:6 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 40% DE AGREGADO GRAÚDO E 60% DE AGREGADO MIÚDO 260
TABELA A3.3 TRAÇO 1:8 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 50% DE AGREGADO GRAÚDO E 50% DE AGREGADO MIÚDO 260
TABELA A3.4 TRAÇO 1:8 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 40% DE AGREGADO GRAÚDO E 60% DE AGREGADO MIÚDO 261
TABELA A3.5 TRAÇO 1:10 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 50% DE AGREGADO GRAÚDO E 50% DE AGREGADO MIÚDO 261
TABELA A3.6 TRAÇO 1:10 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 40% DE AGREGADO GRAÚDO E 60% DE AGREGADO MIÚDO 261
TABELA A4.1 CONCRETO COM AGREGADO TOTAL COMPOSIÇÃO DE 50% AGREGADO GRAÚDO E 50% AGREGADO MIÚDO 263
TABELA A4.2 CONCRETO COM AGREGADO TOTAL COMPOSIÇÃO DE 40% AGREGADO GRAÚDO E 60% AGREGADO MIÚDO 263
TABELA A4.3 CONCRETO COM AGREGADO TOTAL COMPOSIÇÃO DE 50% AGREGADO GRAÚDO E 50% AGREGADO MIÚDO 264
TABELA A4.4 CONCRETO COM AGREGADO TOTAL COMPOSIÇÃO DE 40% AGREGADO GRAÚDO E 60% AGREGADO MIÚDO 264
TABELA A5.1 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MOLDAGEM SOBRE A MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO FRESCO 266
TABELA A5.2 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MOLDAGEM SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO 267
TABELA A5.3 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MOLDAGEM, NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 7 DIAS DE IDADE 268
TABELA A5.4 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UMIDADE DE MOLDAGEM SOBRE A MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO FRESCO 269
TABELA A5.5 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UMIDADE DE MOLDAGEM SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO SECO 270
TABELA A5.6 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UMIDADE DE MOLDAGEM SOBRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, DETERMINADA AOS 7 DIAS DE IDADE 271
TABELA A6.1 MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO - CONCRETO TRAÇO 1 : 8 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO 273

TABELA A6.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO CONCRETO TRAÇO 1: 8 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO 274
TABELA A6.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO TRAÇO 1: 8 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO 275
TABELA A6.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO TRAÇO 1: 8 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO 276
TABELA A6.5 MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO - CONCRETO TRAÇO 1 : 6 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO 277
TABELA A6.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO CONCRETO TRAÇO 1: 6 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO 278
TABELA A6.7 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO TRAÇO 1: 6 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO 279
TABELA A6.8 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO TRAÇO 1: 6 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO 280
TABELA A7.1 BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:8 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES 282
TABELA A7.2 BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:8 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO FRESCO 282
TABELA A7.3 BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:8 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS NO ESTADO ENDURECIDO 283
TABELA A7.4 BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:8 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM 283
TABELA A7.5 BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:8 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 283
TABELA A7.6 BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:6 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES 284
TABELA A7.7 BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:6 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO FRESCO 284
TABELA A7.8 BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:6 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS NO ESTADO ENDURECIDO 285
TABELA A7.9 BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:6 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM 285
TABELA A7.10 BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:6 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO 285
PLANILHA A8.1 TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 0,0% 287
PLANILHA A8.2 TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 5,0% 287
PLANILHA A8.3 TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 7,5% 288
PLANILHA A8.4 TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 10,0% 288
PLANILHA A8.5 TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 15,0% 289
PLANILHA A8.6 TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 20,0% 289
PLANILHA A8.7 TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 0,0% 290
PLANILHA A8.8 TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 5,0% 290
PLANILHA A8.9 TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 7,5% 291
PLANILHA A8.10 TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 10,0% 291
PLANILHA A8.11 TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 15,0% 292
PLANILHA A8.12 TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 20,0% 292

LISTA ABREVIATURAS

ABCP	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND
ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
AFNOR	ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION
API	ALLIANCE FOR THE POLYURETHANES INDUSTRY
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
BID	BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO
BSI	BRITISH STANDARDS INSTITUTION
COHAB-SP	COMPANHIA DE HABITAÇÃO DE SÃO PAULO
CEB	COMITÉ EURO-INTERNACIONAL DU BÉTON
CEFET/PR	CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DO PARANÁ
CFC	CLOROFLUORCARBONO
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
DIN	DEUTSCHE INSTITUT FÜR NORMUNG
EUA	ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IPT	INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS
ISO	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
LACTEC	INSTITUTO DE TECNOLOGIA PARA O DESENVOLVIMENTO
MDIC	MINISTÉRIO DO DSENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO
NCHRP	NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEACH PROGRAM
NBR	NORMA BRASILEIRA
OECD	ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT
PCA	PORTLAND CEMENT ASSOCIATION
PPGCC	PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL
PNAD	PESQUISA POR AMOSTRA DE DOMICÍLIO
PNUD	PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO
PUC/PR	PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ
RCD	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO
SANEPAR	COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ
SEDU/PR	SECRETARIA ESPECIAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA
UFPR	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
UFSC	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
UN	UNITED NATIONS
VOC	VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS

LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS

A/C	RELAÇÃO OU FATOR ÁGUA/CIMENTO
AT	AGREGADO TOTAL
BL	BLOCO
CFC-R12	CLOROFLUORCARBONO UTILIZADO EM ISOLAMENTO TÉRMICO
Cm	CONSUMO DE CIMENTO
CO_2	DIÓXIDO DE CARBONO
CP	CORPO - DE - PROVA
CP II – F	CIMENTO PORTLAND COMPOSTO COM ADIÇÃO DE FILLER
CPV – ARI	CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL
CPV-ARI-RS	CIMENTO PORTLAND DE ALTA RESISTÊNCIA INICIAL RESISTENTE A SULFATOS
dBA	DECIBEL
HAB	HABITANTE
HCFC	CLOROFLUORCARBONOS HIDROGENADOS
Hm	TEOR DE UMIDADE DA MISTURA
IA	ISOLAÇÃO AOS SONS AÉREOS
J	JOULE
MF	MÓDULO DE FINURA
MPa	MEGA PASCAL
PET	POLI-TEREFTALATO DE ETILENO
PU	POLIURETANO
PVC	CLORETO DE POLIVINILA
TON	TONELADA
UR	UMIDADE RELATIVA
fb_k	RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA DO CONCRETO À COMPRESSÃO
fb	RESISTÊNCIA DE DOSAGEM DO CONCRETO PARA A CONFECÇÃO DE BLOCOS
fc_j	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO A "J" DIAS DE IDADE;
fc_{tm}	RESISTÊNCIA MÉDIA DO CONCRETO À TRAÇÃO
fct_f	RESISTÊNCIA DO CONCRETO À TRAÇÃO POR FLEXÃO
Iv	ÍNDICE DE VAZIOS
j	IDADE DO CONCRETO, EM DIAS.
s_d	DESVIO PADRÃO
%	PERCENTAGEM
°C	GRAU CENTÍGRADO
∞	INFINITO
π	PI
α	GRAU DE HIDRATAÇÃO DO CIMENTO
μm	MICROMETRO
σ	MASSA ESPECÍFICA
γ	MASSA UNITÁRIA
$\mu.s$	MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO SECO
$\mu.sat$	MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO SATURADO
$\emptyset$	DIÂMETRO

RESUMO

Um dos grandes desafios atuais do governo brasileiro e da indústria da construção civil, é reduzir o déficit habitacional, estimado em 6,6 milhões de habitações, de maneira eficiente, oferecendo habitações de qualidade e com baixo custo. Soluções tecnológicas já vem sendo estudadas em diversos centros de pesquisa do país, e a pesquisa por materiais de construção alternativos aos tradicionalmente utilizados é uma forma de tentar reduzir o custo das habitações de interesse social. Por outro lado, há uma produção muito grande de resíduos e sub-produtos industriais no Brasil, freqüentemente depositados sem nenhuma consideração, em aterros sanitários e lixões ou em outros locais, tais como fundos de vale, córregos e rios, causando muitos problemas ambientais para as cidades. Diante da falta de espaço para dispor esses resíduos e diante da preocupação ambiental cada vez maior, a indústria da construção civil investiga formas alternativas de sua deposição de maneira segura e econômica. Uma das formas mais comuns dessa deposição é a solidificação/estabilização desse material numa matriz cimentícea, como técnica de obtenção de novos materiais de construção. Neste trabalho estuda-se a incorporação de resíduo de espumas rígidas de poliuretano expandido, utilizadas como isolante térmico, oriunda da reciclagem de "freezers" e refrigeradores, ao concreto utilizado para a produção de blocos pré-fabricados, sendo que obteve-se êxito quanto aos ensaios normalizados para qualificação do material, para teores de adição de até 5,0% em relação ao consumo de cimento do concreto. Por ser a espuma de poliuretano, um material com massa específica muito baixa, demonstra-se que mesmo a adição de baixos teores ao concreto, representa grandes volumes de espuma que deixam de ser dispostos no meio ambiente, onde levariam até 300 anos para serem assimilados, reduzindo os riscos ambientais, os custos de gerenciamento e proporcionando um aumento da vida útil dos aterros sanitários.

ABSTRACT

One of the biggest challenges for both Brazilian government and the civil construction industry, is the reduction of habitation deficit, estimated in 6,6 millions habitations, in an efficient way, offering quality habitations and low costs. Technological solutions have been studied in several research centers in the country, and the research of alternative construction materials to the traditionally used, is a way to try to reduce the costs of social interest habitations. On the other hand, there is a very large production of residues and industrial byproducts in Brazil, frequently deposited without any care in sanitary earthworks, or in others places like streams and rivers, causing a lot of environmental problems for the cities. In front of the space lack to dispose these residues and the growth preoccupation with the environment, the civil construction industry investigates alternative ways to dispose then in a secure and economical way. One of the most common forms of this deposition is through the solidification/stabilization of this material in cement composites, a technique to obtain new construction materials. This work studies the incorporation of polyurethane rigid foams residue, used as thermal insulating in refrigerator and freezers recycling, to the concrete used to the prefabricated blocks production, and it obtained success in normalized assays for the material qualification, for content addition of up to 5,0% with respect to cement consumption. As polyurethane foam is a material with very low specific mass, the study shows that even low contents addition to the concrete, represents big foam volumes that left to be disposed in the environment, where it would carry up to 300 years to be assimilated, reducing in this way environmental risks, management costs and providing an increase in the useful life of sanitary earthworks.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Buscar soluções que impliquem no aumento racional da produtividade e na eliminação de desperdícios é condição fundamental para o desenvolvimento tecnológico de qualquer país que pretende trilhar os caminhos da modernidade (MEDEIROS, 1993).

No âmbito da indústria da construção civil, a pesquisa de novos materiais ou a modificação de materiais já existentes, bem como, a pesquisa de métodos construtivos que aumentem a eficiência e o desempenho das edificações vem se tornando uma constante. Estas atitudes têm importância fundamental no combate a carência de habitações, principalmente em países com recursos financeiros limitados, como o nosso.

Neste trabalho pesquisou-se a viabilidade técnica e econômica do uso das espumas rígidas de poliuretano, utilizadas como isolantes térmicos de "freezers" e refrigeradores, como adição ao concreto destinado a fabricação de blocos.

No atual modelo industrial, há sempre a produção de resíduos e subprodutos, seja para a produção de bens duráveis ou não duráveis. Neste processo, a produção quase sempre utiliza matérias-primas não renováveis de origem natural. Este modelo não apresentava problemas até recentemente, em razão da abundância de recursos naturais e menor quantidade de pessoas incorporadas à sociedade de consumo (JOHN, 1999; JOHN, 2000; GUNTHER, 2000).

Com a intensa industrialização, advento de novas tecnologias, crescimento populacional e aumento de pessoas em centros urbanos e diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos de transformaram em graves problemas

urbanos, com um gerenciamento oneroso e complexo, considerando-se volume e massa acumulados, principalmente após 1980. (ÂNGULO et al, 2001).

Estes problemas se agravam ainda mais, com a escassez de áreas de deposição de resíduos causada pela ocupação e valorização de áreas urbanas, altos custos sociais no gerenciamento de resíduos, problemas de saneamento público e contaminação ambiental (JOHN, 2000; GUNTHER, 2000).

Dentro das questões ambientais, uma considerada fundamental corresponde ao estudo de rejeitos e resíduos das produções industriais não biodegradáveis. Nesta situação se encontram as placas de espumas rígidas de poliuretano utilizadas no sistema de isolamento térmico de refrigeradores e "freezers" que, no final da vida útil desses equipamentos, não possuem destino definido sendo enviados aos ferros velhos ou aos aterros sanitários.

Diante das limitações de espaço existente para dispor os subprodutos gerados pelas indústrias e o aumento da preocupação ambiental trouxe o setor da Engenharia Civil para a investigação de caminhos alternativos que possibilitem depositar tais rejeitos de forma segura e econômica. Diante disto, a construção civil vem estudando a solidificação/ estabilização de resíduos como técnica de obtenção de novos materiais de construção. Neste processo, pela adição de aglomerante ao resíduo, a matriz adquire resistência durante o processo de cura e os compostos poluentes ficam fixados aos compostos hidratados do cimento (LUZ et al, 2001).

Por este motivo, o concreto é sempre lembrado quando é necessário confinar algum produto poluente ou algum resíduo que, de alguma maneira, possa gerar poluição, se depositado de forma vulnerável ao intemperismo, mas principalmente, à ação lixiviante da água.

De acordo com MEHTA (1994), a construção civil, apesar de produzir grandes impactos ambientais, apresenta um grande potencial para consumo de resíduos de outras indústrias. Hoje tem-se, como exemplo, o aproveitamento de resíduos de escória de alto forno e cinzas volantes no Cimento Portland, entre

outros.

JOHN (2000) indica em estudo que a cadeia produtiva da construção civil já é a maior recicladora da economia, mas possui grande potencial para aumentar o volume de materiais que recicla, tendo em vista a quantidade de materiais que consome e as características dos seus materiais.

A reciclagem é essencial para o desenvolvimento sustentável, uma vez que é impossível pensar em uma sociedade que não gere resíduos. Além disso, ela apresenta muitas vantagens como a redução do consumo de energia, da poluição e aterros.

A espuma rígida de poliuretano, após a reciclagem dos eletrodomésticos que os contém, é o único material que ainda não retorna ao processo de produção e, neste estudo propõem-se sua utilização ao concreto de cimento Portland utilizado para a produção de blocos de concreto, como uma alternativa ecológica, de re-introduzir este material na cadeia produtiva.

Esta dissertação, inserida na linha de pesquisa de materiais de construção, é a primeira a ser apresentada no Programa de Pós Graduação em Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, abordando o uso de adições de materiais reciclados em artefatos de concreto, destinados ao uso em habitações de interesse social procurando, desta forma, despertar o interesse para as questões relativas à sustentabilidade na construção civil.

1.2 JUSTIFICATIVA

A sustentabilidade proposta para o desenvolvimento econômico moderno, fez com que os industriais passassem a se preocupar realmente com os recursos naturais aplicados na produção e aos efeitos ao meio ambiente. A aplicação da série de normas ISO14000 demonstra esta preocupação e a mudança esta ocorrendo, principalmente, no setor industrial.

De acordo com o levantamento efetuado pela empresa Electrolux, a produção do poliuretano expandido, chega a **1,5 tonelada por mês**, sendo que o descarte deste material, após o fim da vida útil e reciclagem dos outros elementos dos "freezers" e refrigeradores, é no lixão e em aterros sanitários (KOSSAKA, 2002).

Apesar do Protocolo de Montreal proibir a utilização de substâncias que destroem a camada de ozônio, e da regularização desta proibição no Brasil, imposta pela Resolução 267/2000 do CONAMA, restam ainda no mercado, milhares de refrigeradores e "freezers", produzidos antes de 1998, que utilizam espumas rígidas de poliuretano, com CFC's.

Nestes casos, alternativas simplistas tais como aterros não podem ser adotadas pois haveria a contaminação do solo e do lençol freático, seguindo por contaminar os cursos de água. A queima não é possível devido a possibilidade de liberação de elementos tóxicos para a atmosfera (RECENA, 2001).

Atualmente, muitos tipos de resíduos já estão sendo reciclados, porém sua aplicação ainda é restrita (QUEBAUD et al, 1997). Muitos resíduos que hoje já são reciclados e reincorporados na construção Civil, como é o caso das adições de escória de alto formo aos cimentos, ou da sílica ativa como adição para produção de concretos de alta resistência, entre outros, levaram um longo tempo até serem consolidados, o que ocorreu após muitos estudos, em várias partes do mundo.

Apesar dos benefícios ambientais que a reciclagem traz, no restrito círculo de engenheiros e arquitetos brasileiros são freqüentes os questionamentos sobre a baixa qualidade de produtos contendo resíduos (JOHN, 2000).

Por outro lado, as barreiras técnicas podem ser vencidas pela demonstração, pela condução de pesquisas, como esta, de que o material apresenta desempenho técnico e ambiental, igual à alternativa tradicional, aliando os princípios da sustentabilidade com o desenvolvimento social e econômico de muitos segmentos da sociedade.

1.3 HIPÓTESES

O modelo será economicamente viável, com reaproveitamento e destino adequado aos rejeitos de espuma rígida de poliuretano expandido reciclado;

O rejeito de espuma rígida de poliuretano reciclado apresentará propriedades que permita seu uso como adição para o concreto;

O material produzido com o concreto contendo adição da espuma rígida de poliuretano reciclado apresentará características geométricas, físicas, mecânicas e ambientais, que permitirão seu uso na construção civil, principalmente inserido nos "kits" para construção de habitações de interesse social.

Segundo JOHN (2000), o estudo de viabilidade econômica definirá a possibilidade ou não do aproveitamento de qualquer rejeito industrial. Estudos com outros rejeitos industriais, tem mostrado que a viabilidade da aplicação de resíduos, está associada à redução do consumo de produtos naturais e à redução no impacto ambiental. Espera-se, portanto, que por meio do comprometimento das organizações envolvidas, que o desenvolvimento deste potencial torne-se estratégia de mercado destas empresas.

1.4 OBJETIVOS

Considerando o exposto no item anterior, pode-se estabelecer os objetivos desta pesquisa como:

1.4.1 Objetivo Geral

Avaliar as propriedades e o comportamento do concreto com adição de espuma rígida de poliuretano expandido reciclado, e a análise da sua influência no desempenho de blocos pré-fabricados, produzidos com o concreto com adição, e avaliação da viabilidade do seu uso na construção de habitações de interesse social.

1.4.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

a- estudar as propriedades e parâmetros de mistura do concreto com adição da espuma rígida de poliuretano expandido reciclado, utilizado na produção de blocos pré-fabricados;

b- avaliação da viabilidade econômica – financeira do uso do poliuretano expandido como adição ao concreto utilizado na fabricação de blocos e de sua inserção no processo construtivo de habitações de interesse social;

1.4.3 Objetivos Secundários

Os objetivos secundários desta pesquisa são:

a- avaliar a influência da granulometria dos agregados utilizados, do consumo de cimento e dos teores de adição de poliuretano reciclado, nas propriedades do concreto e dos blocos pré-fabricados;

b- avaliar a relação entre características físicas e mecânicas do concreto para pré-moldados, produzidos com e sem a adição da espuma de poliuretano;

1.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

É fundamental obter o domínio das diversas propriedades de todos os novos materiais que estão em desenvolvimento, antes do seu lançamento efetivo no mercado, uma vez que é responsabilidade e dever dos pesquisadores, disponibilizar produtos que não venham a acarretar problemas futuros ao invés de oferecer soluções, como seria de se esperar.

Apesar de diversas aplicações das espumas rígidas de poliuretano, inclusive na construção civil, este material é ainda considerado novo, e o uso de sub-produtos ou resíduos provenientes de sua utilização, ainda são pouco explorados, principalmente no que compete a reciclagem, sendo quase sua totalidade disposta em aterros sanitários, situação que tem que ser revista diante das resoluções do CONAMA.

A utilização deste material como adição em concretos para produção de blocos, é uma tentativa inovadora de reciclagem, portanto com escassas referências bibliográficas sobre o tema, bem como com inexistência de normalização específica para este fim. Este foi um dos principais fatores condicionantes do estudo realizado. Tornou-se necessário, por exemplo, a realização de um estudo preliminar destinado a fornecer uma noção do comportamento de algumas variáveis envolvidas, tendo em vista que não havia dados pertinentes disponíveis na literatura.

Outro aspecto a considerar está relacionado à forma de moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos, em laboratório, com uma metodologia alternativa, visando a produção de concretos com as mesmas características físicas e mecânicas dos produzidos por máquinas de produção de artefatos de concreto (vibro-prensas), este estudo é apresentado no Apêndice a este trabalho.

Para possibilitar a análise de segurança frente ao fogo dos blocos de concreto produzidos, houve a necessidade de promover adaptações às condições impostas pela norma brasileira, devido à infra-estrutura laboratorial disponível, também conforme descrito no Capítulo 4 - Programa Experimental.

Enfim, os resultados obtidos estão condicionados ao concreto produzido dentro das condições especificadas no trabalho, considerando a geometria dos corpos-de-prova, materiais existentes na região de Curitiba e equipamentos disponíveis, podendo haver variações no comportamento frente a situações reais.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos, sendo o Capítulo 1, uma Introdução ao tema, e que tem um caráter de apresentação geral e onde estão inseridos os objetivos e a justificativa da pesquisa.

O Capítulo 2 compreende uma revisão bibliográfica sobre temas pertinentes, tais como o "déficit" habitacional brasileiro e o direito a moradia, sustentabilidade e reciclagem na construção civil e um panorama sobre a espuma rígida de poliuretano expandido, cujo uso do resíduo reciclado é o objetivo deste estudo.

No Capítulo 3, apresenta-se uma revisão sobre produção de blocos de concreto, compreendendo os aspectos de qualidade dos materiais constituintes, características de dosagem e controle tecnológico, produção e controle de qualidade do produto.

O Capítulo 4 compreende o programa experimental, onde são apresentadas as variáveis de estudo, os ensaios de caracterização dos materiais e os procedimentos de ensaios empregados na produção e avaliação das propriedades do concreto contendo adições de poliuretano reciclado e na produção e avaliação das propriedades dos blocos pré-fabricados, utilizando o concreto com adição.

No Capítulo 5, apresentam-se os resultados obtidos no programa experimental e as análises considerando as características físicas e mecânicas apresentadas pelo concreto de cimento Portland com adição de diversos teores de poliuretano reciclado, e dos blocos produzidos com o material.

No Capítulo 6, apresentam-se considerações finais e conclusões do estudo, além de sugestões de temas para continuidade de estudos futuros.

No Apêndice 1, são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais utilizados no programa experimental.

No Apêndice 2, apresentam-se os traços determinados para o estudo piloto, para a produção dos blocos de concreto de referência do estudo.

No Apêndice 3, apresentam-se os resultados individuais dos ensaios para determinação das características físicas e mecânicas dos blocos de referência.

No Apêndice 4, apresenta-se o desenvolvimento da metodologia alternativa utilizada para a produção de corpos-de-prova cilíndricos de concreto, com Ø = 100 mm, com as mesmas características do concreto produzido em máquinas produtoras de blocos.

No Apêndice 5, apresentam-se os resultados dos ensaios para aferição do sistema alternativo de moldagem de corpos-de-prova cilíndricos de concreto, com Ø = 100 mm.

No Apêndice 6, apresentam-se os resultados individuais dos ensaios que permitiram a análise da influência da adição da espuma rígida de poliuretano reciclado, ao concreto de cimento Portland, utilizando corpos-de-prova cilíndricos, Ø = 100 mm.

No Apêndice 7, apresentam-se os resultados individuais da análise da influência da adição da espuma rígida de poliuretano reciclado, incorporada no concreto utilizado para a fabricação de blocos pré-fabricados.

No Apêndice 8, apresentam-se as planilhas com as determinações dos coeficientes para composição dos modelos matemáticos para previsão de valores da resistência do concreto aditivado, à compressão.

2 CONSIDERAÇÕES SOBRE SUSTENTABILIDADE E RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O grande desafio enfrentado pelo governo e pelo setor privado, nos últimos 30 anos, é o de avançar as técnicas e materiais de construção, de forma a viabilizar a produção de habitações de interesse social, com eficiência, produtividade e qualidade.

Outro grande desafio que assola a Indústria da Construção Civil, atualmente, é a necessidade de adequar-se aos novos paradigmas, entre os quais cabe destacar aqueles respectivos a implantação de práticas provedoras do desenvolvimento sustentável.

Neste sentido, uma crescente pressão econômica e de conservação ambiental vem impulsionando, no mundo, a reciclagem de materiais visando reduzir os impactos que o ambiente pode sofrer com o consumo de matéria-prima e a geração desordenada de resíduos.

Neste Capítulo, é abordado o tema, Sustentabilidade e Reciclagem na Construção Civil, visando o desenvolvimento de novos materiais e tecnologias que possam ser empregadas na construção de habitações de interesse social.

2.1 "DÉFICT" HABITACIONAL NO BRASIL

A moradia é para o ser humano o mais primitivo e o mais importante elemento de segurança. Desde os tempos mais remotos, os humanos conferiram à casa um estatuto assegurador de três dimensões da pessoa: segurança física, refúgio da individualidade ante o mundo público e a proteção de sua intimidade. A ausência de moradia, portanto, produz um dos mais violentos impactos de desagregação da personalidade.

Reconhecendo esta dimensão essencial da habitação, desde a adoção da Declaração Universal dos Direitos Humanos, em 1948, o direito à moradia adequada, vem sendo reafirmado e reconhecido explicitamente por um grande número de agentes de direitos humanos internacionais, como um direito a um padrão adequado de viver (UN – HABITAT, 2002).

Atualmente no mundo, mais de um bilhão de pessoas vivem em condições inadequadas de moradia (UN – HABITAT, 2002).

Entende-se como "déficit" habitacional a noção mais imediata e intuitiva de necessidade de construção de novas moradias para a resolução de problemas sociais e específicos de habitação, detectados em um certo momento (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2001).

De forma mais específica, o conceito de "déficit" habitacional consiste na deficiência do estoque de moradias, por não dispor de condições de habitabilidade, por sua precariedade construtiva ou desgaste em sua estrutura física, e, ainda, por apresentar coabitação familiar (IBGE, 2000).

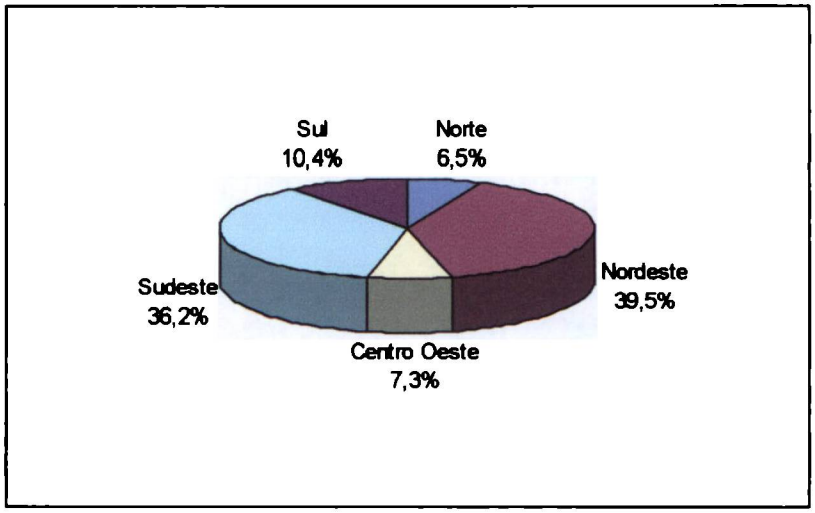
Os resultados consolidados pelo censo demográfico 2000 estão contidos na Tabela 2.1 e no gráfico apresentado na Figura 2.1, estimando-se o total do "déficit" habitacional brasileiro em 6.656.526 novas moradias. As necessidades atuais de incremento e reposição do estoque de moradias possuem incidência notadamente urbana, com 81,3% do montante.

TABELA 2.1 - DÉFICIT HABITACIONAL BRASILEIRO POR REGIÕES
(IBGE, 2000- ADAPTADO PELO AUTOR)

Região	Déficit Habitacional	
	Valores Absolutos	Percentual
Norte	433.482	6,5%
Nordeste	2.631.790	39,5%
Centro Oeste	488.482	7,3%
Sudeste	2.412.460	36,2%
Sul	690.312	10,4%
Total	**6.656.526**	**100,0%**

Em termos absolutos, o Nordeste lidera a demanda habitacional, com necessidades estimadas de 2.631.790 unidades. Vem em seguida o Sudeste, com 2.412.460 unidades. As duas regiões representam 75,8% do "déficit" habitacional brasileiro, conforme pode ser evidenciado no gráfico apresentado na Figura 2.1, com a distinção de que, na primeira, há parcela expressiva do problema a ser equacionado em áreas rurais (IBGE, 2000).

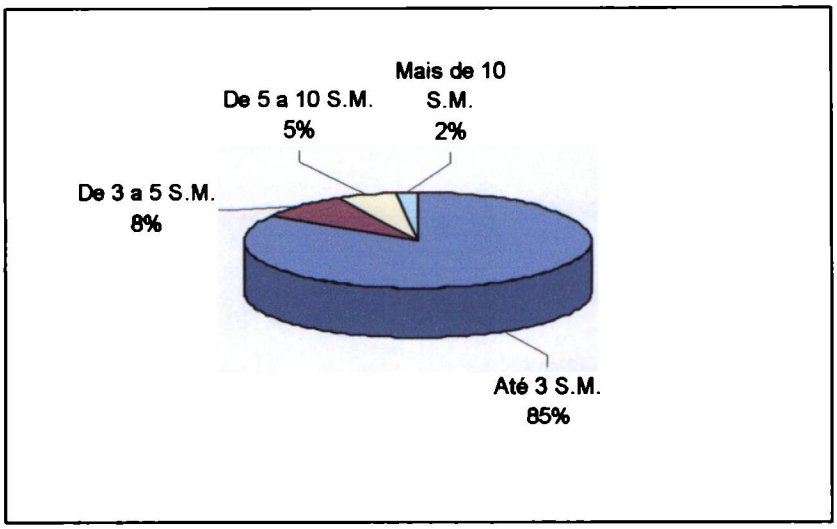
FIGURA 2.1 - DISTRIBUIÇÃO DO DÉFICIT HABITACIONAL BRASILEIRO SEGUNDO GRANDES REGIÕES (IBGE, 2000 – ADAPTADO PELO AUTOR)



A composição do "déficit" habitacional brasileiro evidencia a forte predominância dos fatores estruturais e sócio-econômicos, concentrado, praticamente, às famílias de baixa renda, com 84,2% com renda familiar até três salários mínimos, como pode ser verificado na Figura 2.2.

A consideração da população-alvo a ser beneficiada por políticas que equacionem a questão do "déficit" habitacional brasileiro é estimada em 20.190.986 pessoas em todo o país, representando 11,7% da população total (IBGE, 2000).

FIGURA 2.2 - DÉFICIT HABITACIONAL URBANO SEGUNDO FAIXA DE RENDA FAMILIAR – BRASIL – 2000. (IBGE, 2000 – ADAPTADO PELO AUTOR)



2.2 HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

Assim, considerando, por um lado, as condições atuais de produtividade do segmento de edificações e, por outro, o "déficit" habitacional brasileiro, concentrado, praticamente, às famílias de baixa renda, o grande desafio que envolve o Governo e o Setor Privado é o de avançar nos processos construtivos, com eficiência, produtividade e qualidade, mas com subsídio explícito e transparente, indispensável para garantir o acesso dessas famílias à moradia, mas com compromisso quanto à redução dos custos de produção, que devem ser repassados ao comprador. (MICD, 2001).

O investimento em moradia popular é um fator de crescimento econômico, pois a construção civil é um dos setores de mais alta empregabilidade. A geração de milhares de empregos nesse setor aumentaria o consumo e ativaria a economia de outras áreas produtivas.

De acordo com projeções do setor, haveria um incremento da mão-de-obra ocupada na construção civil, sendo que a projeção do setor é de que para cada R$ 1

bilhão de acréscimo na demanda final da atividade de construção, serão gerados 34.081 empregos diretos. Contudo, considerando-se também os empregos criados indiretamente por meio de movimentação na cadeia produtiva e, ainda, aqueles gerados mediante o efeito induzido, o total de ocupações geradas na economia chega a 176.765 vagas (MICD, 2001).

Contudo, com algumas exceções, as iniciativas de redução do "déficit" habitacional têm sido deficientes no que se refere às considerações sobre a adequação urbanística, a viabilidade empresarial, os impactos ambientais, os parâmetros de desempenho, entre outros. O enfoque restrito somente às questões tecnológicas ou à viabilização da produção em escala tem, freqüentemente, resultado em soluções inadequadas, gerando guetos sociais com impactos diretos na qualidade de vida da população (SANTOS, 2002).

Soluções tecnológicas para a habitação de interesse social já vêm sendo estudadas intensamente nos centros de pesquisa do país. O "Catálogo de Processos e Sistemas Construtivos para a Habitação", desenvolvido pelo IPT (1998), por exemplo, apresenta 28 sistemas construtivos viáveis de serem utilizados neste mercado. A existência de tal conhecimento e, ainda assim, a insistente presença do "déficit" habitacional do Brasil contribui para confirmar a hipótese de que o problema da habitação para a população de baixa renda não pode ser encarado apenas com o enfoque tecnológico (SANTOS, 2002).

Entre as muitas diretrizes que se pode seguir para o atendimento de comunidades de interesse social, objetivando o barateamento da construção e a adequabilidade de suas habitações, encontra-se a pesquisa de materiais alternativos aos utilizados tradicionalmente, principalmente daqueles produzidos com materiais reciclados.

2.3 A GERAÇÃO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL

O setor da construção brasileiro apresenta uma significativa taxa de desperdício de materiais, gerando grandes quantidades de resíduos, em obras novas ou demolições. Segundo PINTO (1998) estes resíduos representam em torno de 2/3 (em massa) do total dos resíduos coletados em cidades médias e de grande portes no país, conforme indicam informações da Tabela 2.2.

TABELA 2.2 - PARTICIPAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO, NO TOTAL DE RESÍDUOS COLETADOS EM CIDADES BRASILEIRAS (PINTO, 1998), ADAPTADO PELO AUTOR.

Cidade	Ano	Participação (%)
São José dos Campos/SP	1995	68%
Ribeirão Preto/SP	1995	67%
Belo Horizonte/MG	1996	51%
Brasília/DF	1996	66%
Campinas/SP	1996	64%
Jundiaí/SP	1997	64%
São José do Rio Preto/SP	1997	60%
Santo André/SP	1997	62%

Em qualquer processo, devido à variabilidade natural, é inevitável que ocorra um determinado volume de perdas. A fração de perdas que excede a este limite mínimo característico da tecnologia, é considerado desperdício. Na construção civil, uma parcela das perdas de materiais permanecem incorporadas ao edifício, na forma de espessuras excessivas e outra parcela é retirada na forma de resíduo de construção (ANDRADE, 1999 apud JOHN, 2000).

Na Grã-Bretanha, pesquisas verificaram desperdícios de materiais da ordem de 5% a 10% ,em volume, (SKOYLES, 1987 apud SANTOS, 2001) . No Brasil, pesquisas monitoraram os desperdícios de sete materiais em cinco canteiros de obra e determinaram valores de desperdício entre 5,06% e 11,62% em termos do

custo total destes materiais (SOIBELMAN,1993 apud SANTOS, 2001). Na Noruega, estima-se que os custos devido a falta de conformidade, erros, alterações e desperdícios em geral são responsáveis por cerca de 10% do custo total de construção de edificações (SJOHOLT, 1998, apud SANTOS, 2001).

Estes resíduos são considerados simplesmente como materiais inertes, que não causam problemas e são freqüentemente depositados sem nenhuma consideração, em aterros sanitários ou outros locais, tais como fundos de vale, córregos e rios, causando muitos problemas ambientais, representando um grande problema para as cidades.

Começa a se observar uma tendência de valorização dos resíduos no sentido de reduzir o volume de resíduos depositados diariamente em locais específicos nas cidades, de racionalização no uso de embalagens e de fabricação de produtos com uma maior vida útil a partir de materiais que possam ser posteriormente reciclados (SANTOS, 2001). É necessário também, alterar hábitos e revisar práticas comuns da indústria (LAURITZEN, 1997).

Nos últimos anos, o Banco Mundial e OECD enfatizaram a necessidade de reciclagem e de redução do desperdício e introdução e implementação de tecnologias amigas do ambiente, que devem ser consideradas como um os maiores desafios tecnológicos de nosso tempo. Para encorajar a realização destes objetivos, o Banco Mundial declarou claramente esta melhoria e proteção do ambiente é uma questão financeira, e que devia ser paga pelos países desenvolvidos (LAURITZEN, 1997).

2.4 CONSTRUÇÃO CIVIL, RECICLAGEM E MEIO AMBIENTE

A preservação e a qualidade do meio ambiente é um dos assuntos mais discutidos no mundo e está cada vez mais presente na mídia e na mira da opinião pública.

Com a intensa industrialização, advento de novas tecnologias, crescimento populacional e aumento de pessoas em centros urbanos e diversificação do consumo de bens e serviços, os resíduos se transformaram em graves problemas urbanos com um gerenciamento oneroso e complexo considerando-se volume e massa acumulados, principalmente após 1980. Os problemas se caracterizavam por escassez de área de deposição de resíduos causados pela ocupação e valorização de área urbanas, altos custos sociais no gerenciamento de resíduos, problemas de saneamento público e contaminação ambiental (AJTESZYC, 2000).

Desde então, a questão ambiental tornou-se elemento de peso na avaliação do desempenho de várias empresas, levando a considerar o que era antes uma opção a uma obrigação, após Resolução 307/2002 do CONAMA.

Do ponto de vista legal, o Brasil já conta com várias leis cujo enfoque é o meio ambiente, como as Leis Federais 6938/81 (Política Nacional do Meio Ambiente), 7347/85, 9433/97 (Política Nacional de recursos Hídricos), entre outras, além das Constituições Estaduais e Municipais. A Lei Federal 9605/98 – Lei de Crimes Ambientais – define a responsabilidade civil objetiva por danos causados ao meio ambiente (AJTESZYC, 2000).

Na construção civil internacional, a tendência de considerar o meio ambiente já está presente e deve se tornar uma exigência que supera a questão ideológica. Não só pelas leis e normas a serem seguidas, mas pela própria escassez de recursos que certamente vai exigir um melhor controle e um uso racional desses recursos materiais (AJTESZYC, 2000).

Na tentativa de aliar os princípios da sustentabilidade com o desenvolvimento social e econômico muitos segmentos da sociedade têm repensado suas estratégias de produção. A sociedade vem, cada vez mais, optando por produtos que ofereçam maior qualidade a baixos custos e que utilizem os recursos naturais de forma mais racional.

A reciclagem é essencial para o desenvolvimento sustentável, uma vez que é impossível pensar em uma sociedade que não gere resíduos, além disso, ela apresenta muitas vantagens como a redução do consumo de energia, da poluição e aterros. A cadeia produtiva da construção civil já é a maior recicladora da economia, mas possui grande potencial para aumentar o volume de materiais que recicla, tendo em vista a quantidade de materiais que consome e as características dos seus materiais (JOHN, 2000).

As pressões para se reduzir desperdícios na construção têm aumentado consideravelmente com as emergentes demandas da sociedade, resultantes da maior consciência da população quanto aos problemas ambientais mundiais e das novas legislações, contemplando a questão ambiental. Há uma crescente demanda por produtos e processos concebidos com os conceitos ambientais de sustentabilidade (BROWM et al, 1995, apud SANTOS, 2001).

A recidagem de resíduos e a sua incorporação em materiais de construção, irá minimizar também os problemas com o gerenciamento dos resíduos sólidos dos municípios e o desperdício do consumo energético agregado a estes produtos. Haverá um crescimento da vida útil dos aterros sanitários, diminuição dos pontos de descarte clandestinos e redução dos custos de gerenciamento de resíduos. Como conseqüência, deverá haver um melhor bem estar social e ambiental (LEITE, 2001).

Atualmente muitos tipos de resíduos já estão sendo reciclados, porém sua aplicação ainda é restrita (QUEBAUD et al, 1997). Muitos resíduos que hoje já são reciclados e reincorporados na construção Civil, como é o caso das adições de escória de alto forno aos cimentos (MEHTA, 1994), ou da sílica ativa como adição para produção de concretos de alta resistência (AÏTCIN, 2000), entre outros, levaram um longo tempo até serem consolidados, o que ocorreu após muitos estudos, em várias partes do mundo.

Desta forma, a reciclagem na construção civil pode gerar inúmeros benefícios, tais como:

a- redução no consumo de recursos naturais não-renováveis, quando substituídos por resíduos reciclados (JOHN, 2000).

b- redução de áreas necessárias para aterro, pela minimização de volume de resíduos pela reciclagem. Destaca-se aqui a necessidade da própria reciclagem dos resíduos de construção e demolição, que representam mais de 50% da massa dos resíduos sólidos urbanos (PINTO, 1999).

c- redução do consumo de energia durante o processo de produção. Destaca-se a indústria do cimento, que usa resíduos de bom poder calorífico para a obtenção de sua matéria-prima (co-incineração) ou utilizando a escória de alto-forno, resíduo com composição semelhante ao cimento (JOHN, 2000).

d- redução da poluição; por exemplo para a indústria de cimento, que reduz a emissão de gás carbônico utilizando escória de alto forno em substituição ao clinquer (JOHN, 1999).

2.4.1 Breve Histórico da Reciclagem de Resíduos de Construção

O reaproveitamento de resíduos para uso em construção é praticado desde o Império Romano e Grécia antiga. Há relatos de uso de restos de telhas, tijolos e utensílios de cerâmica como agregado graúdo em concretos rudimentares. Aplicava-se também estes rejeitos, moídos, como aglomerantes, com aproveitamento das propriedades pozolânicas dos materiais cerâmicos (SANTOS, 1975 apud LIMA, 1999).

No século XIX, na Alemanha, utilizaram-se restos de blocos de concreto para a produção de artefatos de concreto. Realizaram-se também, posteriormente, pesquisas pontuais de reutilização de resíduos de construção (DE PAW & LAURITZEN,1994 apud LIMA, 1999).

Entretanto, foram as grandes catástrofes deste século, como terremotos e guerras, que impulsionaram a prática da reciclagem em locais com grandes volumes de resíduos, e grande carência e urgência de construção de edificações e infra-estrutura. Segundo LIMA (1999), durante a Segunda Guerra e até 1955, foram reciclados, aproximadamente, 115 milhões de metros cúbicos de resíduos de construção e demolição na Alemanha, os quais foram utilizados na construção de aproximadamente 175 mil unidades habitacionais.

Nas últimas décadas, principalmente por razões ambientais e econômicas, vários países vêm adotando a reciclagem, realizada por empresas particulares ou públicas, podendo ser citados: Holanda, Dinamarca, Estados Unidos, Japão, França, Itália, Espanha, Reino Unido, Rússia e mais recentemente o Brasil (LIMA, 1999).

Durante o período de desenvolvimento da reciclagem de resíduos de construção, realizaram-se pesquisas e proposições de normas para obtenção e classificação do agregado reciclado. Em alguns países, existe conhecimento consolidado sobre o material e normas avançadas para sua aplicação em vários serviços (CINCOTTO,1988).

As aplicações, no entanto, variam conforme o país, em função de características particulares como oferta de materiais de construção e resíduos, disponibilidade de locais para deposição e rigor das normas relativas a materiais a serem utilizados na construção (LIMA, 1999).

2.4.2 A Reciclagem de Resíduos no Brasil

Comparativamente a países do primeiro mundo, a reciclagem de resíduos no Brasil como materiais de construção é ainda tímida, com a possível exceção da intensa reciclagem praticada pelas indústrias de cimento e de aço (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001).

A reciclagem de resíduos de construção em escala significativa é prática

recente no Brasil, iniciada na década de 80 com o uso de pequenos moinhos em construção de edifícios, por meio dos quais se re-aproveitavam resíduos de alvenaria para a produção de argamassas para aplicação em emboço, principalmente (LIMA, 1999).

Na década de 90, iniciou-se a implantação de recicladoras, por administrações de municípios da região Sul e Sudeste e vários municípios ainda estudam a implantação. Alguns empresários mostram-se interessados no estabelecimento de parcerias com prefeituras, para reciclagem de resíduos de construção e comercialização de agregados reciclados (LIMA, 1999).

Nos municípios em que a reciclagem já foi implantada, são geradas quantidades significativas de agregado reciclado aplicados em serviços simplificados, como cobertura primária de vias, sub-bases de pavimentos asfálticos, drenagem e controle de erosão. Parte do material é aplicado na produção de concreto, argamassa e na fabricação de componentes para alvenaria, pavimentação e infra-estrutura urbana (LIMA, 1999).

Porém, a inexistência de marcas de qualidade ambiental de produtos demonstra que, diferente de outros países, as empresas brasileiras que eventualmente reciclam não utilizam sua contribuição ambiental como ferramenta de marketing, apesar do consumidor, mantido o preço e a qualidade, preferir produtos com menor impacto ambiental (MORENO, 1998).

Um das causas possíveis para este aparente desinteresse é um eventual receio de que o público consumidor leigo associe o produto reciclado a produto de baixa qualidade. Segundo ÂNGULO et al (2001), esta dúvida somente pode ser resolvida com de pesquisa de mercado.

A maior experiência brasileira na área de reciclagem de produtos gerados por outras indústrias na produção de materiais de construção civil é a conduzida pela indústria cimenteira, que recicla principalmente escórias de alto forno básica e cinzas volantes (MEHTA, 1998).

Estima-se que em 1996 a indústria cimenteira brasileira, ao adotar a reciclagem maciça de cinzas volantes e escórias granuladas de alto forno básicas, além da calcinação de argilas e adição de filler calcário, reduziu a geração de CO_2 em 29% e uma economia de combustível de 28% (YAMAMOTO, 1997 apud ÂNGULO et al, 2001).

Adicionalmente, estima-se que a indústria cimenteira economizou entre 1976 e 1995 cerca de 750 mil toneladas de óleo combustível queimando resíduos, como casca de arroz, serragem e pedaços de madeira, pó de carvão vegetal, pedaços de pneus e borrachas, cascas de babaçu, entre outros (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001).

2.4.3 Reciclagem de Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

A reciclagem de RCD como material de construção civil, iniciada na Europa após a segunda guerra mundial, encontra-se atrasada no Brasil, apesar da escassez de agregados e área de aterros nas grandes regiões metropolitanas, especialmente se comparada com países europeus, onde a fração reciclada pode atingir cerca de 90% dos agregados utilizados, como é o caso da Holanda, que já discute a certificação do produto (HENDRICKS, 1994 apud ÂNGULO et al, 2001).

Até o momento, quantias muito limitadas de RCD são reciclados, sendo que a maioria é depositada em aterros. Porém como as quantias de RCD estão aumentando constantemente, existem muitas razões por enfocar em métodos que promoverão um aumento na reciclagem, como por exemplo, as taxas para depósito de resíduos em aterros, na Europa e nos EUA estas taxas, giram em torno de US$ 20,00 a US$ 50,00 por tonelada (LAURITZEN, 1997).

Sob o aspecto econômico, reciclagem de RCD é atraente quando o produto reciclado for competitivo com o produzido com recursos naturais, em relação a custo e qualidade. Os materiais reciclados serão, normalmente, competitivos onde

existe uma escassez de matérias-primas e falta de depósito satisfatório (LAURITZEN, 1997).

Embora já se observe no mercado a movimentação de empresas interessadas em explorar o negócio de reciclagem de RCD e não apenas o negócio de transporte, as experiências brasileiras estão limitadas em ações das municipalidades que buscam reduzir os custos e o impacto ambiental negativo da deposição do enorme massa de entulho - média de 0,5 ton/hab.ano (PINTO ,1999).

Algumas municipalidades como a de Belo Horizonte operam plantas de reciclagem, produzindo principalmente agregados para base de pavimentação. Adicionalmente a tecnologia de reciclagem de RCD em canteiro pode ser empregada para a produção de argamassas, aproveitando inclusive a atividade pozolânica conferida por algumas frações cerâmicas (HELENE, 1996 apud ÂNGULO et al, 2001).

2.5 POTENCIAL DE RECICLABILIDADE DOS RESÍDUOS

Diante das limitações de espaço existente para dispor os subprodutos gerados pelas indústrias e o aumento da preocupação ambiental trouxe o setor da Engenharia Civil para a investigação de caminhos alternativos que possibilitem depositar tais rejeitos de forma segura e econômica. Diante disto, a construção civil vem estudando a solidificação/ estabilização de resíduos como técnica de obtenção de novos materiais de construção. Neste processo, pela da adição de aglomerante ao resíduo, a matriz adquire resistência durante o processo de cura e os compostos poluentes ficam fixados aos compostos hidratados do cimento (LUZ et al, 2001).

A indústria da construção civil é vista como um importante setor para incorporação de resíduos provenientes de diversas indústrias, devido principalmente, à grande variedade de materiais de construção necessários em uma edificação. Como as edificações têm elevada vida útil, os resíduos ficam imobilizados por um

longo período de tempo.

Em alguns casos, podem surgir limitações à reciclagem por falta de normas apropriadas para tal. Em relação a aspectos econômicos, a reciclagem é influenciada por fatores como a quantidade de material e localização geográfica, custo de disposição de resíduos, de processamento e transporte e o preço dos materiais reciclados em comparação aos originais (SANTOS, 2001).

Em relação a aspectos ambientais, a reciclagem só vale a pena se os impactos ambientais durante as suas etapas forem menores que aqueles relativos à produção dos materiais originais. Ainda, sob o ponto de vista energético, a energia utilizada para a coleta, separação, tratamento de resíduos e processamento do material tem que ser menor do que aquela utilizada para a extração de matérias-primas e processamento de materiais originais (SANTOS, 2001).

Aço e alumínio são bons exemplos. A produção do alumínio a partir da reciclagem de sucatas, apresenta ganhos energéticos significativos em relação ao processamento da matéria-prima virgem, e energia necessária para a reciclagem, dependendo da eficiência do processo, podendo chegar a 95% menor.

Para os plásticos e também para o papel podem ocorrer ganhos energéticos a partir da utilização dos mesmos na forma de combustível, ou seja, pela sua conversão em energia por processo de queima. Os plásticos para poderem ser reciclados têm que ser muito homogêneos, o que traz gastos altos para a sua separação, pois não pode haver contaminação nenhuma entre os diversos tipos de plástico.

Em relação aos materiais de construção, deve-se tentar promover sempre que possível a reutilização do RCD. Na Tabela 2.3 é mostrado o potencial de reciclabilidade dos materiais de construção (SANTOS, 2001).

TABELA 2.3 - POTENCIAL DE RECICLABILIDADE DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO (SANTOS, 2001)

Material	Potencial de Reciclabilidade
Alumínio	Reciclável
Cobre	Reciclável
Zinco	Reciclável
Aço	Reciclável
Poliestireno Expandido	Reciclável
Polietileno (PE)	Reciclável
Cerâmica	Reciclável
Concreto	Reciclável
Polipropileno (PP)	Reciclável
Policloreto de Vinila (PVC)	Não Reciclável
Cimento - Amianto	Não Reciclável
Madeira tratada com Produtos Tóxicos	Não Reciclável

Em geral, a reciclagem do amianto não é cogitada em nenhuma hipótese, existindo estudos para a sua não utilização ou para a sua eliminação ou fixação em filmes de tintas específicas sobre materiais que apresentam fibras de amianto na sua composição, com a finalidade de limitar as emissões destas fibras, nos prédios que já as contenham (SANTOS, 2002).

Polímeros termoplásticos em geral, que podem ser remodelados sob ação do calor, são considerados potencialmente recicláveis, ao contrário dos termofixos, que não são remodelados sob ação do calor. O problema é a grande variedade de plásticos misturados, o que torna muito onerosa a sua separação para posterior reciclagem.

Outras barreiras verificadas para a reciclagem dos plásticos, é que o material reciclado promove uma diminuição da qualidade devido à existência de degradações no plástico original. Outro problema é o baixo preço dos polímeros virgens em relação aos reciclados (SANTOS, 2001).

O PVC não pode ser queimado devido à geração de dioxinas, organoclorados e gás clorídrico altamente corrosivo, além de transformar 90% da massa original do plástico em resíduos de sais sem nenhuma utilidade. Outro problema em relação à reciclagem do PVC refere-se à dificuldade de distinção entre

ele e o polietileno tereftalato (PET) durante a separação dos mesmos nos entulhos. O PVC funde-se à uma temperatura bem menor que o PET, começando a queimar quando o PET inicia sua fusão, criando marcas pretas no PET, inviabilizando o mesmo para muitas aplicações (SANTOS, 2001).

A reciclagem de produtos de PVC pós-consumo é difícil devido à grande variedade de aditivos e formulações químicas inseridas nestes, tais como, plastificantes, que dão mais flexibilidade ao PVC e os estabilizantes, que reduzem a tendência de degradação sob várias circunstâncias.

Enquanto que a reciclagem de resíduos industriais de PVC, por si só, não representa maiores problemas, a reciclagem dos mesmos após a sua utilização deve ser vista de uma maneira diferente. Em geral, os produtos de PVC pós-consumo são considerados não recicláveis (SANTOS, 2002).

A reciclagem de RCD para argamassas e concretos já foi estudada e tem se mostrado viável em estudos brasileiros do ponto de vista tecnológico e econômico. Entretanto, o risco ambiental não foi avaliado (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001).

Pode-se melhorar as características de argamassas, com a aplicação do reciclado em substituição total ou parcial à areia natural, mas ainda falta determinar algumas características destas argamassas para uma aplicação racional e segura (LIMA, 1999).

A reciclagem de pavimento asfáltico, introduzida no mercado paulistano no início da década de 90 é hoje uma realidade nas grandes cidades brasileiras, viabilizando a reciclagem tanto do asfalto quanto dos agregados do concreto asfáltico (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001).

CINCOTTO (1988) e COLLINS (1994), apresentam inventários com dezenas de resíduos de mineração, metalúrgicos, industriais, municipais, agrícolas e florestais e seus usos estabelecidos e potenciais, em obras de engenharia civil, classificando-os conforme proposta da OECD e da NCHRP.

O agregado obtido a partir da reciclagem de resíduo de construção pode ser aplicado em serviços como pavimentação, argamassas de assentamento e revestimento, concretos, fabricação de pré-moldados, serviços de drenagem entre outros (LIMA, 1999).

2.6 METAS PARA RECICLAGEM

Em alguns países da Comunidade Européia, os materiais reciclados são, geralmente, mais baratos que os materiais naturais, e reciclagem na Alemanha, Holanda e a Dinamarca é menos cara que a disposição destes materiais em aterros sanitários. A maioria de países membros de União Européia estabeleceram metas para reciclagem que varia de 50% e até 90% dos RCD produzido, a fim de substituir recursos naturais como madeira, aço e agregados (LAURITZEN,1997).

No Brasil, as novas Resoluções do CONAMA, estabelecem diretrizes, critérios e procedimentos para gestão de resíduos, disciplinando as ações necessárias de forma a minimizar os impactos ambientais.

2.7 IMPACTOS DA RECICLAGEM

A reciclagem de resíduos, assim como qualquer atividade humana, também pode causar impactos ao meio ambiente. Variáveis como o tipo de resíduo, a tecnologia empregada, e a utilização proposta para o material reciclado, podem tornar o processo de reciclagem ainda mais impactante do que o próprio resíduo o era antes de ser reciclado. Dessa forma, o processo de reciclagem acarreta riscos ambientais que precisam ser adequadamente gerenciados (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001).

Dependendo de sua periculosidade e complexidade, estes rejeitos podem causar novos problemas, como a impossibilidade de serem reciclados, a falta de tecnologia para o seu tratamento, a falta de locais para dispô-los e todo o custo que

isto ocasionaria.

É preciso, também, considerar os resíduos gerados pelos materiais reciclados no final de sua vida útil e na possibilidade de serem novamente reciclados, fechando assim o ciclo (JOHN, 2000).

Um parâmetro que geralmente é desprezado na avaliação de produtos reciclados é o risco à saúde dos usuários do novo material e dos próprios trabalhadores da indústria recicladora, devido à lixiviação de frações solúveis ou até mesmo pela evaporação de frações voláteis (ÂNGULO; ZORDAN; JOHN, 2001).

Dessa forma, é preciso que a escolha da reciclagem de um resíduo seja criteriosa e pondere todas as alternativas possíveis com relação ao consumo de energia e matéria-prima pelo processo de reciclagem escolhido.

2.8 METODOLOGIA DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS A PARTIR DE RESÍDUOS

Um processo de pesquisa e desenvolvimento de um novo material ou produto a partir de um resíduo, que venha a se estabelecer como uma alternativa de mercado ambientalmente segura, é uma tarefa complexa envolvendo conhecimentos multidisciplinares. Assim, ÂNGULO, ZORDAN, e JOHN (2001) propõem uma metodologia que tem por objetivo orientar atividades de pesquisa e desenvolvimento de reciclagem de resíduos como materiais de construção, que compreende os tópicos listados nos subitens 2.8.1 a 2.8.9.

2.8.1 Identificação e Quantificação dos Resíduos Disponíveis

A determinação de dados quantitativos dos resíduos, como a quantidade nacional gerada, os locais de produção e a sua periculosidade. Os inventários de resíduos são as fontes mais fáceis de obtenção destas informações, porém estas nem sempre existem ou estão disponíveis.

Nesta etapa é necessário confirmar e detalhar os dados sobre a geração do resíduo na empresa ou na região em estudo. Além da quantidade de resíduos anual ou mensal gerada é também importante neste estágio detectar eventual sazonalidade na geração do resíduo e o volume existente em estoque.

2.8.2 Caracterização do Resíduo

É fundamental um estudo das características físico-químicas e das propriedades dos resíduos, por meio de ensaios e métodos apropriados. Tais informações darão subsídio para a seleção das possíveis aplicações dos resíduos. A compreensão do processo que leva a geração do resíduo fornece informações imprescindíveis à concepção de uma estratégia de reciclagem com viabilidade no mercado.

É também importante investigar a variabilidade das fontes de fornecimento de matérias-primas, pois é possível operar com matérias-primas variáveis mantendo sob controle as características do produto principal variando, no entanto, a composição dos resíduos.

2.8.3 Custos Associados aos Resíduos

Os custos despendidos com os resíduos, como os de licenças ambientais, deposição de resíduos, transportes, as multas ambientais, entre outros, devem ser considerados para a futura avaliação da viabilidade econômica da reciclagem. Da mesma forma, o faturamento obtido quando o produto é comercializado deve ser apropriado separadamente, assim como a proporção real entre o comercializado e o estocado.

Uma das condições para viabilizar o novo produto no mercado é que seu preço de venda seja competitivo com a solução técnica já estabelecida ou que haja um nicho de mercado onde o produto apresente significativa vantagem competitiva.

Para atrair o interesse do gerador do resíduo sob o estrito ponto de vista financeiro, a reciclagem precisa reduzir os custos com o resíduo, incluídos os custos decorrentes da necessidade de mudança de tratamento do resíduo de forma a adequá-lo à reciclagem.

2.8.4 Seleção das Aplicações Viáveis

De acordo com as características físico-químicas dos resíduos, são avaliadas as aplicações tecnicamente viáveis a partir de sua reciclagem. Como regra geral, tais aplicações são aquelas que melhor aproveitam as suas características. Assim, a aplicação não deve ser feita em torno de idéias pré-concebidas (JOHN, 2000). Esta etapa requer uma grande variedade de conhecimentos técnicos, científicos e de mercado, exigindo o envolvimento de uma equipe multidisciplinar.

2.8.5 Avaliação do Produto

A metodologia de avaliação do produto deve contemplar aspectos relacionados ao seu desempenho e a sua durabilidade. O desempenho de componentes tem por objetivo analisar a adequação ao uso, ou seja, adequação às necessidades dos usuários de um produto quando integrado em alguma edificação.

A durabilidade é um aspecto fundamental no desempenho do produto, afetando o custo global da solução e o impacto ambiental do sistema.

O objetivo final do estudo de durabilidade é estimar a vida útil, definida como período de tempo durante o qual o produto vai apresentar desempenho satisfatório, nas diferentes condições de uso (SJOSTROM, 1996 apud ÂNGULO et al, 2001).

2.8.6 Análise de Desempenho Ambiental

É importante que o desempenho ambiental das alternativas de reciclagem seja avaliado além dos usuais testes de lixiviação. Estes ensaios foram desenvolvidos para análise de risco ambiental de resíduos quando depositados em aterros. Geralmente, é utilizado apenas pelos órgãos de fiscalização do meio ambiente, e nem sempre com bom senso, sendo usado até mesmo como argumento para impedir processos de tratamento e de reciclagem de resíduos.

Visto que se trata de um resíduo, que é um subproduto de outro processo produtivo, ele deveria ser analisado com critérios não apenas de engenharia, mas, principalmente, relacionado à saúde pública e ao meio ambiente, tendo em vista que mesmo utilizado como um material de construção pode causar danos aos trabalhadores, aos usuários da construção e, também, ao meio ambiente, sempre considerando o período de exposição do berço ao túmulo.

2.8.7 Desenvolvimento do Produto

O desenvolvimento do produto a partir do resíduo selecionado compreende as etapas de pesquisa laboratorial para o desenvolvimento de tecnologia básica, seguindo do desenvolvimento da tecnologia aplicada que envolve o processo de produção e ferramentas de gestão e controle da qualidade. Finalmente, um estágio de pré-produção ou produção em escala semi-industrial é recomendável para o refinamento do produto (JOHN; CAVALCANTE, 1996 apud ÂNGULO et al, 2001).

Nesta fase um conceito importante é o da engenharia simultânea, onde são analisados, simultaneamente, o desenvolvimento da tecnologia, o desempenho do novo produto, aspectos relativos a manutenção, confiabilidade, marketing e aspectos ambientais, todos do berço ao túmulo (SWINK, 1998 apud ÂNGULO et al, 2001).

2.8.9 Transferência de Tecnologia

A reciclagem vai ocorrer apenas se o novo material entrar em escala comercial. Assim, a transferência da tecnologia é uma etapa essencial do processo (JOHN, 2000).

Para se obter êxito nessa transferência, o preço do produto é importante, mas não é suficiente. A colaboração entre os diversos segmentos envolvidos no processo, desde os geradores do resíduo, potenciais consumidores, agências governamentais encarregadas da gestão do ambiente e das instituições de pesquisa envolvidas é fundamental para o sucesso da reciclagem, e deverá ocorrer preferencialmente desde o momento em que a pesquisa se inicia.

Além disso, há a necessidade de se convencer os consumidores finais e profissionais que utilizarão ou indicarão os novos produtos. O uso de documentação e certificados que garantam as vantagens do novo produto, bem como a colaboração de universidades e centros de pesquisa com reputação de excelência no mercado, certamente auxilia no convencimento da qualidade do produto.

A implantação de tecnologias mais limpas e metas para reciclar e minimizar o desperdício, está indissoluvelmente atrelado a uma compreensão dos problemas diferentes em termos de materiais, desperdício, administração e reciclagem de resíduos de construção. Educação e informação em todos os níveis das indústrias, fazem-se urgentemente necessários (LAURITZEN, 1997).

2.9 BARREIRAS PARA APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO

A fim de alcançar as metas de reciclagem de resíduos de construção e demolição, é necessário que todas as barreiras e obstáculos sejam considerados. O superar destas barreiras deve ser planejado e executado com uma ação de longo prazo, combinando planejamento com o desenvolvimento e pesquisa adequada, implementação de instrumentos legais, econômicos e técnicos, e exigência de

cumprimento daquelas iniciativas, envolvendo legislação e regulamentos (LAURITZEN, 1997).

Na tentativa de aliar os princípios da sustentabilidade com o desenvolvimento social e econômico, muitos segmentos da sociedade têm repensado suas estratégias de produção.

A sociedade vem, cada vez mais, optando por produtos que ofereçam maior qualidade a baixos custos e que utilizem os recursos naturais de forma mais racional (SANTOS, 2001).

Existem, entretanto, várias barreiras a serem transpostas para a reciclagem de resíduos na construção civil (JOHN, 2000), entre as quais, SANTOS (2001) destaca:

a- limitadores legais, regulamentares e de educação - a superação deste problema depende da existência de políticas de longo prazo, como as existentes na Holanda e EUA. No Brasil, o Programa de Reciclagem Brasileiro, criado em 1998, pelo governo federal pela portaria n° 92 do antigo Ministério da Indústria, Comércio e Turismo, parece ser o embrião desta articulação entre o estado e a sociedade;

b- dificuldade de introdução de novas tecnologias na construção civil - ocasionada pelo baixo impacto da inovação tecnológica nos custos do empreendimento imobiliário, razão econômica e dois fatores técnicos: a existência de normas prescritivas que especificam a adoção de uma determinada solução específica e não um desempenho e o histórico Brasileiro recente de novas tecnologias que resultaram em desempenhos insatisfatórios.

Um dos problemas que precisa ser enfrentado é a eventual concepção de consumidores e até técnicos da área de que um produto contendo resíduo possui qualidade inferior. Estudos de MORENO (1998) revelam que, mantido o preço e a qualidade, o consumidor prefere produtos com menor impacto ambiental.

Portanto, as barreiras técnicas podem ser vencidas pela demonstração, pela da condução de pesquisas, de que o material apresenta desempenho técnico e ambiental igual ou superior a alternativa tradicional.

2.10 CERTIFICAÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS

Devido a tradições e barreiras psicológicas, a atitude geral para reciclagem de materiais de construção ainda inibe a utilização de materiais reciclados. Então, é de grande importância que os materiais reciclados sejam oficialmente certificados e aceitos por toda sociedade e pela indústria da construção (LAURITZEN, 1997).

2.11 ESPUMAS DE POLIURETANO

Neste item, apresenta-se um panorama sobre as espumas de poliuretano, desde sua fabricação e utilização, até as formas de descarte e reciclagem, atualmente utilizadas para tratamento dos resíduos e sub-produtos de sua produção.

Verifica-se a necessidade deste estudo, diante da utilização proposta nesta dissertação para este material, ou seja, para basear os estudos necessários para a utilização do resíduo das espumas rígidas de poliuretano, no concreto para a produção de blocos pré-fabricados.

2.11.1 Definição

A espuma de poliuretano é um produto com estrutura celular, obtido pela reação de uma mistura de di-isocianatos ou poliisocianatos com compostos hidroxílicos em presença de agentes de expansão, catalisadores e/ou compostos tensoativos (SATO, 1988).

2.11.2 Histórico

Os poliuretanos (PU's) foram desenvolvidos por Otto Bayer, na Alemanha em 1937, inicialmente, com a fabricação de espumas rígidas, adesivos, e tintas (VILAR, 2002).

Os elastômeros tiveram a sua origem na década de 1940, na Alemanha e Inglaterra. Durante a Segunda Guerra Mundial, o desenvolvimento dos PU's foi descontinuado, porém desde 1946 o seu mercado tem apresentado um crescimento enorme (VILAR, 2002).

A década de 1950 registrou o desenvolvimento comercial dos PU's em espumas flexíveis.

Durante os anos 60, o uso dos clorofluorcarbonos (CFC's) como agente de expansão das espumas rígidas resultou no grande emprego deste material em isolamento térmico (VILAR, 2002).

Na década de 1970 as espumas semi-flexíveis e semi-rígidas revestidas com materiais termoplásticos foram largamente usadas na indústria automotiva (VILAR, 2002).

Nos anos 80, o crescimento de importância comercial foi a moldagem por injeção e reação, dando ímpeto aos estudos das relações entre estrutura molecular e propriedades dos PU's (VILAR, 2002).

Na década de 1990 e neste início de milênio, presenciou-se a preocupação com o meio ambiente, com as pesquisas voltadas para a substituição dos CFC's considerados danosos à camada de ozônio terrestre, o desenvolvimento de sistemas que não possuam compostos orgânicos voláteis (VOC's), e os processos de reciclagem dos PU's (VILAR, 2002; OECD, 2001).

2.11.3 Aplicações das Espumas de Poliuretano

Centenas de aplicações foram desenvolvidas para atender diversos segmentos de mercado, entre elas VILAR (2002), cita:

a- na área de espumas flexíveis os PU's se popularizaram nos segmentos de colchões, estofados e assentos automotivos; os semi-rígidos na indústria automotiva na forma de descansa-braços, painéis, pára-choques, entre outros;

b- os micro-celulares em calçados, e;

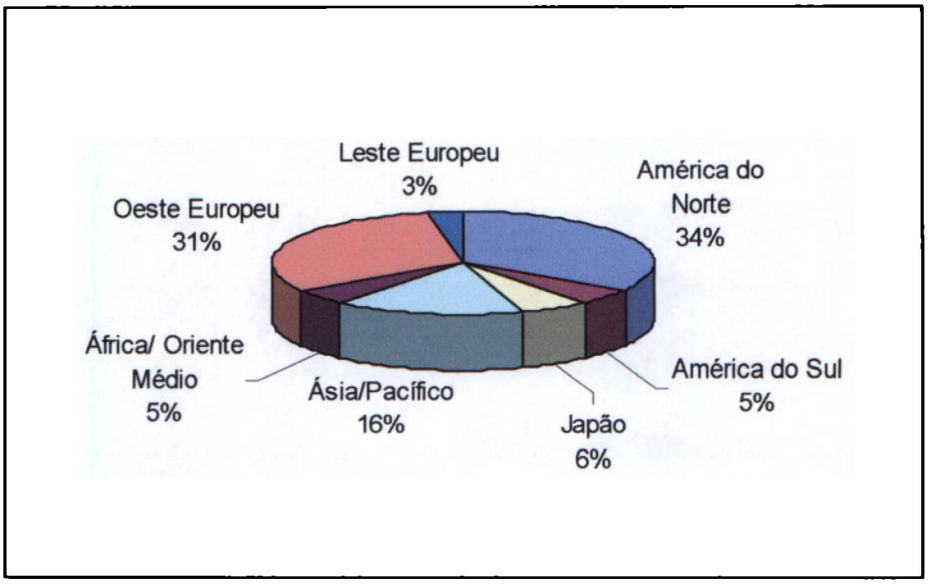
c- os rígidos no isolamento térmico de geladeiras, "freezers", caminhões frigoríficos, na construção civil em painéis divisórios, entre outros.

2.11.4 Mercado

O mercado para PU's, sintetizado em 1937, já atingia em 2000 um consumo mundial da ordem de 8,5 milhões de toneladas, com previsão de 10,8 milhões de toneladas, em 2004 (VILAR, 2002).

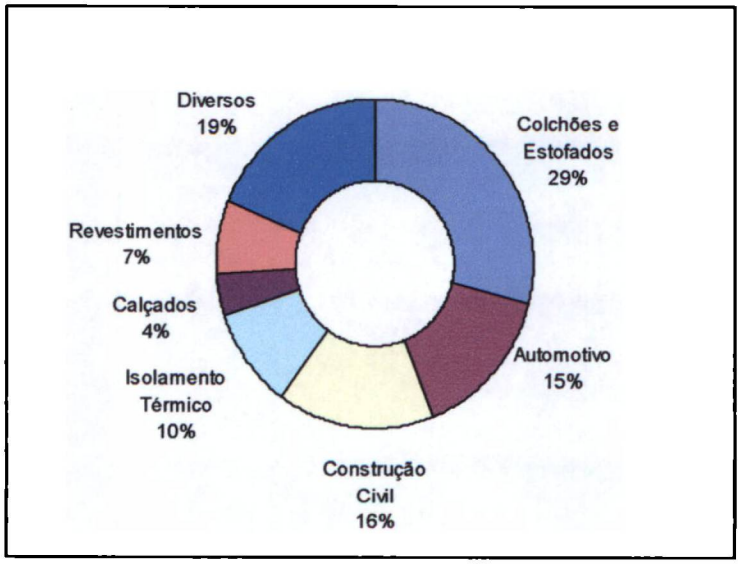
De acordo com VILAR (2002), os PU's ocupam a sexta posição, com cerca de 5% do mercado dos plásticos mais vendidos no mundo, comprovando ser um dos produtos mais versáteis empregados pela indústria. Os maiores centros consumidores são América do Norte, Europa e o Continente Asiático, como pode ser verificado no gráfico apresentado na Figura 2.3.

FIGURA 2.3 - DEMANDA MUNDIAL DE PU POR REGIÃO EM 2000 (VILAR, 2002)
ADAPTADO PELO AUTOR



Os consumos percentuais aproximados, em 2000, nos diferentes segmentos industriais são apresentados na Figura 2.4.

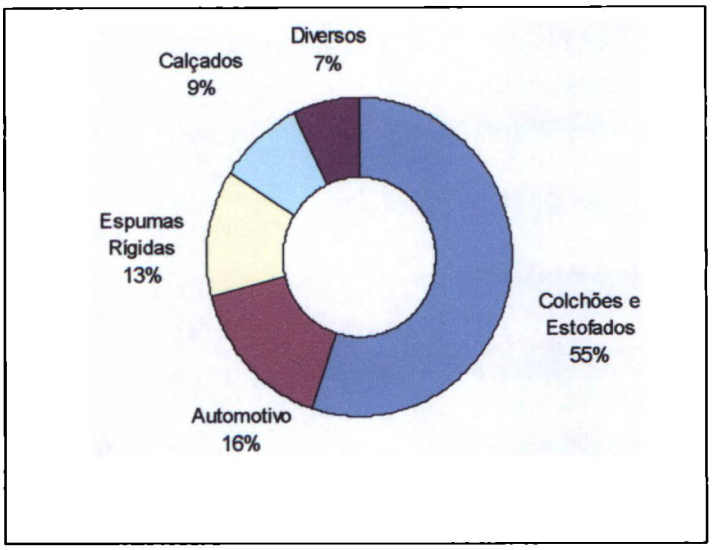
FIGURA 2.4 - CONSUMO MUNDIAL DE PU POR SEGMENTO EM 2000 (VILAR, 2002)
ADAPTADO PELO AUTOR



Atualmente, o mercado brasileiro de PU com cerca de 300.000 toneladas anuais é aproximadamente 50% do total latino americano e mais de 70% do Mercosul (VILAR, 2002).

O consumo por segmento no Brasil em 2000 é mostrado na Figura 2.5.

FIGURA 2.5 - CONSUMO DE PU POR SEGMENTO NO BRASIL (VILAR, 2002) ADAPTADO PELO AUTOR



2.12 ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO

Como pode ser percebido, o poliuretano é um material muito versátil, porém o trabalho será concentrado nas espumas rígidas utilizadas como isolante térmico, por ser o objeto deste estudo.

De acordo com VILAR (2002) a espuma rígida de poliuretano é um produto celular termoestabilizado, de baixa densidade, altamente interligado e com células fechadas. O agente expansor presente no interior das células apresenta baixa condutividade térmica e proporciona excelentes características de isolamento térmico à espuma rígida de poliuretano. O coeficiente de condutividade térmica é da ordem de **17 Wmm/ m².°C** contra **46 Wmm/ m².°C** das lãs de vidro e rocha, sendo necessário espessuras muito menores para possibilitar o mesmo isolamento térmico que outros materiais, como pode ser verificado na Tabela 2.5.

TABELA 2.4 - PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MATERIAIS ISOLANTES (VILAR, 2002) ADAPTADO PELO AUTOR

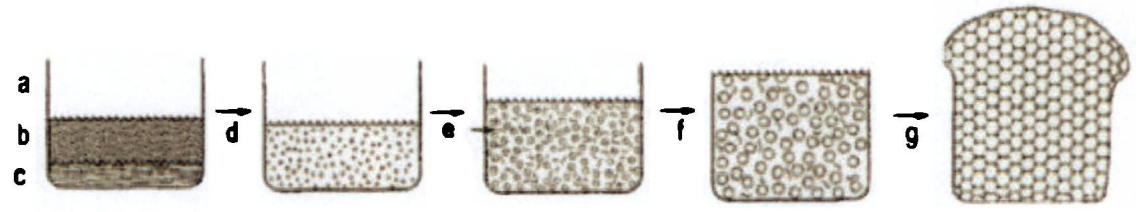
Material	Densidade (kg/m³)	Condutividade Térmica a 24 °C (W/mk)	Espessura Necessária (mm)	Temperatura Máxima de Serviço (°C)
Espuma Rígida de Poliuretano	32	0,017	20	104-121
Poliestireno Expandido	16	0,035	44	74
Lã-de-Vidro	65-160	0,037	49	343
Lã-de-Rocha	100-300	0,046	46-51	649-1037
Cortiça	220	0,049	61	-
Madeira (Pinho Branco)	350-500	0,112	>140	-

2.12.1 Fabricação das Espumas Rígidas de Poliuretano

Na fabricação dos poliuretanos (PU's) são utilizados reagentes como: os isocianatos, polióis, poliaminas, e os extensores de cadeia e reticuladores. Além destes, uma grande variedade de produtos químicos pode ser adicionada para controlar ou modificar tanto a reação de formação dos PU's, quanto as suas propriedades finais (VILAR, 2002).

Na Figura 2.6, apresenta-se uma síntese do processo de produção das espumas de poliuretano.

FIGURA 2.6 - FASES DA PRODUÇÃO DA ESPUMA DE POLIURETANO (VILAR, 2002)



a- ar; b- fase poliol; c- fase isocianato; d- mistura e nucleação; e- difusão do gás carbônico para as células; f- crescimento das células esféricas; g- crescimento das células tetraédricas.

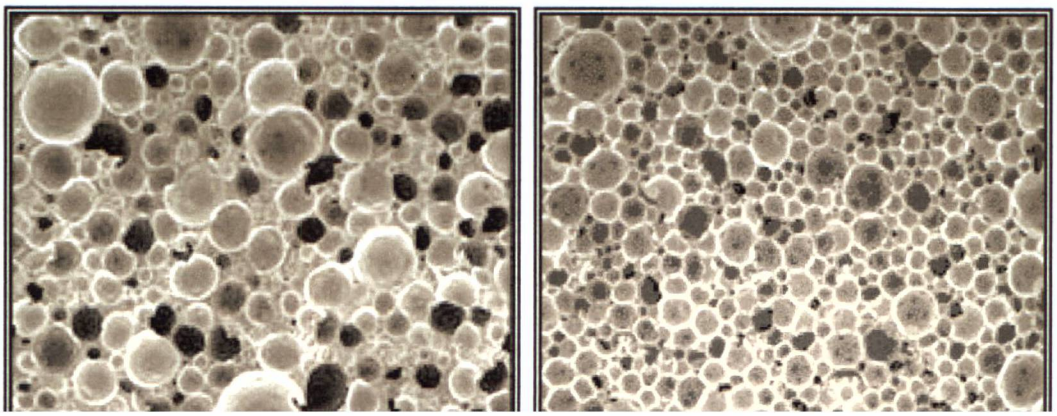
As características dos sistemas de espumas rígidas, de boa fluidez durante a expansão e boa adesão a diferentes materiais, são à base de diversos processos de fabricação, nas quais a espuma torna-se parte de um produto final (VILAR, 2002).

A produção em escala industrial pode ser realizada pelos seguintes processos contínuos, tais como laminação, ou descontínuos, como injeções por pressão ou vácuo.

2.12.2 Propriedades das Espumas Rígidas

As espumas rígidas de PU possuem estrutura altamente reticulada, responsável pelas suas propriedades mecânicas. Possui estrutura com células fechadas (Figura 2.7), que contribui também para a rigidez da espuma. Além disso, a condutividade térmica do gás retido nestas células fechadas é o fator preponderante nas propriedades isolantes da espuma. O mecanismo de formação das espumas rígidas de PU envolve diferentes reações químicas, que ocorrem desde as etapas de nucleação até o crescimento final da espuma (VILAR, 2002).

FIGURA 2.7 - DETALHE DA ESTRUTURA CELULAR DAS ESPUMAS DE POLIURETANO (SANDIA NATIONAL LABORATORIES, 2002)



Características das espumas rígidas de poliuretano (OERTEL, 1985; SATO, 1998; KOSSAKA, 2002):

a- possibilidade de enchimento de cavidades complexas;

b- baixa condutividade térmica;

c- resistência à compressão compatível com o uso destinado;

d- estabilidade dimensional;

f- processo automático de injeção;

g- baixa densidade (em uma espuma com densidade de 30 kg/m³, o polímero representa apenas 3% em peso);

h- estabilidade térmica no intervalo de temperaturas [-200 °C a + 130°C]

i- alta resistência à umidade;

j- resistência a óleos e solventes, e;

k- resistência ao envelhecimento.

Algumas propriedades típicas das espumas rígidas de poliuretano podem ser verificadas na Tabela 2.5.

TABELA 2.5 - PROPRIEDADES TÍPICAS DE ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO (VILAR, 2002) ADAPTADO PELO AUTOR

Propriedade	Unidade	Valor	Método
Condutividade Térmica	W/Mk	0,018-0,023	DIN 52612
Densidade	kg/m³	>30	-
Teor de Células Fechadas	% vol.	>90	DIN 53420
Fator de Resistência à Difusão do Vapor de Água	-	30/100	DIN 52615
Resistência à Compressão (10%)	N/mm²	0,10	DIN 53421
Coeficiente de Expansão Térmica Linear	mm/m	4,0-7,3	-
Temperatura Máxima de Uso Prolongado	°C	110-130	-
Temperatura Máxima por Períodos Curtos	°C	250	-
Inflamabilidade	-	B2	DIN 4102
Resistência Química	Resistência a todos os produtos usados na indústria de construção		

2.12.3 Uso como Isolamento Térmico

Sistemas de espumas rígidas de PU podem ser formulados para fluir facilmente durante a expansão da espuma, de modo a preencher cavidades

complicadas. Uma das aplicações de maior sucesso, desta propriedade, é no isolamento térmico de geladeiras e frigoríficos.

De acordo com KOSSAKA (2002), a maior vantagem da utilização das espumas rígidas de PU é a sua baixa condutividade térmica que permite o emprego de painéis de isolamento mais finos do que quando é utilizada lã mineral ou lã de vidro, resultando em:

a- aumento do espaço interno em até 30% (redução da espessura de parede do refrigerador de 80 a 90 mm para 40 a 50 mm e aumento da relação volume interno/externo do refrigerador);

b- menor custo de mão-de-obra nas linhas de produção;

c- excelente adesão entre a espuma e a carcaça do aparelho;

d- estrutura sanduíche estável e resistente ao impacto, permitindo o uso de folhas metálicas mais finas;

f- estrutura celular contínua e sem falhas, que diferentemente da lã de vidro e similares, não é afetada pelas vibrações do aparelho.

A substituição do isolamento térmico de refrigeradores e congeladores de uso doméstico de lã de vidro ou lã de rocha pela espuma rígida de poliuretano, possibilitou a fabricação de refrigeradores e congeladores que apresentaram redução do consumo de energia da ordem de 30% a 40%, e um menor custo final dos refrigeradores e congeladores, devido ao aperfeiçoamento dos processos de fabricação, fez com que os fabricantes brasileiros seguissem a tendência mundial em utilizar a espuma rígida de poliuretano como isolante térmico (HENTGES; EDGECOMBE, 2000, apud KOSSAKA, 2002).

Nos Estados Unidos o processo de substituição iniciou em meados de 1960, sendo que os últimos refrigeradores que possuíam lã de vidro no isolamento da porta foram fabricados em 1992 (KOSSAKA, 2002).

Dois métodos de injeção são utilizados na fabricação dos gabinetes de refrigeradores: pelo fundo (Figura 2.8a); ou pela parte traseira (Figura 2.8b), o que

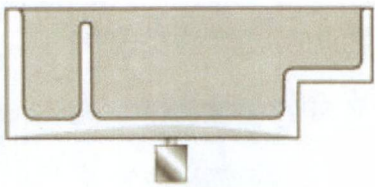
permite injeção mais rápida e utilização de sistemas com perfil de reação mais rápido, resultando em melhor distribuição da densidade e melhores propriedades isolantes (VILAR, 2002; KOSSAKA, 2002).

FIGURA 2.8 - MÉTODOS DE INJEÇÃO DE ESPUMAS RÍGIDAS EM REFRIGERADORES (VILAR, 2002)

Figura 2.8a - Injeção pelo fundo



Figura 2.8b - Injeção pela parte traseira



2.13 ASPECTOS AMBIENTAIS DAS ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO

Recentemente, as espumas rígidas tornaram-se foco de discussões devido a aspectos relacionados à redução do uso dos clorofluorcarbonos (CFC's), inflamabilidade e reciclagem.

Os CFC's estão sendo substituídos como agente de expansão em todas as aplicações pelos clorofluorcarbonos hidrogenados (HCFC's), menos danosos ao meio ambiente, principalmente no mercado europeu, devido ao seu potencial zero de destruição da camada de ozônio e pelos HFC's (OECD, 2001).

O Protocolo de Montreal fixa o prazo limite de 2010 para o banimento dos CFC's, que no Brasil foi fixado para 2007 (OECD, 2001).

Contudo os HCFC's também agridem a camada de ozônio (potencial de degradação da camada de ozônio de 2% a 5% do potencial apresentado pelos CFC's), o que não descarta o crescimento do aquecimento global, a níveis perigosos, nos próximos 20 anos, sendo por isso também incluídos no Protocolo de Kioto. Seu uso nos EUA deverá ser eliminado até 2003, na Europa e Japão até 2004 e nos países em desenvolvimento até 2040 (OECD, 2001).

2.14 RECICLAGEM DAS ESPUMAS RÍGIDAS DE POLIURETANO

A reciclagem da espuma rígida de poliuretano implica na extração e destruição dos CFC's e HCFC's, para reduzir o impacto ambiental da destruição da camada de ozônio. Um fator importante com relação à reciclagem que necessita ser analisado é o aspecto logístico e econômico.

Atualmente, a reciclagem de refrigeradores é realizada por pequenas empresas (Figura 2.9), que reciclam os componentes metálicos e plásticos de interesse comercial, liberando a espuma para aterros, não respeitando os regulamentos da legislação vigente do CONAMA - Resolução 267 de 14/09/2000.

FIGURA 2.9 - DEPÓSITO DE PLACAS DE PU EM EMPRESA RECICLADORA DE ELETRODOMÉSTICOS



Segundo a KOSSAKA (2002) a vida útil de refrigeradores e congeladores está no intervalo de quinze a vinte anos, porém como o uso das espumas iniciou-se na década de 80, supõe-se que o ciclo de vida dos primeiros refrigeradores e congeladores esteja terminando.

A reciclagem de eletrodomésticos, ao final de sua vida útil, é um conceito pouco difundido na América Latina, realizada normalmente por catadores ou carregadores associados a um recondicionador, um processador de sucata ou um ferro velho que recondiciona ou retira todas as peças e componentes do

eletrodoméstico que serão usados para recondicionar outros eletrodomésticos, restando os metais, vidro e plástico, que são vendidos a empresas especializadas na reciclagem destes materiais (CRAWFORD, 1998, apud KOSSAKA, 2002).

O consumo de eletrodomésticos (refrigeradores e congeladores) ao longo dos anos vem acompanhando o crescimento demográfico, fazendo supor que a quantidade destes eletrodomésticos que necessitam ser descartados cresça na mesma proporção do crescimento da produção dos mesmos, só que com uma defasagem igual ao do ciclo de vida do refrigerador. Portanto o impacto ambiental do descarte da espuma rígida de poliuretano será crescente e, provavelmente, na mesma razão do aumento de produção dos mesmos ao longo dos anos.

Na Tabela 2.6, são apresentados os dados de produção de refrigeradores e congeladores produzidos no Brasil no intervalo de 1967- 2000.

TABELA 2.6 - PRODUÇÃO DE REFRIGERADORES E CONGELADORES NO BRASIL ENTRE 1967 – 2000 (KOSSAKA, 2002) ADAPTADO PELO AUTOR.

Ano	**1967**	**1968**	**1969**	**1970**	**1971**
Quantidade	390.000	508.000	544.000	530.000	687.000
Ano	**1972**	**1973**	**1974**	**1975**	**1976**
Quantidade	837.000	1.039 000	1.024.000	1 029.000	1.289.000
Ano	**1977**	**1978**	**1979**	**1980**	**1981**
Quantidade	1.388 000	1.556.000	1.720.000	2.026.000	1.757.000
Ano	**1982**	**1983**	**1984**	**1985**	**1986**
Quantidade	1.750.000	1.676.000	1.597.000	1 689.000	1.963.000
Ano	**1987**	**1988**	**1989**	**1990**	**1991**
Quantidade	1.910.000	1.651.000	1.931.000	2.770.000	3.006.000
Ano	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**
Quantidade	1.893.000	2.356.000	3.320.000	4 258.000	5.466.000
Ano	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	
Quantidade	4.942.000	4.062.000	3.679.000	3.876.000	

Considerando que os refrigeradores e congeladores consomem de 2 a 6 kg de espuma rígida de poliuretano por unidade e partindo de uma estimativa média de **4,0 kg** de espuma por aparelho e considerando um ciclo de vida de **15 anos**, a quantidade de espuma descartada em 2003 no Brasil é da ordem de **6.604 toneladas** o que corresponde a, aproximadamente, **766 toneladas de CFC's da**

espuma e 16,5 toneladas de CFC's do circuito frigorífico (estimando-se 100g de gás isolante R12, por produto).

O volume desta espuma, a ser descartada em aterros sanitários e lixões, corresponde a aproximadamente 188.686 m³.

O maior dano na camada de ozônio está para ocorrer nos próximos anos. Segundo KJELDSEN; JENSEN (2001) apud KOSSAKA (2002), cerca de 40% do conteúdo de CFC's da espuma é liberado para o ambiente durante a separação do metal e plástico da espuma e, após o aterro, o resíduo continua liberando CFC's na atmosfera por um período de **9 a 300 anos**, sendo necessário avaliar as alternativas para reciclagem da espuma rígida de poliuretano, coletando o CFC's durante a reciclagem para posterior destruição, o impacto se toma ainda maior se levarmos em consideração o esgotamento dos aterros existentes e a falta de controle na utilização dos mesmos.

Em países da Europa e no Japão, os governos têm regulamentado a obrigatoriedade da reciclagem dos eletrodomésticos, sendo a responsabilidade da reciclagem atribuída aos fabricantes cabendo ao usuário o pagamento de taxas de reciclagem (KOSSAKA, 2002).

A seguir apresentam-se alguns dos métodos conhecidos para reciclagem da espuma rígida de poliuretano, porém ainda sem uma avaliação técnica e nem econômica destes métodos, em nosso país (BAUMANN ,1999; SAMMARCO 1999; HOBBS, 2000 apud KOSSAKA, 2002; STONE, 2000).

a- Reciclagem mecânica:

- reutilização na forma de placas assimétricas como isolamento térmico;
- moagem e reutilização na forma de moído ou pós na adição em novas espumas;
- moagem e reaglomeração com diversos tipos de colas, incluindo o cimento Portland;

- recuperação de energia como combustível, e;
- moagem e utilização como carga em tintas e em outros plásticos;

b- Reciclagem química:

- glicólise, hidrólise, aminólise, pirólise e hidrogenação.

Porém sabe-se que pouca parcela da espuma disponível é reutilizada e uma das hipóteses para a inexistência deste processo são:

a- dificuldade técnica de reciclar a espuma rígida de poliuretano;

b- custos muito altos para reciclar a espuma rígida de poliuretano (processos criogênicos);

c- volume de espuma para ser reciclado ainda não é significativo;

d- problemas de logística, pois o material é muito volumoso;

e- a reutilização do material reciclado é mais complexa;

f- existem problemas na comercialização do material reciclado;

g- as instalações para reciclar a espuma requerem altos investimentos, e;

h- ausência de legislação específica determinando a responsabilidade pela reciclagem.

2.15 RISCOS À SAÚDE E SEGURANÇA

Nos EUA e Europa, as espumas rígidas de poliuretano são materiais amplamente utilizados na construção civil para fins de isolamento térmico.

Os exemplos mais comuns de aplicação destes produtos, na construção civil, de acordo com API (2000) são:

a- placas de PU para isolamento de telhados;

b- telhas metálicas com miolo de espumas de PU;

c- "spray" de espuma, utilizada como selante e para fixação de caixilhos;

d- espumas flexíveis para isolamento de tubulações aquecidas;

e- material para preenchimento de vazios, no interior de alvenarias ou

estruturas de concreto.

Na manufatura e processamento dos PU, o indivíduo deve ser protegido dos efeitos das matérias-primas classificadas como nocivas à saúde, tais como: isocianatos, polióis, catalisadores, aminas, agentes de expansão, solventes, extensores de cadeia e agentes de cura.

Como nesta pesquisa, não há o contato com os agentes químicos utilizados na produção de espumas de poliuretano, mas tão somente com o material finamente particulado, dar-se-á ênfase tão somente aos riscos do manuseio da poeira de poliuretano e do risco de incêndio do ambiente onde se concentra este material.

2.15.1 Combustibilidade

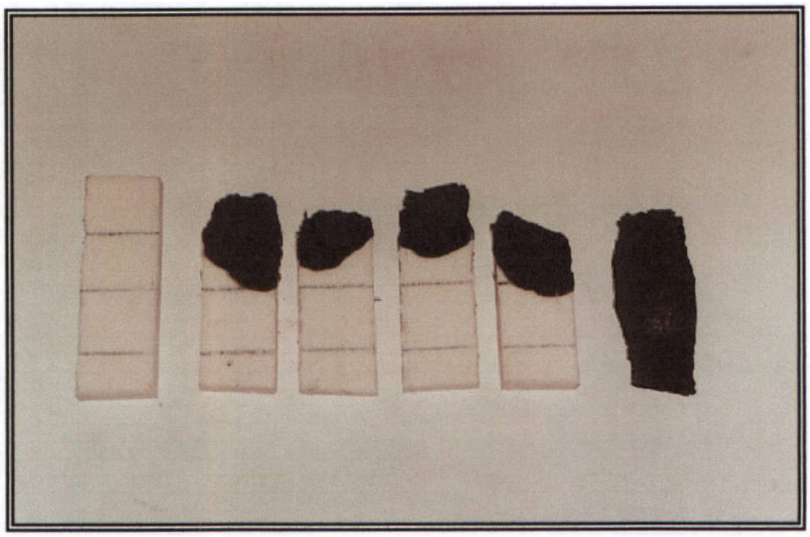
Dependendo da formulação química e de outros fatores de composição do produto, as características de combustibilidade das espumas podem variar extensamente, da mesma forma que ocorre com outros materiais orgânicos.

Todos os plásticos celulares orgânicos, não importando se eles contém produtos retardantes de fogo, devem ser considerados combustíveis (Figura2.10), e conseqüentemente manipulados com os cuidados pertinentes (API, 2000).

Certas precauções devem ser tomadas para minimizar o risco potencial de incêndio pela ignição acidental durante as operações de armazenamento, instalação e uso do material.

Em muitos casos, o tipo de ocupação do ambiente construído e o tipo de construção, podem exigir também sistemas auxiliares de proteção contra incêndios, tais como detetores de fumaça e "sprinkler's" (API, 2000).

FIGURA 2.10 – EXEMPLOS DE ESPUMAS DE PU COM E SEM RETARDANTES DE FOGO
ENSAIO EFETUADO PELO AUTOR CONFORME NBR 7.358 (1989)



Os códigos de construção norte americanos, exigem que as espumas plásticas utilizadas como isolantes térmicos em edificações, sejam protegidos por uma barreira térmica de gesso, com 0,5 polegada, ou revestimentos metálicos, com espessura mínima de 0,016 polegada (aço) ou 0,032 polegada (alumínio) (API, 2000).

2.15.2 Poeira

A poeira produzida durante o corte das espumas rígidas de PU pode irritar os olhos e as membranas mucosas do nariz e garganta. Estudos com ratos, em laboratórios, indicam que dificuldades respiratórias podem ser causadas pela exposição a grandes quantidades de poeira de PU, finamente dividida (VILAR, 2002).

A exposição à poeira pode ser controlada por ventilação ou proteção respiratória. Por outro lado, a poeira de PU finamente dividida, dispersa no ar, por ser inflamável, pode acarretar explosão. Por esta razão, o acúmulo de poeira deve ser controlado (VILAR, 2002).

3 BLOCOS PRÉ-FABRICADOS DE CONCRETO

Como discutido nos Capítulos 1 e 2, há um grande déficit de habitações no Brasil, e os blocos pré-fabricados de concreto se apresentam como uma alternativa de material de construção, incorporados as metodologias construtivas para a produção de habitações de interesse social.

O principal interesse desta dissertação, é avaliar o comportamento dos blocos pré-fabricados produzidos com concreto com adição da espuma rígida de poliuretano expandido reciclado. Porém antes disso, verificou-se a necessidade de estudar a tecnologia de produção dos blocos pré-fabricados, englobando os materiais constituintes, proporcionamento do concreto, processo de produção e controle de qualidade.

3.1 BLOCOS DE CONCRETO - DEFINIÇÃO

A idéia básica que estabelece a diferenciação entre blocos e tijolos, empregados na construção de paredes de alvenaria é aquela de domínio prático, ou seja, o tijolo pode ser manuseado facilmente com apenas uma das mãos quando do seu assentamento, enquanto o bloco não. Os blocos de concreto, devido às suas dimensões e peso, normalmente são assentados com ambas as mãos (MEDEIROS, 1993).

A norma brasileira NBR 7.173 (1982), define blocos vazados para alvenaria como sendo elementos que possuem furos prismáticos perpendiculares à face que os contém e cuja seção transversal média útil seja inferior a 75% da seção transversal bruta.

Adotou-se, neste trabalho, a definição dada por MEDEIROS (1993), que é a seguinte:

Bloco de concreto é a unidade de alvenaria constituída pela mistura homogênea, adequadamente proporcionada, de cimento Portland, agregado miúdo e graúdo, conformada através de vibração e prensagem, que possui dimensões superiores a (250 x 120 x 55) mm (comprimento x largura x altura).

3.2- HISTÓRICO

Os blocos de concreto, assim como são conhecidos hoje, surgiram nos Estados Unidos da América, no final do século XIX. Acredita-se que o primeiro bloco de concreto tenha sido moldado em 1882, nos EUA (PCA, 1988 apud MEDEIROS, 1993).

Em 1900, Harmon S. Palmers patenteou a primeira máquina para produção de blocos, produzindo elementos com vantagens interessantes, tais como extremidades próprias para permitir o encaixe das peças e detalhes para facilitar a colocação de batentes de portas e janelas (LEFER, 1976 apud MEDEIROS, 1993).

Em 1904, Jesse Besser, cria a empresa Besser Company, e inicia a produção de máquinas semi-automáticas para a produção de blocos de concreto (BELL et al, 1969, apud MEDEIROS, 1993).

Em 1905, o governo norte americano, adotou o bloco de concreto para a construção de hospitais, armazéns, depósitos e quartéis, nas obras do Canal do Panamá e nas Filipinas (LEFER, 1976 apud MEDEIROS, 1993).

Na década de 20, Frank Lloyd Wright abriu novas perspectivas para o mercado de blocos de concreto, fabricando pela primeira vez blocos especiais sob encomenda para um determinado projeto (LEFER, 1976 apud MEDEIROS, 1993).

3.3 A PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO NO BRASIL

Entre 1945 e 1980, o Brasil passou por uma significativa transformação de caráter estrutural: deixa de ser um país majoritariamente agrário para ser um país

marcado pelas atividades econômicas predominantemente urbanas. Um dos indicadores dessa mudança são os dados sobre a distribuição geográfica da população: enquanto em 1940, 70% da população habitavam o campo e 30% a cidade, em 1980 os percentuais se invertem: 70% da população passa a viver nos centros urbanos e apenas 30% permanecem no campo (GRANDI, 2002).

O intenso processo de urbanização verificado neste período provocou mudanças na estrutura e dinâmica da indústria da construção e mais especificamente no sub setor de edificações. Neste ínterim, o sistema construtivo com blocos de concreto passa a ser uma resposta ágil e econômica às demandas populacionais, pois se mostrou um sistema econômico.

No Brasil existem registros da utilização de blocos de concreto por volta de 1940. Na época foram construídas cerca de 2.400 casas no conjunto habitacional de Realengo, na cidade do Rio de Janeiro (ABCP, 1978).

Desde o início de sua produção, os blocos de concreto já demonstravam sua tendência como destino final de sub-produtos de outras indústrias, pois acabou sendo introduzido em São Paulo como alternativa ao tijolo, com objetivo de utilizar o pedrisco e o pó de pedra, que não tinham comércio na época.

O empuxo importante para a produção de blocos foi o desafio das hidroelétricas, nos anos 60, quando se tinha que investir em infra-estrutura para o crescimento industrial. Na construção de hidroelétricas ao longo do Rio Paraná, como Jupiá e Ilha Solteira, havia a necessidade de se construir uma cidade para os operários responsáveis pela construção das obras (GRANDI, 2002).

A história da fabricação de blocos de concreto, já com responsabilidade estrutural, inicia-se com a importação da primeira máquina Besser, pela empresa Camargo Corrêa (GRANDI, 2002).

Marcos importantes desse período são a construção em 1974, do conjunto Lapa D, e o conjunto habitacional de Itaquera, da Cohab-SP, ambos em São Paulo, contendo edifícios de até 13 pavimentos, ainda sob supervisão de Green Ferver,

consultor norte americano (GRANDI, 2002).

Em 1977, a Cohab-SP elaborou um programa que pretendia minimizar o problema da habitação popular, criando, de uma só vez, 13 mil unidades habitacionais. O primeiro projeto deste plano aconteceu no bairro de Itaquera, na capital. A cohab pretendia que este conjunto tivesse 650 casas de dois dormitórios, com 35 m² cada uma, e 37 prédios de 5 andares, num total de 1.620 apartamentos. A obra deveria estar concluída em 12 meses. Nesta obra, o sistema construtivo de alvenaria estrutural de blocos de concreto sobressaiu-se demonstrando amplas vantagens em relação às demais técnicas construtivas adotadas (GRANDI, 2002).

Na década de 80, a construção civil teve fortes abalos, sendo necessário reduzir ainda mais o custo das obras. Nesta época iniciou-se a produção de blocos de concreto no canteiro de obras, com máquinas menores, em detrimento da qualidade do bloco.

O bloco produzido no canteiro de obras descaracterizava o caráter industrial de sua produção, uma vez que terminada a obra, a unidade era desmobilizada, colaborando para a descontinuidade do sistema.

A falta de especificações também constituía um sério problema, e depois de diversas experiências e seminários, concluíram-se as normas brasileiras para alvenaria de blocos de concreto, com e sem função estrutural, regulamentadas pela ABNT (GRANDI, 2002).

3.4- DIFERENCIAIS DA ALVENARIA DE BLOCOS DE CONCRETO

GRANDI (2002), demonstra os diferençais de um sistema construtivo tradicional, com blocos cerâmicos, para outro utilizando blocos de concreto, sendo que este último apresenta as seguintes vantagens em detrimento dos métodos convencionais:

a- redução da utilização de madeira e, consequentemente, de carpintaria;

b- redução do custo da obra em cerca de 25%;

c- obra mais limpa (redução da geração de entulhos);

d- redução do custo de limpeza e retirada de entulhos da obra;

e- facilidade na correção de patologias;

g- maior qualidade sem a necessidade de equipamentos caros;

h- maior velocidade na conclusão da obra;

i- padronização e nivelamentos perfeitos;

j- menor custo para instalações elétricas e hidráulicas, uma vez que não há necessidade de quebrar as paredes para realizar estas instalações;

k- diminuição da necessidade de armaduras de aço e, conseqüentemente, de mão de obra;

l- aumento da produtividade de pedreiros e de outros profissionais envolvidos no processo; e,

m- caso da utilização de blocos para alvenaria estrutural na obra, há a dispensa do uso de vigas e pilares.

3.5- TIPOS DE BLOCOS

Os blocos de concreto podem ser encontrados em uma gama variada de formas, tamanhos, padrões, textura e cores, tanto com função estrutural como decorativa e de vedação.

Esta variedade de blocos é definida, principalmente, em função dos agregados e equipamentos usados na produção.

Nos países onde a indústria de blocos é desenvolvida, os componentes destinados à construção de paredes interiores são produzidos com agregados leves, como argila expandida e escória, que tornam os blocos de fácil manuseio e excelentes isolantes termo-acústicos (MEDEIROS, 1993).

3.6- MATERIAIS EMPREGADOS NA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO

Como regra geral, a maioria dos pesquisadores indica que os materiais adequados para a produção de concretos convencionais são também adequados para a produção de blocos de concreto, embora devam ser consideradas as peculiaridades intrínsecas de cada processo. (ABCP,1978 ;FERREIRA, 1993 apud SOUSA, 2001).

Normalmente, os materiais utilizados na produção de blocos de concreto, se resumem em:

- aglomerante;
- agregados graúdos e miúdos;
- água; e,
- eventualmente aditivos e corantes.

Todos estes materiais devem possuir características próprias e específicas para serem empregados na produção de blocos de concreto.

3.6.1 Aglomerante

O aglomerante utilizado normalmente na produção de blocos de concreto é o cimento Portland, sendo que, praticamente, todos os tipos de cimento Portland podem ser utilizados, desde que obedeçam as especificações para uso em concretos e argamassas, conforme preconiza a NBR 7.173 (1982) – Blocos vazados de concreto para alvenaria sem função estrutural.

Dentre as características do cimento, HELENE (1992), destaca a finura, a resistência à compressão e a determinação do teor de resíduo insolúvel e perda ao fogo.

Na escolha do tipo de cimento a ser utilizado, é importante ainda, observar a compatibilidade deste com os demais materiais, principalmente, em relação aos agregados e aditivos, bem como ao processo de cura utilizado, afim de não

promover alterações nas propriedades dos blocos.

SOUSA (2001), indica o cimento Portland tipo CP II – F (Cimento Portland Composto com Adição de Filler), classe 32, como sendo o ideal para a produção de pré-moldados, enquanto PRUDÊNCIO JÚNIOR (2002), indica o uso do CPV – ARI (Cimento Portland de Alta Resistência Inicial), pelas características de conferir resistências mecânicas maiores nas primeiras idades, possibilitando o uso dos blocos mais rapidamente.

3.6.2 Agregados

Entende-se por agregado o material granular, sem forma ou volume definidos, geralmente inertes, e com dimensões e propriedades adequadas para o uso em obras de engenharia. Os agregados desempenham um importante papel nas argamassas e concretos, quer do ponto de vista econômico, quer do ponto de vista técnico, e exercem influência benéfica sobre algumas características importantes, como: retração, aumento da resistência ao desgaste, etc. (PETRUCCI, 1980).

Os agregados normalmente utilizados para a produção de blocos pré-fabricados de concreto, são: pedrisco, areia natural ou areia artificial, também denominada pó de pedra, ou a mistura desses materiais (FERREIRA JÚNIOR, 1985), desde que de acordo com as especificações da NBR 7.211, (1983), ou agregados leves como escória de alto forno, argila expandida ou outros agregados, que satisfaçam as especificações próprias a cada um desses materiais (NBR 7.173, 1982).

A qualidade dos agregados é fundamental para a obtenção das propriedades e características desejadas para os blocos de concreto, pois pode haver uma interferência na aderência entre agregados e a pasta de cimento, trazendo conseqüências para a homogeneidade e resistência mecânica do concreto produzido.

A granulometria dos agregados é de suma importância, pois além de ocuparem a maior parte do volume do concreto, exercem influência sobre o grau de compactação da mistura, proporcionando um maior ou menor índice de vazios.

O termo agregado graúdo se refere a partículas de agregado maiores do que 4,8 mm (peneira n° 4) e o termo agregado miúdo se refere a partículas de agregado menores que 4,8 mm, porém maiores que 75 μm (peneira n° 200) (MEHTA, 1994).

Quanto mais fina a areia utilizada, mais lisa será a superfície do bloco. Normalmente a textura superficial do bloco não precisa ser muito lisa, pois pode vir a comprometer a aderência do revestimento de argamassa, exigindo eventualmente a aplicação de chapisco para a preparação da base. Evidentemente, se o bloco for destinado ao uso em alvenaria aparente ou para pintura direta, este requisito pode ser desejável (MEDEIROS, 1993).

A quantidade de material pulverulento (< 0,075 mm), deve ser limitada para não interferir na aderência entre a pasta de cimento e os agregados.

De acordo com MEDEIROS (1993), pode-se utilizar areia artificial, na produção de blocos de concreto, devendo-se distinguir, entretanto, a areia artificial propriamente dita, de resíduos de britagem, denominado pó de pedra ou pó misto, visto que estes materiais apresentam elevados teores de materiais finos, além de possuírem grãos angulosos e textura superficial áspera, o que proporciona uma mistura com baixa plasticidade, dificultando a moldagem e exigindo maior quantidade de água de amassamento.

Na Tabela 3.1, estão apresentados os índices mínimos de qualidade para os agregados utilizados em concreto, conforme a NBR 7.211, (1983).

TABELA 3.1 - ÍNDICES DE QUALIDADE DE AGREGADOS PARA CONCRETO - NBR 7.211 (1983)

Características	Tolerâncias	
	Agregado Miúdo	Agregado Graúdo
Granulometria (NBR 7217)	Atender uma das faixas granulométricas da NBR 7211	Atender a faixa granulométrica da NBR 7211, indicada para brita zero
	Variação máxima de 0,2 para o módulo de finura de material de mesma origem.	Dimensão máxima característica menor ou igual à metade da espessura do molde da prensa.
Torrões de Argila e partículas friáveis (NBR 7218)		
- Concreto aparente	1,5%	1,0%
- Concreto submetido a desgaste superficial	1,5%	2,0%
- Demais concretos	1,5%	3%
Impurezas Orgânicas (NBR 7220)	300 ppm	-
Material Pulverulento (NBR 7219)		
- Concreto submetido a desgaste superficial	3%	1%
- Concretos comuns	5%	1%
Materiais carbonosos (ASTM C-123)		
- Concreto aparente	0,5%	0,5%
- Demais concretos	1,0%	1,0%
Índice de forma dos grãos (NBR 7809)	-	> 3,0
Abrasão (NBR 6465)	-	< 50,0%

Além dos agregados naturais de massa específica normal, empregam-se também, os seguintes agregados leves para a produção de blocos de concreto (MEDEIROS, 1993).

- cinza volante sinterizada;
- escória granulada de alto forno;
- escória sinterizada;
- pedra pome;
- argila Expandida;
- perlita, e;
- vermiculita.

Resíduos de pedras como granito e mármore são, também, empregados para a produção de blocos de concreto com texturas especiais (CONCRETE, 1988, apud MEDEIROS, 1993).

3.6.3 Adições

Buscando reduzir os custos de produção dos blocos de concreto, ou mesmo a dar uma destinação final a resíduos ou sub produtos de outras indústrias,

muitos pesquisadores utilizam materiais alternativos, com qualidades e características distintas das preconizadas pela NBR 7.211 (1983), tais como: resíduos de construção de demolição (SOUSA, 2001), poliestireno expandido (SILVÉRIO et al, 2001), cinza de casca de arroz (WEBER, 2001), resíduo vítreo (ARRUDA et al, 2001), fibras de sisal (OLIVEIRA et al, 2001), resíduo de couro curtido a base de cromo (RECENA et al, 2001), entre outros.

Estas pesquisas indicam que a incorporação destes resíduos e subprodutos industriais no concreto, podem resultar em produtos competitivos em termos de qualidade e preço.

Quanto ao uso de resíduos de construção e demolição, em substituição parcial aos agregados, LIMA (1999), apresenta uma proposição de diretrizes para a produção e normalização deste material e de suas aplicações em concretos e argamassas.

Diante destes estudos, foi tomada a iniciativa de pesquisar a confecção de blocos de concreto, utilizando o resíduo de espumas rígidas de poliuretano como adição, culminando nesta dissertação.

3.6.4 Aditivos

A NBR 7.173 (1982), permite o uso de aditivos, desde que não acarretem efeitos prejudiciais ao concreto, devidamente comprovados por ensaios.

Segundo HELENE (1992), as características destes materiais, que devem ser analisadas na dosagem do concreto, são: massa específica, aspecto e desempenho.

A massa específica deve ser verificada, pois um aditivo com massa específica diferente da especificada, pode levar a erros na dosagem.

O aspecto pode ser um indicativo do estado da qualidade do aditivo, devendo ser verificada a conformidade em aspecto de cor e odor do aditivo utilizado

com o tomado como referência.

Os aditivos mais empregados na fabricação de blocos de concreto são os redutores de água, que possibilitam a redução da quantidade de água de amassamento de um concreto, sem alteração de sua trabalhabilidade (MEDEIROS, 1993).

Desta forma, pode-se reduzir a quantidade de cimento, onde a relação água/cimento é constante, mantendo a trabalhabilidade da mistura.

Para se adotar o uso de aditivos, deve-se analisar a economia proporcionada em termos da redução do consumo de cimento do traço, em detrimento da quantidade e do custo do aditivo, e do desempenho mecânico final do concreto (MEDEIROS, 1993).

3.6.5 Água de Amassamento

A única recomendação para a água de amassamento é que seja potável (FERREIRA JÚNIOR, 1985). Caso não seja utilizada água da rede de abastecimento, é necessário que seja analisada previamente para a verificação de adequação ao uso em concreto, que deve estar adequada aos parâmetros apresentados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 - TEORES MÁXIMOS DE SUBSTÂNCIAS NOCIVAS PRESENTES NA ÁGUA DE AMASSAMENTO PARA CONCRETO

Substâncias/Características	Teores Máximos
Matéria Orgânica (expressa em O_2 consumido) (mg/l)	3,0
Resíduo Sólido (mg/l)	5000,0
Sulfatos (expresso em ions SO_4)(mg/l)	300,0
Cloretos (expresso em ions Cl) (mg/l)	500,0
Açucar (mg/l)	5,0
PH	5,8 a 8,0

3.6.6 Corantes

O uso de pigmentos corantes tem demonstrado grandes possibilidades de expansão mercadológica da alvenaria de blocos de concreto, na direção dos projetos que primam pela estética arquitetônica (MEDEIROS, 1993).

Os principais parâmetros que afetam a coloração dos blocos de concreto são: a natureza das matérias-primas empregadas na produção, os processos de moldagem, o processo de cura e as condicionantes climatológicas (BECKER, 1987, apud MEDEIROS, 1993).

A quantidade ideal de pigmento para coloração de um bloco depende da tonalidade desejada e de experiências práticas realizadas na produção.

Conforme BECKER (1987) apud MEDEIROS (1993), os seguintes tipos de agentes químicos inorgânicos aprovados pela norma norte americana ASTM C 979 (1999), podem ser utilizados como corantes:

- óxido de ferro sintético;
- óxido de ferro natural;
- óxido de cromo verde;
- azul cobalto;
- carbono negro.

3.7 PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

A necessidade crescente de barateamento dos materiais de construção e de economia de energia oriunda de combustíveis tem levado à fabricação de blocos de concreto cada vez mais voltada para a minimização do consumo de cimento e, em certos processos, do combustível requerido na cura dos blocos. Enfatiza-se, entretanto, que não sejam minimizados os dispêndios de materiais caros e de energia à custa de prejuízos na qualidade, o que acontece quando existe um certo desconhecimento técnico ou empirismo na abordagem da questão (TANGO, 1984).

Neste item procurou-se abordar os aspectos mais relevantes de produção de blocos de concreto, objetivando a fabricação de um produto de qualidade aceitável ao mínimo custo.

3.7.1 Definições Úteis

- Dosagem: é o ato de estabelecer o traço de um concreto visando à obtenção de determinadas propriedades e utilizando determinados materiais;
- Traço: é a expressão das quantidades relativas dos materiais que compõem um concreto;
- Proporcionamento: é o ato de medir as quantidades de materiais durante a produção de um concreto.

3.7.2 Etapas do Processo de Fabricação dos Blocos de Concreto

Neste item, abordam-se aspectos relativos ao proporcionamento do concreto, mistura dos materiais componentes, moldagem, transporte, cura e estocagem dos blocos de concreto.

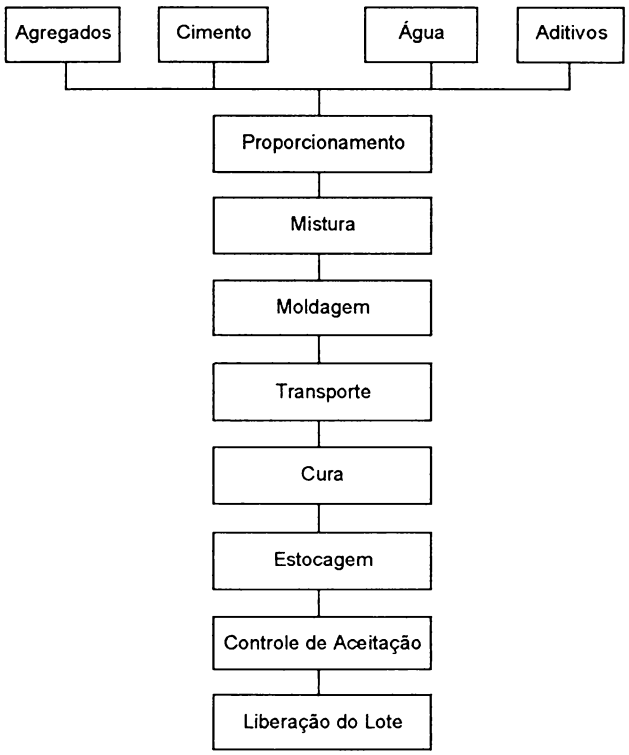
Na Figura 3.1, apresenta-se um fluxograma com a seqüência básica das etapas de fabricação de blocos de concreto.

3.7.3 Instalações

As instalações devem ser projetadas de tal forma que sejam mínimas as distâncias de transporte, tanto das matérias-primas para a betoneira, como dos blocos recém moldados para o local onde receberão a cura inicial (FERREIRA JÚNIOR, 1985).

Os agregados devem ser estocados em locais protegidos da chuva para evitar variações bruscas no teor de umidade. A área onde será feito o estoque dos agregados deverá ser, preferencialmente, pavimentada, impedindo a contaminação com terra, lama ou pó (MEDEIROS, 1993).

FIGURA 3.1 - ETAPAS DE FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO
(MEDEIROS, 1993, ADAPTADO PELO AUTOR)



O transporte dos blocos recém moldados deve ser feito com o máximo cuidado para evitar choques e vibrações que provoquem fissuras, imperceptíveis a olho nu, e que são prejudiciais a sua resistência (FERREIRA JÚNIOR, 1985).

O cimento, além de ficar protegido da chuva, deve ser estocado acima do nível do piso, sobre plataforma de madeira ou alvenaria, de maneira que os sacos fiquem protegidos da umidade em pilhas de no máximo 8 a 15 sacos (FERREIRA JÚNIOR, 1985).

Os aditivos para a dosagem dos blocos devem ser armazenados em depósitos cobertos para assegurar a proteção contra o calor e a umidade, sendo que

antes da liberação para uso, devem ser verificadas a data de validade e a condição das embalagens dos aditivos (HELENE, 1986 apud MEDEIROS, 1993).

3.7.4 Proporcionamento dos Materiais

O proporcionamento é a medição das quantidades dos materiais que irão constituir o concreto (FERREIRA JÚNIOR, 1985). Estas quantidades são previamente determinadas pelo do método de dosagem do concreto, utilizado.

Para manter constante a qualidade final dos blocos, as quantidades de materiais de mesmas características colocadas no equipamento de produção devem ser sempre as mesmas.

Entre as diversas variáveis que interferem na qualidade do concreto, uma é sem dúvida, o desvio dos valores de resistência individual que é responsável pela queda da resistência característica. A medição correta das quantidades de materiais estabelecidos na dosagem é um dos fatores fundamentais para garantir a homogeneidade de concreto e assim possibilitar a produção de peças com menor desvio padrão (ABREU, 1994).

O proporcionamento dos materiais deverá ser feito preferencialmente em massa (ABREU, 1994). A condição ideal seria pesar todos os materiais, utilizar os agregados secos ou, então, conhecer sua umidade e descontá-la da água de amassamento. Entretanto, não sendo possível a utilização de balança para proporcionamento de todos materiais, os agregados e a água podem ser medidos em volume, ficando a pesagem somente para o cimento, normalmente utilizando sacos inteiros de 50 kg (FERREIRA JÚNIOR, 1985).

Para a medição dos agregados, recomenda-se o uso de recipientes rígidos, de metal ou madeira, tomando-se o devido cuidado para considerar as correções necessárias devido ao fenômeno de inchamento, verificado com os agregados miúdos.

A quantidade e a capacidade dos recipientes deve ser fixada em função do traço e da capacidade da betoneira.

Da mesma forma, a umidade superficial dos agregados deve ser determinada e corrigida, de forma a não interferir na relação água/cimento, previamente determinada no método de dosagem utilizado.

3.7.5 Dosagem

Dosagem é o estudo realizado para fixar as quantidades dos materiais constituintes do concreto, visando obter um concreto e conseqüentemente, os blocos pré-fabricados, com as características desejadas, que conforme FERREIRA JÚNIOR (1985), são:

a- coesão no estado fresco, de forma que possam ser desmoldados e transportados sem que seu formato seja alterado;

b- máxima compacidade, para que a absorção de água seja mínima;

c- resistência compatível com aplicação a que se destina; e,

d- aspecto da superfície, que deve ser lisa em blocos que irão ficar aparentes, e áspera quando forem recobertos, evitando assim, a necessidade de aplicação de chapisco.

Por não ser um concreto plástico, a dosagem do concreto para produção de blocos pode trazer certas dificuldades, que acabam sendo responsáveis pelo empirismo que se observa em muitas empresas produtoras (SOUSA, 2001).

Na realização da dosagem, FERREIRA JÚNIOR (1985) preconiza que deverão ainda ser cumpridos os três passos seguintes:

a- determinação da melhor composição do agregado total;

b- determinação da quantidade de cimento, e;

c- determinação da quantidade de água e resistência do concreto.

3.7.5.1 Determinação da melhor composição do agregado total

A proporção de cada um dos agregados deverá ser tal que produza um agregado total com a máxima compacidade possível. O procedimento consiste em colocar as várias composições de agregados, secos e previamente misturados, num recipiente de volume conhecido, adensar, rasar e pesar. A composição que apresentar maior massa será a ideal.

O adensamento deverá ser feito com a haste padronizada para adensamento manual do concreto (diâmetro de 16,0 mm e comprimento de 600 mm), de forma que penetre entre os agregados. Deverão ser dados 8 golpes para cada 100 cm² de área da boca do recipiente.

Quando se dispuser de três agregados, primeiramente se determina a composição ideal dos dois mais grossos e depois a dessa composição com o mais fino.

Além da energia de adensamento, que é característica do equipamento, a compacidade que se pode obter depende muito da composição granulométrica dos agregados.

Para se obter uma melhor compactação, MEDEIROS (1993), indica que deve-se combinar os agregados em porções adequadas para se obter a granulometria desejada para a mistura, e como proposta apresenta em seu trabalho, as curvas granulométricas consideradas ótimas, conforme trabalho anterior de PFEIFFENBERGER (1985), apresentadas na Figura 3.2.

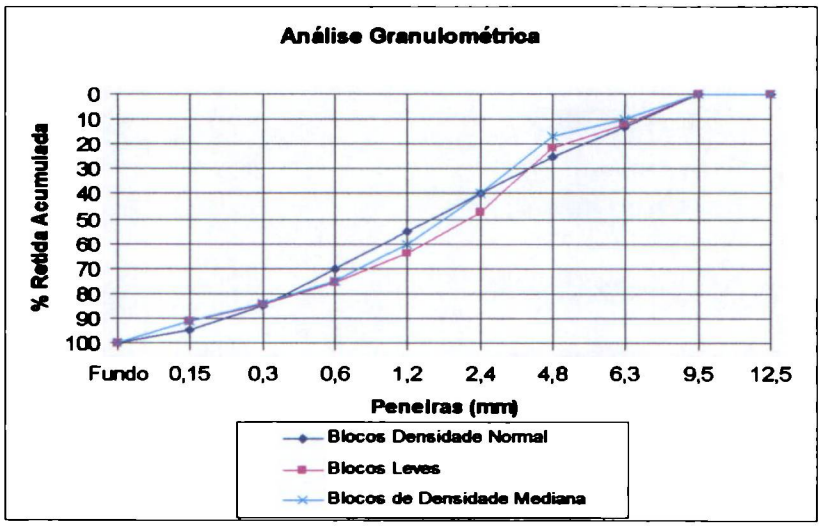
Freqüentemente não é possível escolher os agregados cuja curva granulométrica esteja dentro destes parâmetros, geralmente é necessário adaptar a produção aos materiais disponíveis.

Uma das formas de estabelecer o melhor proporcionamento entre os agregados utilizados na produção de blocos de concreto é por meio da combinação entre os módulos de finura dos agregados, comparando-os com o módulo de finura

da granulometria ideal para cada tipo de bloco, conforme pode ser verificado na tabelas A.2.11 e A.2.12 do Apêndice 2.

O objetivo de usar o módulo de finura para o cálculo destas proporções dos agregados é tão somente aproximar o máximo possível, a curva granulométrica destes materiais à curva indicada para o tipo de bloco, objeto da dosagem (MEDEIROS, 1993).

FIGURA 3.2 - CURVAS GRANULOMÉTRICAS IDEAIS PARA FABRICAÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO (PFEIFFENBERGER (1985), APUD MEDEIROS (1993), ADAPTADO PELO AUTOR)



Para determinar a fração a ser usada para cada agregado, o método propõe a seguinte equação de proporcionalidade:

$$x = (a-b)/(a-c)\ x\ 100\% \qquad (1)$$

$$y = 100\% - x \qquad (2)$$

Onde: a = Módulo de finura do agregado graúdo;

b = Módulo de finura desejado para os agregados combinados;

c = Módulo de finura do agregado miúdo;

x = Percentagem de agregado miúdo desejada, e;

y = Percentagem de agregado graúdo desejada.

Após determinar as proporções relativas entre os agregados que serão empregados na produção dos blocos de concreto, deve-se encontrar as graduações corretas para os agregados disponíveis. Para tanto, os percentuais encontrados para as frações finas e grossas (x e y), devem ser multiplicados pelas percentagens retidas nas peneiras. As novas percentagens assim obtidas devem ser indicadas no gráfico que representa a graduação sugerida para os agregados combinados e seus limites práticos.

Outra forma de se obter bons resultados é pela realização de misturas experimentais, onde se procura variar a proporção entre agregado graúdo e miúdo, procurando a máxima compacidade possível de se obter com o equipamento utilizado.

Este método, baseado no ensaio de determinação da massa unitária compactada do agregado, conforme a NBR 7.810 (1983), consiste na comparação de massas das misturas entre os agregados miúdos e graúdos, que caibam num recipiente padronizado, com volume conhecido (ABREU, 1996, RODRIGUES, 1984).

O índice de vazios é uma constante muito utilizada em mecânica dos solos e corresponde à relação entre o volume de vazios presentes entre os grãos de um determinado material e o volume total do recipiente cheio que o contém (ABREU, 1996).

Em agregados para concreto serve para ajudar a definir a qualidade de uma areia, principalmente no que diz respeito a sua distribuição granulométrica. Quanto menor for o índice de vazios de um agregado, melhor é o arranjo entre seus grãos, menor será a quantidade de pasta necessária para seu envolvimento e, conseqüentemente, menor será o consumo de cimento (ABREU, 1996).

Para se determinar o volume de vazios de um material granular, basta calcular o volume dos grãos, que corresponde à relação entre a massa do material e sua massa específica, e deduzir este valor do volume do recipiente cheio que contém o material (ABREU, 1996):

$$Iv = Vv/Vt, \text{ e} \quad (3)$$

$$Vv = Vt - Vg \quad (4)$$

Logo:

$$Iv = (Vt - Vg) / Vt = Vt/Vt - Vg/Vt \quad (5)$$

Como:

$$\sigma = M/Vg \text{ , e} \quad (6)$$

$$\gamma = M/Vt \quad (7)$$

temos:

$$Vg = M/\sigma \text{ e } Vt = M/\gamma, \quad (8)$$

o que resulta:

$$Iv = 1 - [(M/\sigma) / (M/\gamma)] \text{ ou,} \quad (9)$$

$$Iv = 1 - \gamma/\sigma \quad (10)$$

Onde: Iv = índice de vazios

Vv = volume de vazios

Vg = volume dos grãos

Vt = volume total

σ = massa específica

γ = massa unitária

M = massa da amostra

3.7.5.2 Determinação da quantidade de cimento

Conforme FERREIRA JÚNIOR (1985), é possível fabricar blocos de boa aparência com diversos consumos de cimento, desde traços ricos (1:6 em massa, por exemplo) até traços mais pobres (1:10, 1:12 ou mais). A escolha do traço deverá ser feita em função da resistência desejada, que será, dentro de padrões normais, tanto maior quanto mais rico for o traço.

3.7.5.2.1 Estabelecimento da resistência de dosagem

A resistência à compressão é um parâmetro dos mais importantes, diretamente ligado à capacidade resistente da parede e inversamente proporcional ao índice de quebra dos blocos no manuseio e transporte. Além disso, a resistência à compressão é fácil de medir e se correlaciona com outras propriedades, como a absorção de água, a deformabilidade e a durabilidade do concreto (TANGO, 1984).

Nos projetos de alvenaria estrutural, a resistência a compressão costuma ser especificada nas plantas sob a notação *"f_{bk}"*, e corresponde a resistência característica à compressão, abaixo da qual, estatisticamente, espera-se apenas 5% dos resultados obtidos nos ensaios de determinação da resistência à compressão (TANGO, 1984).

A idade convencional para a medida do f_{bk}, geralmente, é de 28 dias quando se realiza cura normal, ou entre 7 e 21 dias, quando se emprega cura a vapor (TANGO, 1984).

A resistência de dosagem do concreto para a confecção de blocos, *"f_b"*, pode ser determinada em função da resistência característica (f_{bk}) e da variabilidade do processo de produção.

Pode-se adotar, também, traços pré-determinados em volume, ajustando-se às características dos materiais disponíveis e da relação agregado/cimento (m).

A relação agregado/cimento, irá depender, principalmente, do equipamento de moldagem, sendo baixa quando a energia de adensamento disponível for pequena, indicando alto consumo de cimento. Ao contrário, quando se dispõe de equipamento capaz de fornecer alta energia de adensamento, esta se traduzirá em menor consumo de cimento por unidade produzida (RODRIGUES, 1984).

Conforme a RODRIGUES (1984) a maneira mais eficiente de determinar qual a melhor relação agregado/cimento, é através de testes de produção, nos quais se fabricam lotes de peças com diversos consumos de cimento, conforme

apresentado na Tabela 3.3.

Os resultados dos ensaios possibilitam determinar a melhor relação, que será função de parâmetros técnicos e econômicos, ou seja, deve-se buscar um produto final com resistência compatível ao fim que se destina e com preço competitivo.

TABELA 3.3 – CONSUMO APROXIMADO DE CIMENTO (C) EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO DE MASSAS AGREGADO/CIMENTO (m) (RELAÇÃO A/C = 0,45) - (RODRIGUES, 1984)

M	3	4	5	6	7	8
$C\ (kg/m^3)$	525	440	380	335	295	265

Para a determinação do consumo teórico de cimento, MEDEIROS (1993), aplica as massas unitárias dos materiais que compõem o agregado total, e a massa unitária compactada da mistura dos agregados, bem como o teor de umidade de moldagem, de acordo com a seguinte expressão:

$$Cc = \frac{mc}{(1+m)x\frac{(100+h)}{100}} \qquad (11)$$

Onde: Cc = Consumo de cimento em kg/m^3;

mc = Massa unitária da mistura compactada, em kg/m^3;

m = Massa total dos agregados secos; e,

h = Umidade da mistura seca compactada.

3.7.5.3 Determinação da quantidade de água e resistência do concreto

Para um traço fixo, a quantidade ótima de água será aquela que proporcionar aos blocos a maior compacidade, que é verificada pesando-os logo

após a moldagem. Normalmente, a máxima compacidade é obtida com a maior quantidade de água possível, até o limite em que os blocos começam a perder coesão e aderir nas paredes das formas.

A resistência de um material é definida como a capacidade deste resistir à tensão sem ruptura. A ruptura é algumas vezes identificada como o aparecimento de fissuras (MEHTA, 1994).

No concreto, a resistência é relacionada com a tensão requerida para causar a fratura e é sinônimo do grau de ruptura no qual a tensão aplicada alcança seu valor máximo (MEHTA, 1994).

O concreto utilizado para a produção de blocos é, comumente, denominado concreto seco. A sua dosagem, geralmente, inicia-se pelo estudo da composição ideal entre agregados, baseando-se na formulação de uma mistura que apresente coesão suficiente para permitir os processos de produção e desforma, que seja facilmente compactável, gerando menor volume de vazios possível e proporcione uma textura superficial adequada (PRUDÊNCIO JÚNIOR, 2002).

O teor de água do concreto dos blocos relaciona-se com a resistência à compressão, de maneira diferente da qual se está acostumado a observar para concretos plásticos (TANGO, 1984).

De acordo com MEHTA (1994), para os concretos plásticos a relação entre a resistência do concreto e a relação água/cimento, segue os parâmetros impostos pela Lei de Abrams, que pode ser determinada pela equação:

$$fcj = \frac{k_1}{k_2^{a/c}} \qquad (12)$$

Onde: fc_j = resistência à compressão a "j"dias de idade;

k_1 e k_2 = constantes que dependem da natureza dos materiais, da idade e das condições de cura do concreto;

a = consumo de água do traço, e;

c = consumo de cimento do traço.

Segundo HELENE (1992), esse modelo matemático mostra-se perfeitamente válido, sem necessidade de ajustes, sempre que:

a- a quantidade de pasta de cimento seja suficiente para preencher os vazios dos agregados;

b- os agregados sejam de elevada resistência à compressão ($\geq$ 60 MPa);

c- o concreto fresco esteja perfeitamente adensado ($\leq$ 1,5% de ar aprisionado).

Na produção de blocos de concreto, tem-se conseguido maiores resistências com relações água/cimento mais elevadas para um traço seco fixo, entretanto, quando aumenta-se a quantidade de água, verifica-se, também, um aumento da deformabilidade do bloco fresco (TANGO, 1984).

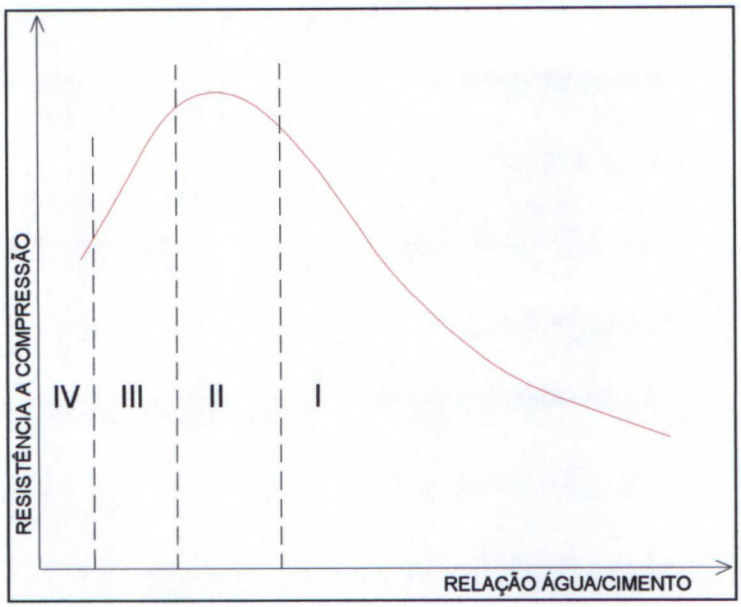
A água é adicionada até que a mistura situe-se em torno de 7% da massa do agregado total do traço. Esta umidade é definida em função do tipo e granulometria dos materiais, do uso ou não de aditivos e da vibro-prensa empregada. Ainda assim, a variação de umidade da mistura situa-se em um intervalo muito estreito que varia, normalmente, entre 5% e 8%, da massa de agregado total do traço (MEDEIROS, 1993).

Na Figura 3.3 é ilustrado o comportamento do concreto, quanto à resistência, em diferentes fases para diferentes teores de umidade, mantendo-se constante a proporção cimento/agregado e a energia de adensamento.

Para um traço fixo, a quantidade de água ideal, será aquela que proporcione aos blocos a maior compacidade durante a moldagem. Normalmente, a máxima compacidade é obtida com a maior quantidade de água possível, até o limite em que os blocos começam a perder a coesão e a aderir nas paredes dos moldes (FERREIRA, 1995 apud SOUSA, 2001).

Este comportamento pode ser identificado no gráfico, como sendo a região denominada Zona II (Figura 3.3).

FIGURA 3.3 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO ÁGUA/CIMENTO DO CONCRETO, PARA ENERGIA DE ADENSAMENTO FIXA (TANGO, 1984) – ADAPTADO PELO AUTOR.



Região I – concretos plásticos;

Região II – concretos secos, mas muito moles para produção de blocos;

Região III – concretos para produção de blocos;

Região IV – concretos muito secos, sem coesão.

O concreto para a produção de blocos deve apresentar um teor de umidade, dentro dos limites impostos para a Zona III do gráfico (Figura 3.3).

A ruptura dos blocos produzidos com os traços experimentais permite o traçado de curvas correlacionando a resistência à compressão com a respectiva umidade de moldagem, permitindo assim, estabelecer qual o teor de umidade ideal, para atingir a resistência requerida.

A resposta do concreto às tensões aplicadas não depende somente do tipo de solicitação, mas, também, de como a combinação de vários fatores afeta a porosidade do concreto. Tais fatores incluem propriedades e proporções dos materiais que compõem o traço do concreto, grau de adensamento e condições de cura (TANGO, 1984).

CAMPITELI (2002) explica que em decorrência da maior ou menor relação água/cimento, formam-se, respectivamente, mais ou menos poros capilares no interior do concreto. A porosidade está inversamente relacionada à resistência à compressão, segundo o modelo matemático proposto por MEHTA e MONTEIRO (1994):

$$S = S_0 e^{-kp} \tag{13}$$

Onde: S = Resistência do material com uma dada porosidade "p";

S_o = Resistência intrínseca para a porosidade zero; e,

k = Constante.

CAMPITELI (2002), ilustra, ainda, que além da relação água/cimento, a resistência mecânica de um concreto, depende:

- idade;
- da forma e graduação dos agregados;
- do tipo de cimento;
- da temperatura ambiente;
- da forma e dimensões do corpo-de-prova;
- da velocidade de aplicação da carga de ensaio; e;
- da duração da carga atuante sobre o concreto.

3.7.6 Determinação do Traço Piloto

Para encontrar o traço piloto deve-se determinar, primeiramente, o traço unitário em peso seco e a quantidade de água e aditivo, caso seja utilizado, a serem empregados na mistura.

A quantidade de água pode ser calculada com base no somatório dos materiais secos que serão misturados de uma só vez. A mistura, normalmente,

possui cerca de 6% a 7,5% de umidade, dependendo das características dos materiais utilizados, do equipamento de moldagem e do emprego ou não de aditivos (FERREIRA, 1995).

Deve-se ter atenção para as correções que se fizerem necessárias no traço piloto, em virtude da umidade superficial e inchamento apresentados pelos agregados, em peso ou em volume.

O início da produção deve servir, também, para a verificação da textura superficial dos blocos, sendo que os blocos destinados a receber revestimento devem ter uma superfície suficientemente áspera para garantir uma boa aderência, e os blocos destinados à execução de alvenarias externas, sem revestimento, não devem apresentar imperfeições na face exposta (PRUDÊNCIO JÚNIOR, 2002).

3.7.7 Mistura dos Materiais

A mistura dos materiais básicos para a produção de blocos de concreto, apesar de receber quase sempre pouca ou nenhuma atenção, é de grande importância para a uniformidade da produção (MEDEIROS, 1993).

Na produção de blocos pré-fabricados de concreto, utilizando vibro-prensas, a seqüência de colocação dos materiais e o tempo adequado de mistura devem ser definidos em função do tipo de equipamento utilizado, não sendo válidos os procedimentos gerais recomendados para misturas em betoneiras (SOUSA, 2001).

A ordem de colocação e mistura dos materiais, nos misturadores existentes nas máquinas de moldagem de blocos, deve ser a seguinte (CONCRETE, 1989 apud MEDEIROS, 1993):

a- carregar o misturador com os agregados;

b- introduzir o cimento;

c- misturar os materiais a seco por cerca de 1 minuto;

d- colocar a água necessária e o aditivo (caso seja usado); e,

e- misturar novamente de 2 a 4 minutos.

No início das operações, o equipamento deve ser umedecido para evitar a absorção da água de amassamento pelas paredes do misturador.

3.7.8 Equipamentos de Produção

Os equipamentos utilizados na produção de blocos de concreto são denominados vibro-prensas. Elas recebem esta denominação devido ao mecanismo de funcionamento empregado durante o processo de moldagem dos blocos: vibração associada à prensagem. A primeira função é responsável pelo preenchimento do molde e adensamento da mistura e, a segunda, influencia o adensamento e o acabamento dos blocos (SOUSA, 2001).

O desenvolvimento da tecnologia para fabricação destes equipamentos tem sido intenso e baseado nos seguintes parâmetros (CONCRETE, 1987 apud MEDEIROS, 1993):

- necessidade de redução do custo da mão de obra empregada na produção;
- aumento da capacidade da máquina em produzir grande variedade de produtos;
- necessidade de preencher requisitos de custos e desempenho de grandes e pequenos fabricantes.

3.7.8.1 Mecanismo de Vibração

O mecanismo de vibração das vibro-prensas é responsável direto pela qualidade dos componentes moldados. Esta vibração governa as operações de moldagem e colabora para a prensagem dos blocos (MEDEIROS, 1993).

Segundo SOUSA (2001), os principais parâmetros que caracterizam a

vibração, se resumem em: direção, amplitude, velocidade, aceleração e tempo de adensamento.

Segundo MEDEIROS (1993), na escolha do melhor mecanismo de vibração das máquinas produtoras de blocos, deve-se considerar aspectos tecnológicos necessários para atentes as seguintes condições:

- as características de vibração transmitidas ao molde e ao concreto devem ser idênticas em todos os pontos, de modo a assegurar uma produção de qualidade uniforme, qualquer que seja a posição do bloco no molde.
- as características da vibração devem ser constantes em relação ao tempo e reproduzíveis de um ciclo a outro.
- os esforços considerados para produzir e transmitir as vibrações são, diretamente, proporcionais à massa das partes mecânicas que devem, portanto, ser as mais leves possíveis, conservando a rigidez e a durabilidade, necessárias.

3.7.9 Moldagem dos Blocos de Concreto

Logo após o lançamento de concreto nas formas, é indispensável torná-lo o mais compacto possível, provocando a saída do ar aprisionado no interior e facilitando a arrumação interna das partículas do agregado, imbricando-as uma nas outras. Uma porcentagem mínima de vazios pode acarretar uma redução considerável da resistência. É imprescindível, portanto, que sejam eliminados os vazios por meio de um adensamento conveniente (ABREU, 1994).

O processo de vibração consiste numa distribuição de energia mecânica na massa de concreto, que se opõe às ligações de contato, suprimindo o atrito interno correspondente, o que facilita o adensamento provocado pelo peso dos componentes, que sendo muito maior que do ar, permite que este seja expulso

(ABREU, 1994).

Há uma diversidade muito grande de formas de adensamento do concreto, que dependem basicamente do tipo de pré-moldado e do processo de execução. Este trabalho, referir-se-á, tão somente ao processo mais utilizado, em escala comercial, para a produção de blocos de concreto, que é mediante a utilização de vibro-prensas.

MEDEIROS (1993) apresenta a seqüência de funcionamento das vibro-prensas durante a moldagem dos blocos, resumindo às seguintes etapas, conforme a Figura 3.4:

a- preenchimento da gaveta alimentadora com a mistura destinada a moldagem dos blocos;

b- preenchimento do molde metálico onde os blocos são moldados, fase acompanhada pela vibração do molde;

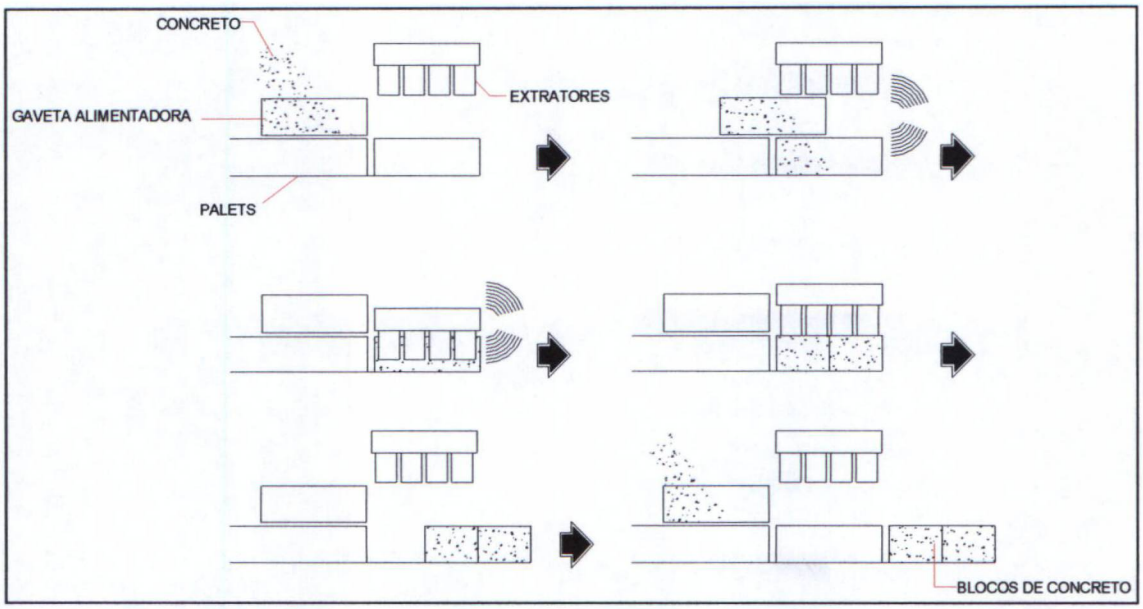
c- compactação dos blocos com contramoldes, fase acompanhada por nova vibração do molde, finalizando quando a altura desejada para os blocos é atingida;

d- desforma dos blocos logo após o término da operação anterior, fase em que extratores permanecem imóveis, enquanto o molde ascende, permitindo que os blocos permaneçam sobre o "palet" onde foram moldados, logos após sobem os extratores;

e- o "palet" com os blocos recém moldados avançam para a frente da máquina, enquanto um novo "palet" vazio ocupa seu lugar sobre o molde;

f- o molde metálico desce então para a sua posição original, enquanto os extratores ascendem, preparando-se para um novo ciclo.

FIGURA 3.4 - SEQÜÊNCIA BÁSICA DE FUNCIONAMENTO DE UMA VIBRO-PRENSA AUTOMÁTICA (MEDEIROS, 1993 APUD SOUSA, 2001) ADAPTADO PELO AUTOR



O tempo ótimo de vibração será o mínimo necessário para proporcionar aos blocos a máxima compacidade. Esse tempo irá variar conforme a máquina de moldagem e as características do concreto fresco, sendo que o importante é que seja conhecido e rigorosamente controlado, com cronômetro ou sistema automático de medição.

Em condições normais de moldagem, MEDEIROS (1993), sugere os seguintes tempos para o ciclo de produção dos blocos, dependendo do tipo e potência do sistema de vibração:

- Tempo de alimentação: 2 a 4 segundos;
- Tempo de vibração: 3 a 5 segundos;
- Tempo de desforma: 1 a 2 segundos

3.7.10 Cura

O processo de cura corresponde a um conjunto de operações que visa proporcionar aos blocos, durante um certo tempo, condições de umidade, temperatura e pressão, necessários a uma adequada reação de hidratação do cimento, evitando a retração hidráulica que ocorre devido a evaporação da água de amassamento nas primeiras idades do concreto. Qualquer alteração nessas condições pode refletir diretamente nas características finais dos blocos de concreto (TANGO, 1984).

A retração plástica é um tipo de retração que ocorre antes da pega do cimento e é extremamente inconveniente porque resulta em fissuras. É devida a rápida evaporação da água, que ocorre quando a superfície do concreto fica exposta ao vento, ar seco e temperaturas elevadas (exposição direta ao sol). Estas causas têm efeito cumulativo, podendo resultar em fissuração mais ou menos acentuada, devido à redução de dimensões da peça (ABREU, 1994).

Não curar o concreto adequadamente significa reduzir a sua resistência ou utilizar uma maior quantidade de cimento para compensar essa redução.

MEHTA (1994) considera sete dias como um período mínimo de cura para concretos contendo cimento Portland comum, sendo desejável, porém, períodos mais longos para concretos contendo cimentos compostos ou com adições minerais, de modo a garantir a contribuição das reações pozolânicas na resistência do material.

SOUSA (2001), apresenta três tipos de cura, que geralmente são utilizados na produção de blocos de concreto, que são:

- cura com autoclaves;
- cura natural ou ao ar livre; e,
- cura em câmara de vapor.

Na cura com autoclaves utilizam-se temperaturas entre 150 °C e 205 °C e pressão de, aproximadamente, 1,0 MPa. Este método é pouco utilizado devido aos altos custos de implantação e consumo que representa (MEDEIROS, 1993 apud SOUSA, 2001).

Segundo FERREIRA JÚNIOR (1985), a cura natural ou ao ar livre, é a maneira mais simples de proceder dos blocos recém moldados.

Logo após confeccionados, os blocos deverão ser armazenados em câmaras de cura, ou em local protegido do sol e do vento, devendo ser iniciada a molhagem assim que o concreto atingir resistência suficiente e, somente, 24 horas após a moldagem, os blocos poderão ser transportados para um pátio a céu aberto, porém, o processo de molhagem deverá continuar, pelo menos, por mais 6 dias.

A cura a vapor é o sistema de cura mais empregado na indústria de blocos de concreto, Este sistema é, normalmente, empregado pelos produtores de blocos que exigem de seus componentes melhor desempenho a curtas idades. O ciclo de cura a vapor é variável, podendo chegar a 24 horas (MEDEIROS, 1994 apud SOUSA, 2001).

3.8 PROPRIEDADES REQUERIDAS DO CONCRETO PARA BLOCOS

Costuma-se dividir as propriedades do concreto em propriedades no estado fresco, ou quando o concreto é recém misturado, ou ainda, quando o concreto não é capaz de resistir a pequenos esforços, e propriedades no estado endurecido, ou seja, aquelas nas quais o concreto é capaz de resistir às solicitações.

3.8.1 Propriedades no Estado Fresco

As propriedades requeridas para o concreto destinado a produção de blocos, no estado fresco, estão relacionadas ao manuseio durante a produção e conhecidas pelo nome genérico de trabalhabilidade.

A trabalhabilidade compreende a consistência, que é expressão da fluidez e da coesão do concreto, bem como a aptidão do concreto ser moldado, tendo em vista as peculiaridades do molde, da energia de adensamento, do processo de desmoldagem e outras características do equipamento e do processo de produção dos blocos (TANGO, 1984).

A consistência necessária ao concreto para a produção de blocos, está ligada ao fato da desmoldagem ocorrer com os blocos ainda no estado fresco. Portanto, é necessário que o concreto seja, suficientemente úmido para permitir a moldagem, mas não em demasia, para que os blocos não se deformem após a desmoldagem, enfim, que o concreto tenha coesão suficiente para não se esboroar após a desmoldagem, mas não em excesso, para não aderir às paredes do molde (TANGO, 1984).

A consistência requerida varia em função do equipamento, mas como princípio básico, pode-se defini-la como a "consistência de formação de pelota", caso contrário com teores de umidade mais altos, a fluidez aumenta e a coesão diminui, mas já se pode estar demasiadamente distante do campo de trabalhabilidade do equipamento de moldagem, caindo no campo dos concretos plásticos. (TANGO, 1984).

3.8.2 Propriedades no Estado Endurecido

O objetivo mais amplo da dosagem do concreto para blocos é a escolha do traço de concreto que, com o equipamento e processo de produção empregados, resulte na confecção de blocos cujas propriedades no estado endurecido satisfaçam às exigências de uso predeterminadas, com custo mínimo (TANGO, 1984).

Normalmente, as exigências têm-se referido à resistência à compressão e à absorção de água, porém as outras propriedades não deixam de ser importantes, conforme pode ser verificado na Tabela 3.4.

TABELA 3.4 - PROPRIEDADES DO CONCRETO PARA BLOCOS, NO ESTADO ENDURECIDO (TANGO, 1984 – ADAPTADO PELO AUTOR)

Propriedade	Método	Importância
Resistência à Compressão	NBR 7184/92	Relação íntima com a capacidade estrutural da parede; ligada a quebras no transporte e manuseio.
Absorção de Água	NBR 12118/91	Relacionada com a permeabilidade da parede à água de chuva e a durabilidade dos blocos.
Umidade	NBR 12118/91	Ligada à capacidade de aderência dos blocos à argamassa de assentamento no estado fresco.
Capilaridade	NBR 9779/95	Relacionada com a infiltração de água por ascenção capilar.
Retração por Secagem	NBR 12117/91	Atenção quanto a possibilidade de fissuras em paredes, quando o uso de traços ricos em cimento ou água, estando o concreto com idade relativamente baixa.

3.8.2.1- Resistência à compressão

A resistência à compressão da unidade é o principal parâmetro de projeto da parede de alvenaria. Esta propriedade torna-se, por este motivo, a principal variável de controle do processo produtivo do bloco de concreto (MEDEIROS, 1993).

A resistência à compressão dos blocos de concreto depende, fundamentalmente, da dosagem, da natureza dos materiais constituintes, da eficiência da moldagem e da cura empregada.

A NBR 6.136 (1994), estipula valores mínimos para a resistência dos blocos de concreto com finalidade estrutural, em função de duas classes relativas ao seu uso, sendo:

- Classe AE – Blocos para uso geral, como em paredes externas acima ou abaixo do nível do solo, que podem estar expostas a umidade ou intempéries, e que não recebem revestimento de argamassa de cimento;

- Classe BE – Blocos limitados ao uso acima do nível do solo, em paredes externas com revestimento de argamassa de cimento, para proteção contra intempéries e em paredes não expostas às intempéries.

Os valores mínimos para resistência à compressão dos blocos de concreto, fixados pela norma, em função das classes de uso, encontram-se apresentados na Tabela 3.5.

TABELA 3.5 - VALORES MÍNIMOS PARA A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL, CONFORME A NBR 6.136 (1994) - ADAPTADO PELO AUTOR

Valores Mínimos de fbk (MPa)		
Classe de Resistência	**Classe AE**	**Classe BE**
4,5	*	4,5
6,0	6,0	6,0
7,0	7,0	7,0
8,0	8,0	8,0
9,0	9,0	9,0
10,0	10,0	10,0
11,0	11,0	11,0
12,0	12,0	12,0
13,0	13,0	13,0
14,0	14,0	14,0
15,0	15,0	15,0
16,0	16,0	16,0

Por outro lado, a norma NBR 7.173 (1982), que especifica os blocos de concreto para uso em alvenarias sem função estrutural, impõe os limites de resistência à compressão, expressos na Tabela 3.6.

TABELA 3.6 - VALORES MÍNIMOS PARA A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA NÃO ESTRUTURAL - NBR 7.173 (1982) - ADAPTADO PELO AUTOR

Valores Mínimos de Resistência à Compressão (Mpa)	
Média	2,5
Individual	2,0

A avaliação da resistência à compressão é realizada pelo ensaio que consiste em submeter a uma carga crescente, que produzam esforços de compressão distribuídos em toda a seção transversal dos corpos-de-prova,

moldados com o concreto em estudo, até o máximo que possa resistir.

O valor máximo da tensão de compressão, que define a sua própria resistência à compressão, pode variar com inúmeros fatores. Alguns destes fatores são relacionados com o corpo-de-prova, tais como: energia do adensamento, condições de cura, idade, forma, e outros relacionados com o equipamento, tal como a velocidade de aplicação da carga. Por isso os ensaios devem ser normalizados e os corpos-de-prova padronizados.

Quando os blocos estão secos, os resultados dos ensaios à compressão tendem a apresentar-se mais altos do que quando estão úmidos; a explicação é dada pela diminuição da energia de superfície das partículas umedecidas e pela teoria de *Griffith*, que diz que a tensão de ruptura de um material é proporcional à raiz quadrada de sua energia de superfície.

O valor máximo da umidade dos blocos, determinado segundo a NBR12.118 (1991), deve estar de acordo com a Tabela 3.7.

TABELA 3.7 - VALORES MÁXIMOS PARA UMIDADE DOS BLOCOS DE CONCRETO (NBR 12.118/91 – ADAPTADO PELO AUTOR)

Retração Linear	**Umidade máxima em % do valor da absorção para diferentes condições de umidade relativa média anual do ar no local da utilização**		
	UR ≥ 75%	**75% > UR ≥ 50%**	**UR < 50%**
≤ 0,03 %	**45**	**40**	**35**
> 0,03 % a ≤ 0,045 %	**40**	**35**	**30**
> 0,045 % a ≤ 0,065 %	**35**	**30**	**25**

O valor da tensão de ruptura à compressão é dado pela expressão:

$$fc = P/S \tag{14}$$

Onde: P é o valor da carga de ruptura, ou seja, a carga máxima indicada pelo equipamento de medição, durante o ensaio, e S é a área da secção resistente, considerando a área bruta do corpo-de-prova, medido antes do ensaio.

3.8.2.2 Resistência à tração

Apesar das limitações estruturais das alvenarias se darem por tensões de tração, os principais critérios de classificação dos blocos e concreto, como visto no item anterior, levam em consideração sua resistência à compressão.

Os ensaios de tração direta do concreto são raramente realizados, principalmente, porque os dispositivos de fixação dos corpos-de-prova introduzem tensões secundárias que não podem ser ignoradas (MEHTA, 1994).

Os ensaios mais comumente usados para estimar a resistência do concreto à tração, são os ensaios de determinação da resistência à tração por compressão diametral, conforme NBR 7.222 (1994) e o de determinação da tração na flexão, conforme NBR 12.142 (1991).

3.8.2.2.1 Resistência à tração por compressão diametral

A resistência do concreto à tração pode ser determinada com relativa precisão pelo chamado método brasileiro, desenvolvido por *LOBO CARNEIRO* e sua equipe, tendo sido normalizado pela *Association Française de Normalisation (AFNOR)* , *American Society for Testing and Materials (ASTM)* , *British Standards Institution (BSI)* e outras instituições normalizadoras de renome internacional (SOBRAL, 1983). A ABNT normalizou-o sob a designação NBR 7.222 (1994) – Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos (SOBRAL, 1983).

No ensaio de determinação da resistência à tração por compressão diametral, os corpos-de-prova cilíndricos de concreto, são submetidos a cargas de compressão ao longo de duas linhas axiais, as quais são diametralmente opostas. A carga é aplicada, continuamente, a uma velocidade constante de (0,05 ± 0,02) MPa/s, dentro de um intervalo de tensão de ruptura à tração de 0,7 a 1,4 MPa, até a ruptura do corpo-de-prova. A tensão de compressão produz uma tensão transversal

que é uniforme ao longo do diâmetro vertical (SOBRAL, 1983).

A resistência à tração determinada pelo ensaio de compressão diametral é calculada pela fórmula abaixo.

$$fctm = \frac{2P}{\pi.L.D} \tag{15}$$

Onde: P = carga de ruptura;

L = comprimento do corpo-de-prova, e;

D = diâmetro do corpo de prova.

3.8.2.2.2 Resistência à tração por flexão

No ensaio de determinação da resistência à tração por flexão, o corpo-de-prova prismático de (15 x 15 x 50) cm, é carregado nos terços médios do vão entre apoios, numa velocidade de 0,8 a 1,2 MPa/min.

A resistência à tração assim determinada é calculada de acordo com a expressão:

$$fct,f = \frac{PL}{bd^2} \tag{16}$$

Onde: P = carga máxima aplicada;

L = comprimento do vão;

b = largura do corpo-de-prova, e;

d = altura do corpo-de-prova.

3.8.2.2.3 Relações entre as tensões de ruptura à compressão e à tração

As relações entre as tensões de ruptura à tração e à compressão do concreto se constituíram, sempre, numa preocupação dos pesquisadores. Hoje, pode-se dizer, em face da teoria de *Griffith,* que estabelece a ruptura à tração como causa da ruptura à compressão, que os parâmetros que influem numa e noutra são

sensivelmente os mesmos. Por exemplo, quando cresce a compressão, também cresce a tração, embora esta última seja mais sensível aos parâmetros clássicos que atuam na resistência à compressão: dosagem de cimento e de água (SOBRAL, 1983).

O mesmo ocorre com outros parâmetros, tais como a área específica dos agregados, que, no entanto, influi mais na tração que na compressão, como a cura, que influi mais na tração que na compressão, e como a idade que, além do primeiro mês, faz com que a tensão de tração cresça mais lentamente do que a de compressão (SOBRAL, 1983).

Como demonstra SOBRAL (1983), a relação entre a resistência à tração e à compressão decresce quando a compressão aumenta. O mesmo ocorre com o aumento da idade.

Lembrando que os valores das tensões de tração, obtidos pelo ensaio de compressão diametral, são um pouco maiores que os correspondentes à tração axial, a relação entre estes últimos valores e a resistência à compressão, obtidos pela *Portland Cement Association* e citados por SOBRAL (1983), oscilavam em torno de 1/11. Essa relação ficou em torno de 1/5 no caso da tração obtida pelo ensaio de flexão.

Na prática, diz-se que estas relações ficam em torno de 1/10 e 1/5, respectivamente (SOBRAL, 1983).

SHRIVE (1982) apud MEDEIROS (1993), afirma que as tensões de tração concentram-se nos septos dos blocos e são responsáveis diretamente pela ruptura da alvenaria carregada axialmente à compressão.

MEDEIROS (1993), aponta outra razão para a escassez de dados a respeito da resistência a tração de blocos de concreto, que é a inexistência de ensaios simples para esta finalidade.

SOBRAL (1983), indica que o valor característico da resistência à tração axial do concreto deve ser obtido a partir do ensaio caracterizado na NBR 7.222

(1994), ensaio de compressão diametral, e na falta de determinação experimental, poderão ser adotadas as seguintes relações:

$$f_{tk} = f_{ck}/10 \text{ para } f_{ck} < 18 \text{ MPa} \quad (17)$$

$$f_{tk} = 0{,}06 f_{ck} + 0{,}7 \text{ MPa para } f_{ck} > 18 \text{ Mpa} \quad (18)$$

3.8.2.2.4 Previsão de resistência à compressão do concreto

Segundo CAMPITELI (2002), a resistência do concreto se eleva com o tempo e deve atingir o valor de projeto após 28 dias. Contudo, quando não se pode esperar por 28 dias para se saber o valor da resistência, pode-se utilizar previsões de resistência com base em resultados preliminares obtidos em laboratório, aplicados a modelos matemáticos, ou, não sendo possível a modelagem, pode-se fazer previsões com base em tabelas construídas a partir de experiências anteriores, criteriosas. Neste segundo caso, a confiabilidade poderá ser menor.

Para se obter informações, mais rapidamente, sobre a qualidade de um concreto, pode-se ensaiar corpos-de-prova, à compressão, com idades de 3 e 7 dias. Em se utilizando cimento Portland de Alta Resistência Inicial (CPV-ARI), pode-se verificar esta característica, também, com 1 dia de idade.

CAMPITELI (2002) explica que a resistência à compressão do concreto aumenta a medida que as reações químicas entre o cimento e a água (reações de hidratação) progridem com o tempo, sendo, porém, de caráter assintótico, o que significa que resistência mecânica, resultante das reações, tende, de maneira crescente com o tempo, a um valor limite. Assim, dependendo do valor da relação água/cimento, com o crescimento do grau de hidratação, a resistência aumente, segundo o modelo proposto por Powers, adaptada por Collepardi, para o caso da resistência à compressão:

$$fc = k.\left(\frac{0{,}6790.\alpha}{0{,}3175.\alpha + x}\right)^{n} \tag{19}$$

Onde: fc = resistência à compressão (MPa);

k = constante que depende do tipo de cimento;

n = constante; e,

α = grau de hidratação (varia de 0 a 1).

A correspondência entre a relação água/cimento e a resistência do concreto, verifica-se, sempre, para um mesmo tipo de cimento e uma mesma idade. Por outro lado, a relação entre a resistência e o espaço/gel de cimento tem uma aplicação mais geral, porque a quantidade de gel numa pasta de cimento, a qualquer tempo, é função da idade e do tipo de cimento. Em suma, cimentos diferentes exigem tempos diferentes para produzirem a mesma quantidade de gel (SOBRAL, 1983).

Portanto, para uma temperatura constante e desde que não falte água para a hidratação do cimento, a resistência à compressão depende do tempo decorrido desde o momento em que se adiciona água ao concreto ou à argamassa de cimento.

Baseado nestes princípios, CAMPITELI (2002), apresenta um modelo matemático que relaciona a resistência do concreto com a idade, e que tem sido utilizado para a previsão de resistência à compressão, para controle de produção do concreto.

$$fcj = \frac{C}{D^{\frac{1}{\sqrt{j}}}} \tag{20}$$

Onde: fc_j = resistência à compressão à idade de "j" dias;

C e D = valores constantes;

j = idade do concreto, em dias.

Buscando associar os dois fatores que influenciam na resistência à compressão do concreto, ou seja, a relação água/cimento e a idade do concreto, numa única equação matemática, CAMPITELI (2002) apresenta as equações que TANGO (1991) estabeleceu, abaixo apresentadas:

$$fc = \frac{A}{B^x . C^{x/\sqrt{j}}} \tag{21}$$

ou

$$fc = \frac{A}{B^x . D^{x/\sqrt{j}} . E^{1/\sqrt{j}}} \tag{22}$$

Onde: os coeficientes A,B,C,D e E, são determinados por ajuste dos pontos disponíveis pela correlação múltipla e pelo método dos mínimos quadrados.

j = idade do concreto, em dias;

x = relação água/cimento.

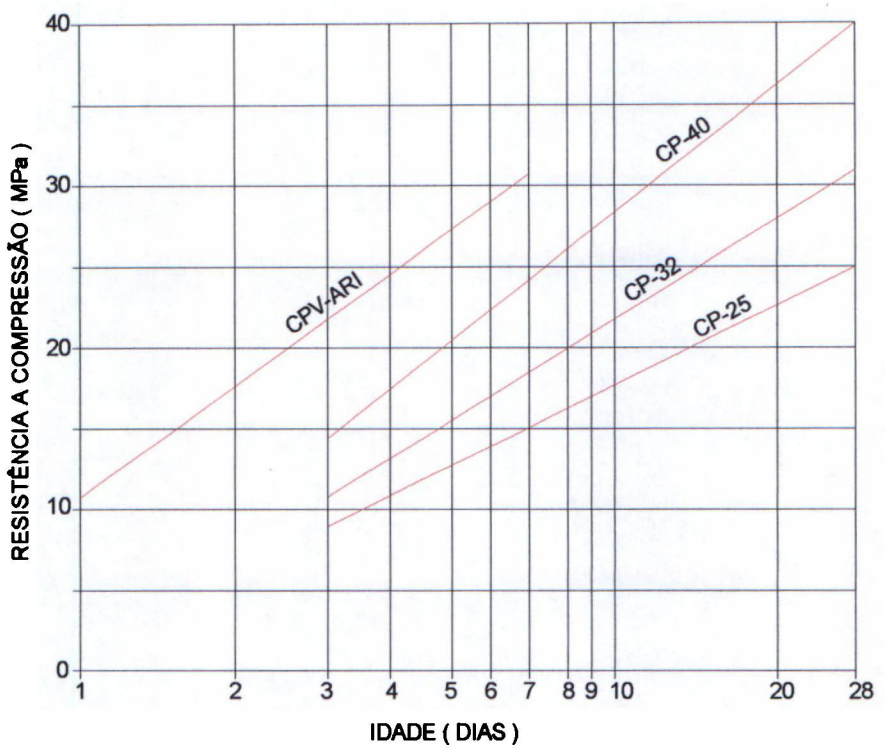
3.8.2.2.5 Previsão com base em valores tabelados

SOBRAL (1983) ilustra o comportamento da resistência mecânica dos cimentos brasileiros (Figura 3.5) e apresenta os valores encontrados, pelas correlações entre a resistência à compressão de diversas idades com a correspondente aos 28 dias, desses cimentos, e os valores sugeridos pelo CEB (1972), para estas correlações, apresentadas na Tabela 3.8.

TABELA 3.8 - COMPARATIVO DO DESENVOLVIMENTO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, COM A IDADE (SOBRAL, 1983, ADAPTADO PELO AUTOR).

Resistência Relativa (%)			
Idade (Dias)	Compressão		Flexão
	Cimento Comum	Cimento de Alta Resist. Inicial	Cimento Comum
3	0,40	0,55	0,40
7	0,65	0,75	0,70
28	1,00	1,00	1,00
90	1,20	1,15	1,05
360	1,35	1,20	1,10

FIGURA 3.5 - VARIAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO DOS CIMENTOS BRASILEIROS, COM A IDADE (SOBRAL, 1983) ADAPTADO PELO AUTOR



3.8.3 Absorção de Água e Índice de Vazios

A capacidade de absorção de água pelo bloco é uma propriedade relacionada à porosidade do material e influencia diretamente a aderência do bloco, com a argamassa.A absorção total indica a quantidade de vazios existente no bloco e permite determinar sua densidade (TANGO, 1984).

Os componentes de alvenaria devem apresentar um valor mínimo de absorção de água, abaixo do qual não haverá penetração adequada de nata de aglomerante em seus poros, e um valor máximo, para que não ocorra intensa retirada de água da argamassa, prejudicando a hidratação do aglomerante. Para mesmas condições de assentamento, quanto maior a área de contato argamassa/bloco, maior a aderência, a penetração de argamassa nas ranhuras e furos dos blocos (THOMAZ e HELENE, 2000).

A NBR 9.778 (1987), descreve a forma para determinar a absorção de água, o índice de vazios e a massa específica de argamassas e concretos endurecidos.

De acordo com a norma, a absorção de água é determinada por meio da proporcionalidade das massas do material seco em estufa e saturado em água, conforme a expressão:

$$Abs(\%) = \frac{(M.sat - M.s)}{M.s} x100 \qquad (23)$$

Onde:

$M.sat$ = Massa do bloco após saturação em água por 72 horas;

$M.s$ = Massa do bloco após permanência em estufa à (105 ± 5) °C, por 72 horas.

O índice de vazios, por sua vez, conforme a mesma norma, é determinado pela expressão:

$$Iv(\%) = \frac{(M.sat - M.s)}{(M.sat - M.i)} x100 \qquad (24)$$

Onde:

$M.s$ = Massa do corpo-de-prova seco;

$M.i$ = Massa do corpo-de-prova saturado imerso em água;

$M.sat$ = Massa do corpo-de-prova saturado.

A massa específica da amostra seca é determinada pela expressão:

$$\gamma.s = \frac{M.s}{(M.sat - M.i)} \qquad (25)$$

A massa específica da amostra saturada é determinada pela expressão:

$$\gamma.sat = \frac{M.sat}{(M.sat - M.i)} \tag{26}$$

A NBR 6.136 (1994), especifica em 10% o limite para a absorção de água de blocos de concreto simples utilizados para alvenaria estrutural, enquanto a NBR 7.173 (1982), especifica em 10%, o valor máximo para a média dos blocos ensaiados e 15%, o valor máximo individual, para blocos utilizados em alvenaria sem função estrutural.

3.8.4 Estabilidade Dimensional

A manutenção das dimensões dos blocos ao longo do tempo precisa estar bem definida para ser considerada no projeto do edifício de alvenaria estrutural.

O bloco sofre expansão e contração volumétricas provenientes de duas origens principais: a variação térmica e a retração na secagem.

Os materiais porosos, constituintes dos blocos sofrem, em maior ou menor escala, variações volumétricas em função do teor de umidade, produtos sujeitos a grande retração por secagem, ou que absorvam mais umidade como em decorrência de chuva no canteiro de obras ou na própria parede recém erguida, tenderão a secar na parede acabada, introduzindo uma maior probabilidade a formação de fissuras e destacamentos (THOMAZ e HELENE, 2000).

Frente às oscilações de temperatura, os materiais constituintes dos blocos apresentarão diferentes variações dimensionais, podendo induzir destacamentos entre alvenaria e estrutura (paredes de vedação) ou entre paredes ligadas com juntas a prumo (THOMAZ e HELENE, 2000).

A principal recomendação para evitar o surgimento de fissuras devido a retração é evitar a molhagem do bloco antes de seu assentamento, mesmo que se

observe os cuidados relativos com a cura (MEDEIROS, 1993).

A estabilidade dimensional é considerada por SABBATINI (1984) apud MEDEIROS (1993), como sendo o parâmetro indicador do potencial de deformação que a parede irá apresentar.

Os coeficientes de deformação linear e volumétrico devido a variações térmicas, higroscópicas e com origem em reações químicas dos blocos podem caracterizar o grau de estabilidade dimensional.

A norma brasileira NBR 6.136 (1994), que especifica os blocos de vazados de concreto para alvenaria estrutural, estabelece que a retração por secagem dos blocos, realizados conforme a NBR 12.117 (1991), não deve ultrapassar o valor de 0,065%, conforme apresentado na Tabela 3.7 (página 86).

3.8.5 Regularidade Geométrica

Para a obtenção de paredes de geometria bem definida é importante que os blocos apresentem pequena variabilidade nas suas dimensões. Deve-se obter juntas de espessuras constantes, prumos, níveis precisos e modulação adequada. Tais características são fundamentais quando se trabalha com processos construtivos racionalizados.

Blocos regulares permitem assentamento uniforme e conseqüente economia de argamassa de assentamento e de revestimento, viabilizando ainda revestimentos em gesso. Nas alvenarias aparentes a regularidade ganha ainda maior importância (THOMAZ e HELENE, 2000).

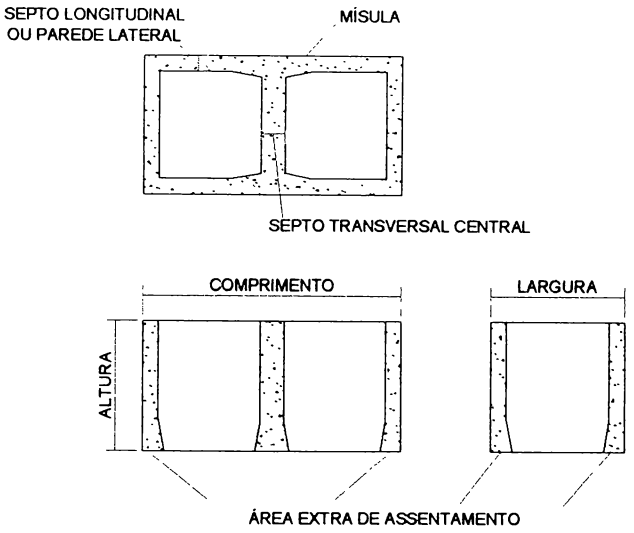
Blocos de geometria bem definida facilitam o assentamento e contribuem diretamente para o bom desempenho estrutural da parede.

3.8.5.1 Nomenclatura e Dimensões dos Blocos de Concreto

A nomenclatura e as principais dimensões de um blocos de concreto, são

apresentadas na Figura 3.6.

FIGURA 3.6 - NOMENCLATURA DAS PARTES E DIMENSÕES DE UM BLOCO DE CONCRETO. (MEDEIROS, 1993) ADAPTADO PELO AUTOR



A NBR 6.136 (1994) – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural, estabelece os parâmetros apresentados na Tabela 3.9, para as características geométricas dos blocos pré-fabricados de concreto.

TABELA 3.9 - DIMENSÕES PADRONIZADAS PARA BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA ESTRUTURAL - NBR 6.136 (1994) – ADAPTADO PELO AUTOR

Designação	Dimensões Nominais (cm)	Dimensões Padronizadas (mm)		
		Largura	Altura	Comprimento
M-20	20 x 20 x 40	190	190	390
	20 x 20 x 20	190	190	190
M-15	15 x 20 x 40	140	190	390
	15 x 20 x 20	140	190	190

De acordo com aquela norma, as dimensões dos blocos podem apresentar tolerâncias de +/- 2,0 mm, para a largura e +/- 3,0 mm, para a altura e comprimento.

A NBR 6.136 (1994), estabelece ainda, que a menor dimensão do furo não deve ser inferior a 8,0 cm para o bloco M-15 e 12,0 cm para o bloco M-20, e que os blocos devem ter mísulas de acomodação com raio mínimo de 2,0 cm, entre as paredes longitudinais e transversais. A espessura mínima para o septo de blocos estruturais deve ser de 25,0 mm.

A NBR 7.173 (1982) – Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural, por sua vez, especifica as dimensões e tolerâncias para os elementos pré-fabricados de acordo com a Tabela 3.10.

TABELA 3.10 - DIMENSÕES PADRONIZADAS PARA BLOCOS DE CONCRETO PARA ALVENARIA SEM FUNÇÃO ESTRUTURAL - NBR 7.173 (1982) - ADAPTADO PELO AUTOR

Designação	Dimensões Nominais (cm)	Dimensões Padronizadas (mm)		
		Largura	Altura	Comprimento
M-20	20 x 20 x 40	190	190	390
	20 x 20 x 30	190	190	290
	20 x 20 x 20	190	190	190
	20 x 20 x 10	190	190	90
	20 x 10 x 20	190	90	190
M-15	15 x 20 x 40	140	190	390
	15 x 20 x 35	140	190	340
	15 x 20 x 30	140	190	290
	15 x 20 x 20	140	190	190
M-10	10 x 20 x 40	90	190	390
	10 x 20 x 30	90	190	290
	10 x 20 x 20	90	190	190
	10 x 20 x 15	90	190	140
	10 x 20 x 10	90	190	90
	10 x 10 x 20	90	90	190

Sendo que as tolerâncias permitidas são de + 3,0 mm e - 2,0 mm, nas dimensões dos blocos, e que a espessura mínima de qualquer parede do bloco deve ser de 20,0 mm.

Outro aspecto de extrema importância é a coordenação dimensional, ou seja, o tamanho dos blocos deve ser compatível com os vãos estruturais ou com as dimensões das paredes estruturais, tamanho dos caixilhos, entre outros.

3.8.6 Resistência ao Fogo, Isolamento Térmico e Acústico

Resistência ao fogo, isolamento térmico e acústico são requisitos inerentes à parede de alvenaria que precisam ser considerados globalmente para serem corretamente avaliados. Entretanto, como o bloco ocupa a maior parte do volume e da massa da parede, torna-se naturalmente determinante para a obtenção de um desempenho adequado (MEDEIROS, 1993).

A capacidade de isolação acústica dos materiais varia de acordo com diferentes faixas de freqüência que integram os sons. De acordo com BECKER (1990) apud THOMAZ e HELENE (2000), considerando uma média ponderada dessas freqüências, a isolação aos sons aéreos (Ia) para elementos maciços pode ser estimada pela massa da parede, aplicando a expressão:

$$Ia = 12 + 5{,}3\sqrt[3]{m} \qquad (27)$$

Onde: m = massa da parede, em kg/m^2

O desempenho térmico dependerá da inércia térmica, função da massa da parede e do calor específico do material, e da presença de camadas confinadas de ar.

Do ponto de vista da isolação acústica, como regra geral, paredes mais pesadas apresentam melhor isolação aos ruídos aéreos (lei das massas), ocorrendo o inverso am relação aos ruídos por impacto. O desempenho acústico será muito influenciado por frestas ou descontinuidades nas juntas de assentamento, eventual reverberação nos furos dos blocos e presença de revestimento.

FISCHER (1976) apud THOMAZ e HELENE (2000), explica que, pela lei das massas e das freqüências, ocorre, aproximadamente:

- para determinada frequência, duplicando-se a massa da parede aumenta-se em 4 dBA sua isolação; situação inversa é verificada ao dividir-se esta massa pela metade;
- para determinada massa, a duplicação da frequência redunda em aumento de 4 dBA na isolação acústica; situação inversa é verificada ao dividir-se a frequência pela metade.

A equação (27), e a lei de massas e frequências, não se aplicam a paredes com vazios internos, onde a presença de câmaras de ar pode alterar substancialmente a isolação acústica desses elementos.

MEDEIROS (1993) explica que para estimar a capacidade de resistência ao fogo de paredes de blocos de concreto é necessário calcular a largura equivalente do bloco empregado. Este parâmetro pode ser definido como sendo a largura sólida que seria obtida se a mesma quantidade de concreto contido em um bloco vazado fosse rearranjada para obtenção de um bloco sólido. De acordo com ASTM C 140 (2002), este cálculo pode ser feito simplesmente multiplicando o percentual que representa o volume ou a área do bloco sem considerar os vazados (volume ou área líquida) pela largura real do bloco (largura nominal subtraída da espessura da junta vertical de argamassa).

Para paredes constituídas por blocos vazados de cerâmica e de concreto, o IPT (1985), obteve os valores experimentais indicados na Tabela 3.11, que também reúne valores da resistência térmica obtidos para as paredes ensaiadas.

Em função das características físicas dos materiais (condutibilidade térmica, dilatação térmica, porosidade e capilaridade) e das características de construção das paredes (peso próprio, tipo de argamassa, compacidade das juntas de assentamento, forma de ligação com a estrutura) as alvenarias apresentam diferentes desempenhos sob a ação do fogo.

Alguns valores obtidos em ensaios realizados no IPT (1985), são apresentados na Tabela 3.12.

TABELA 3.11 - CARACTERÍSTICAS TERMOACÚSTICAS DE PAREDES CONSTITUÍDAS POR BLOCOS VAZADOS (IPT, 1995 – ADAPTADO PELO AUTOR)

Tipo de Bloco	**Largura do Bloco (cm)**	**Caracterísiticas da Parede**			
		Largura (cm)	**Massa (kg/m²)**	**Resist. Térmica (m²°C/w)**	**Isol. Acústico (dBA)**
Cerâmico Não-Estrutural	9	9	90	-	-
		12	130	0,22	42
	14	17	180	0,30	-
Concreto Não-Estrutural	9	9	130	-	-
		12	170	0,11	42
	14	17	215	-	46
Cerâmico Estrutural	14	14	120	0,31	36
		17	160	-	40
Concreto Estrutural	14	14	175	0,16	44
		17	215	-	-

TABELA 3.12 - CARACTERÍSTICAS DE RESISTÊNCIA AO FOGO DE PAREDES CONSTITUÍDAS POR BLOCOS VAZADOS (IPT, 1995).

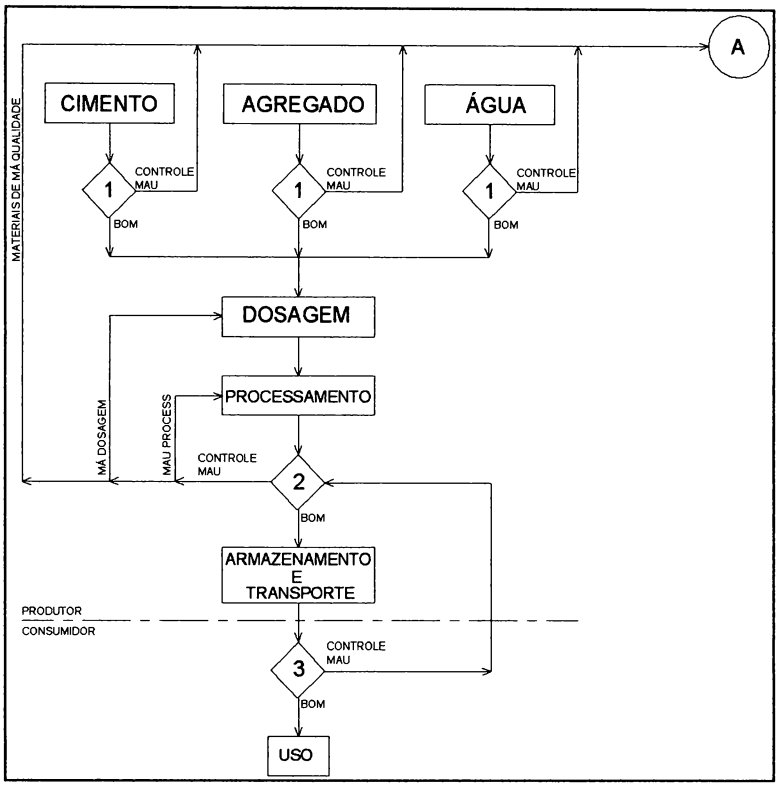
Tipo de Bloco	Largura do Bloco (cm)	Caracterísiticas da Parede			
		Largura (cm)	Massa (kg/m²)	Resistência ao Fogo (min)	
				Isol. Térmico	Resist. Mecânica
Cerâmico Não-Estrutural	9	9	90	80	90
		12	130	105	155
	14	17	180	-	-
Concreto Não-Estrutural	9	9	130	22	22
		12	170	125	180
	14	17	215	-	-
Cerâmico Estrutural	14	14	120	100	122
		17	160	175	192
Concreto Estrutural	14	14	175	80	240
		17	215	155	240

THOMAZ e HELENE (2000) ressaltam a importância das argamassas de revestimento das paredes, tanto do ponto de vista da melhoria da isolação térmica e acústica quanto do ponto de vista do desempenho sob ação do fogo; neste último aspecto, lembra que as argamassas de revestimento poderão ser produzidas com adições leves, como vermiculita, argila expandida e fibras de amianto. No caso do revestimento com gesso, o material ainda absorverá calor para que se transforme quimicamente de sulfato de cálcio dihidrato para gesso hemidrato e, posteriormente, anidrita.

3.9 CONTROLE DE QUALIDADE

A produção de blocos de concreto para alvenarias estruturais ou de vedação, é um conjunto de operações que podem ser entendidas como uma seqüência de etapas, ilustradas na Figura 3.7.

FIGURA 3.7 - ETAPAS DE PRODUÇÃO E CONSUMO DE BLOCOS DE CONCRETO.
(TANGO, 1984) ADAPTADO PELO AUTOR



Na Figura 3.7, pode-se verificar três etapas de controle, sendo:

- Controle 1 – controle dos materiais constituintes dos blocos de concreto, efetuado pelo produtor;
- Controle 2 – controle da produção dos blocos, efetuado pelo produtor; e,
- Controle 3 – controle de aceitação dos blocos de concreto, pelo consumidor.

A letra A, representa a devolução aos produtores das matérias-primas, em decorrência da má qualidade dos materiais ou mudança dos critérios de utilização.

O emprego dos blocos de concreto tem sido encarado como alternativa de baixo custo e baixo consumo de energia como material de construção, porém, em determinados segmentos, sem a mínima preocupação com a qualidade (TANGO, 1984).

Desta forma estão sendo criados certos preconceitos por parte do consumidor sobre a qualidade dos blocos de vedação como, por exemplo, associação a problemas relacionados à quebra de elementos ou umidade em paredes de blocos (TANGO, 1984).

No caso de blocos estruturais, esta preocupação com a qualidade deve ser ainda maior.

A Figura 3.7, revela que um dos objetivos do controle de qualidade é evitar o uso de blocos de qualidade inaceitável. Entretanto, o controle de qualidade também está relacionado com o custo aceitável, isto é, se há um requisito mínimo do ponto de vista técnico, haverá um requisito máximo do ponto de vista econômico, uma vez que custo e desempenho, geralmente, apresentam relação crescente (TANGO, 1984).

Portanto, se o parâmetro de qualidade é a resistência à compressão dos blocos, que é tanto maior quanto maior o consumo de cimento dentro de limites usuais, há necessidade de se atender a uma resistência mínima para garantia das propriedades mecânicas dos blocos, e a uma resistência máxima, que corresponde a um consumo de cimento máximo, para manutenção da viabilidade econômica da produção (TANGO, 1984).

O controle de qualidade pode ser dividido em dois tipos distintos: o controle de produção e o controle de aceitação.

3.9.1 Controle de Produção

O controle de produção é realizado pelo produtor e visa manter o processo de produção de modo que um determinado parâmetro de controle, devidamente aferido seja mantido dentro de limites aceitáveis.

De acordo com TANGO (1984), o parâmetro de controle tem de ser uma propriedade do produto passível de rápida verificação, para que o processo possa

ser alterado rapidamente quando os limites forem atingidos de modo a normalizar-se a produção num curto espaço de tempo.

3.9.2 Controle de Aceitação

O controle de aceitação é realizado pelo consumidor e visa à garantia da observância, pelo produto, das especificações contidas em normas técnicas do tipo especificação ou podem ser objeto de um entendimento preliminar com o produtor.

3.10 EXECUÇÃO DO CONTROLE DE PRODUÇÃO DE BLOCOS

A propriedade de maior interesse e de relativa facilidade de medida, de um bloco de concreto, é a resistência à compressão após um período razoável de cura. Este período, quando se emprega cimento Portland comum, é da ordem de 28 dias, incompatível com um controle de produção. Desta forma, é necessário fazer-se o controle por meio de outras propriedades relacionadas à resistência à compressão, preferencialmente, propriedades no estado fresco ou a idades mais baixas.

Conforme TANGO (1984), os parâmetros que influem na qualidade dos blocos, do ponto de vista restrito da produção, podem ser os processos de:

a- proporcionamento dos materiais;

b- mistura dos materiais;

c- moldagem, incluindo carregamento, prensagem, vibração e desmoldagem;

d- transporte dos blocos frescos;

e- cura, e;

f- transporte e armazenamento dos blocos curados.

3.10.1 Proporcionamento dos Materiais

Trata-se da maneira de se efetuar a medida da quantidade de cada material que compõe o traço, já previamente estabelecido pela dosagem do concreto dos blocos. O proporcionamento pode ser em massa ou em volume. A principal característica da produção influenciada pelo proporcionamento é a variabilidade da qualidade do concreto; quanto mais constante o proporcionamento, menores variações podem ser esperadas na qualidade final do produto (TANGO, 1984).

De acordo com TANGO (1984), a principal fonte de variabilidade no ato do proporcionamento é a variação da umidade dos agregados.

Isto se deve à influência da umidade na compacidade e na resistência à compressão, além do efeito de inchamento, devido à umidade, ser causa de grande variação no traço quando proporcionado em volume sem as devidas correções.

TANGO (1984) indica, também, outras fontes de variabilidade no proporcionamento, que podem ser apontadas, como os erros grosseiros de pesagem ou contagem de volumes, como por exemplo, variações da quantidade de cimento contida em um saco fechado, geralmente usado como unidade de medida.

Consegue-se empregar a mínima quantidade de cimento para uma certa resistência à compressão característica na medida em que o proporcionamento se torne o mais uniforme possível.

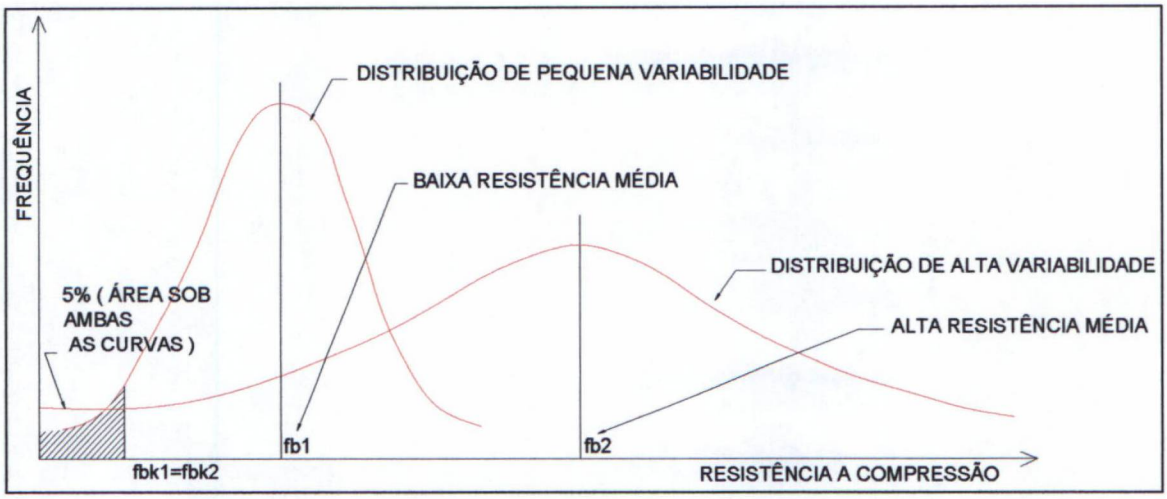
10.2 Mistura dos Materiais

A influência maior da eficiência do processo de homogeneização dos materiais reflete-se, em sua maior parte, na variabilidade da qualidade dos blocos, valendo a interpretação da figura 3.8.

Certos misturadores de grande potência podem alterar a granulometria da mistura por efeito de trituração dos materiais. Pode-se escolher o misturador avaliando-se experimentalmente a variabilidade da mistura resultante e a eficiência

de cada equipamento disponível.

FIGURA 3.8 - INFLUÊNCIA DA VARIABILIDADE NA RESISTÊNCIA MÉDIA REQUERIDA, PARA OBTENÇÃO DE UMA RESISTÊNCIA CARACTERÍSTICA *fbk* (TANGO, 1984) ADAPTADO PELO AUTOR



3.10.3 Moldagem dos Blocos

Os equipamentos para moldagem de blocos de concreto, geralmente, funcionam por meio da compressão e vibração simultânea do material dentro do molde, efetuando-se a desmoldagem imediatamente, aproveitando-se a coesão do material para manutenção da integridade dos blocos frescos.

TANGO (1984) demonstra que as características do equipamento de moldagem têm grande importância na qualidade final dos blocos e em sua homogeneidade, e define os seguintes requisitos diretamente ligados ao desenvolvimento de capacidade resistente do material:

- capacidade de máximo adensamento;e,
- ausência de vibração ou de movimentos parasitas na desforma.

E diretamente ligados à uniformidade da produção, TANGO (1984) cita:

- uniformidade de dimensões (notadamente altura do bloco);
- uniformidade da massa dos blocos frescos; e,

- uniformidade da energia de compressão na moldagem, bem como no tempo de vibração (em alguns equipamentos é notória a influência do operador da máquina sobre estes parâmetros).

3.10.4 Transporte dos Blocos Frescos

Certos equipamentos móveis permitem a deposição dos blocos frescos, diretamente da máquina de moldagem no próprio local da cura, não havendo, então, necessidade de transporte dos blocos frescos. Entretanto, devido à insuficiência de espaço pode ser imperativa a necessidade de se usarem prateleiras de cura ou, nos casos em que o equipamento seja estacionário, requerendo o transporte dos blocos frescos, que é o que acontece mais frequentemente.

No estado fresco, a coesão é a única responsável pela manutenção da integridade dos blocos. Choques e vibrações podem provocar desmoronamento dos blocos, o que geralmente não é problema quando ainda for tempo de se reciclar o material. Pior acontece quando ocorrem fissuras às vezes imperceptíveis que diminuem a resistência final dos blocos, sem serem detectadas no controle de produção. Estas fissuras podem ser as responsáveis por aumento na variabilidade, o que, como visto com auxílio da Figura 3.8, resulta em aumento no consumo de cimento necessário para garantia da resistência mínima característica f_{bk} (TANGO, 1984).

3.10.5 Procedimentos de Cura Empregados

O termo cura do concreto trata dos procedimentos destinados a promover a hidratação do cimento, consistindo do controle do tempo, da temperatura e condições de umidade (MEHTA, 1994).

Tempo e umidade são, portanto, fatores importantes nos processos de hidratação controlados pela difusão da água. Além do mais, como em todas reações

químicas, a temperatura tem um efeito acelerador sobre as reações de hidratação (MEHTA, 1994).

A aceleração da cura permite um tempo menor de permanência dos blocos na fábrica, à custa de um dispêndio adicional de energia. Isso pode ser vantajoso em certos casos (TANGO, 1984).

Quando a cura é efetuada nas condições ambientes, é importante garantir, durante um período inicial, que varia de acordo com o tipo de cimento empregado, que os blocos permaneçam umedecidos, evitando-se a evaporação, principalmente, devido ao sol e ao vento.

Ao se efetuar a cura acelerada, uma série de cuidados devem ser tomados para se garantir a uniformidade da produção e se evitarem efeitos colaterais indesejáveis.

Constituem parâmetros importantes, segundo TANGO (1984):

- o tempo de pré-cura ou espera para inicio da cura, destinado a evitar tensões térmicas nos blocos ainda muito pouco resistentes;
- a velocidade de elevação e abaixamento da temperatura ambiente, para se evitarem trincas devidas a gradientes térmicos excessivos; essa velocidade dependerá da geometria dos blocos e das propriedades térmicas do concreto;
- a temperatura máxima atingida e o tempo de permanência, uma vez que podem ser, excessivamente, reduzidas as resistências a idades elevadas quando estes são excessivos; e,
- a distribuição da umidade e da temperatura nas câmaras de cura, uma vez que sua uniformidade implica a variabilidade da resistência, com as consequências já vistas.

3.10.6 Transporte e Armazenamento dos Blocos Curados

Certas precauções podem minimizar as quebras de blocos, dentre elas TANGO (1984), cita:

- uso de sistemas de transporte devidamente projetados (ex.: "pallets" transportados com auxílio de empilhadeiras ou carrinhos operados manualmente);
- armazenamento em pilhas de altura compatível, com bases adequadas, evitando-se concentração de tensões devidas a detritos sob ou entre os blocos, prevendo-se a disposição das pilhas de modo a haver amarração entre os mesmos; e,
- racionalização da disposição cronológica das pilhas de modo a haver uma efetiva permanência mínima dos blocos na fábrica antes da distribuição.

Geralmente, os tempos mínimos recomendados são 24 horas para blocos com cura acelerada, e 7 dias para blocos com cura normal, sendo que neste último método, os blocos devem ficar no estoque por pelo menos 14 dias, computando-se o tempo desde o instante da moldagem, esse requisito também está ligado à prevenção da retração dos blocos após assentados (MEDEIROS, 1993).

3.10.7 Ensaios à Compressão

A NBR 7184/91 estabelece a forma de se efetuar o ensaio à compressão de blocos de concreto.

3.10.7.1 Capeamento dos blocos

Qualquer ensaio à compressão deve ser efetuado com distribuição uniforme do esforço sobre o corpo-de-prova.

TANGO (1984), enumera como fontes de variabilidade no resultado do ensaio, fatores como:

a- colocação de um material macio entre o corpo-de-prova e os pratos de prensa, (papelão, isopor): além de nem sempre conseguir a distribuição uniforme de tensões, podem ser introduzidas tensões de tração nos topos dos corpos-de-prova, devido à deformação transversal do material de contato e o atrito com o topo do corpo-de-prova, geralmente os resultados ficam abaixo dos obtidos com capeamento normalizado;

b- uso de uma argamassa ou pasta de cimento ou gesso, muito fraca, para capeamento: quando o capeamento é feito às vésperas do ensaio ou quando a argamassa é mal dosada, a película de capeamento resulta muito deformável, com efeito semelhante ao descrito acima, podendo introduzir tensões de tração nos topos durante o ensaio e acarretar diminuição do resultado. Por outro lado, a pasta ou argamassa pode sofrer retrações diferenciais, resultando em variação na planeza do topo; e,

c- uso de pasta de enxofre reaproveitada: quando se faz o capeamento com pasta "de enxofre fundida a quente, esta pode ser reaproveitada somente quando não contiver restos do concreto ou agregados.

Estes detritos, quando presentes no capeamento de enxofre, causam concentrações de tensões que também tendem a abaixar o resultado do ensaio.

3.10.7.2 Máquinas de ensaio

Utilizam-se, normalmente, máquinas destinadas à compressão de cilindros de concreto de 150 mm de diâmetro, para ensaiar blocos de concreto. Para tanto, deve-se evitar adaptações nos pratos da prensa. Estas adaptações, quando mal feitas, introduzem concentrações de tensões que sempre reduzem o resultado do ensaio (TANGO, 1984).

Outros aspectos importantes a ressaltar são: a efetividade da articulação da máquina (dispositivo que permite aos pratos o ajuste a pequenos desvios de paralelismo entre os topos), diâmetro da rótula, bem como a planeza da superfície do prato da máquina (TANGO,1984)

3.10.7.3 Velocidade do ensaio

Conforme a NBR 7184/91, o ensaio de determinação da resistência à compressão de blocos de concreto deve ocorrer de forma que a tensão aplicada, calculada em relação à área bruta, se eleve progressivamente à razão de (0,05 ± 0,01) MPa/s [(5 ± 1) N/cm²/s].

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

No decorrer deste capítulo, serão apresentadas as várias etapas do programa experimental desenvolvido nesta pesquisa, justificando sua execução.

4.1 ESTRUTURA DA PESQUISA

O programa experimental tem como objetivo determinar os parâmetros de mistura dos materiais componentes do concreto, que interferem nas propriedades do concreto a ser utilizado na produção de blocos pré-fabricados de concreto e, testar diversos teores de adição do resíduo de poliuretano reciclado, sob a forma de pó e grânulos de pequena dimensão, de forma a permitir a avaliação da presença de tal adição nas características do concreto simples e dos blocos pré-fabricados produzidos com o concreto aditivado.

Em função das características da pesquisa, o programa experimental foi dividido em sete etapas distintas, que são:

1ª Etapa – Definição das variáveis de estudo.

2ª Etapa - Definição e caracterização dos materiais.

3ª Etapa - Análise das variáveis de produção que influenciam o desempenho dos blocos de concreto pré-fabricados;

4ª Etapa - Desenvolvimento de um sistema alternativo de moldagem, que permita a moldagem de corpos cilíndricos de concreto com Ø = 100 mm, com as mesmas características do concreto produzido na máquina produtora de blocos (vibro-prensa);

5ª Etapa - Análise das características físicas e sua influência no desempenho do concreto com adição da espuma rígida de poliuretano expandido reciclada, em corpos-de-prova cilíndricos de Ø = 100 mm, visando a determinação dos teores de adição tecnicamente viáveis;

6ª Etapa - Análise das características físicas, mecânicas, ambientais e de segurança frente a ação do fogo, de blocos de concreto, produzidos com o concreto com adição da espuma rígida de poliuretano reciclado;

7ª Etapa – Análise da viabilidade econômica da utilização da espuma rígida de poliuretano reciclado, como adição ao concreto.

4.2 DEFINIÇÃO DAS VARIÁVEIS DE ESTUDO

No presente trabalho, procurou-se investigar a possibilidade do uso da espuma rígida de poliuretano, utilizada inicialmente como elemento isolante térmico de geladeiras e "freezers", resultante dos processos de fragmentação para captação do gás CFC, feito pelos métodos já analisados no Capítulo 2, como adição ao concreto de cimento Portland utilizado para a produção de blocos de concreto pré-fabricados.

Portanto, partiu-se do estudo dos materiais constituintes do concreto e da adição investigada no estudo.

As seguintes características do concreto e materiais componentes, foram consideradas como variáveis independentes, neste estudo:

- granulometria do agregado total;
- proporção aglomerante/agregado;
- consistência de moldagem;
- teor de adição; e,
- tempo de moldagem por vibro-compressão.

As variáveis dependentes, por sua vez, são as características apresentadas pelo concreto e pelos blocos, após sua produção, e que são:

- massa específica;
- absorção de água;

- índice de vazios;
- resistência à compressão;
- resistência à tração; e,
- retração por secagem.

4.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Inicialmente, efetuou-se a caracterização dos materiais, sendo todos os ensaios, com exceção dos relativos ao aglomerante, realizados pelo autor, nas dependências do Laboratório de Materiais de Construção do CEFET/PR.

De maneira a reduzir as variações típicas do processo de produção de blocos de concreto, e possibilitar uma análise mais criteriosa da influência que a adição da espuma rígida de poliuretano reciclado, possa inferir no concreto utilizado para a produção de blocos, grande parte do estudo foi desenvolvido, pela utilização de corpos-de-prova cilíndricos de concreto, com diâmetro de 100 mm.

Para possibilitar uma correlação com o concreto produzido na vibro-prensa, partiu-se de um estudo piloto, por meio das moldagens de séries de blocos, utilizando três traços com diferentes consumos de cimento e duas composições diferentes para o agregado total: uma utilizando o menor índice de vazios possível e outra com o módulo de finura ideal, conforme verificado na revisão bibliográfica sobre o tema (Capítulo 3).

Na análise dos resultados de resistência à compressão, das séries de blocos produzidos neste estudo piloto, adotaram-se os traços de referência, com os quais foi realizado todo o restante da pesquisa.

Para adoção dos resultados obtidos nos ensaios utilizando corpos-de-prova cilíndricos de concreto, havia a necessidade de se trabalhar com um concreto com as mesmas características daquele produzido pela máquina produtora dos blocos do estudo piloto. Assim sendo, foi desenvolvido um sistema alternativo de

moldagem, pela utilização de uma mesa vibratória e um conjunto de contrapesos.

Esta metodologia, baseada nos experimentos de SOUSA (2001), e apresentada no Apêndice 1, seguiu os seguintes etapas:

a- aferição do sistema, mediante a pesquisa da consistência do concreto, através da determinação do tempo de moldagem (tempo Vebe) que resultasse num concreto com igual massa específica do concreto produzido na confecção dos blocos do estudo piloto; e,

b- investigação e análise da influência da umidade de moldagem sobre o características físicas e mecânicas do concreto, através da análise dos resultados dos ensaios efetuados com corpos-de-prova cilíndricos.

Após a aferição do sistema alternativo de moldagem, e da determinação da consistência de moldagem, caracterizada pela umidade e tempo de vibração, efetuaram-se as séries de moldagens de corpos-de-prova cilíndricos, com concreto com adição da espuma de poliuretano reciclada com fins de permitir a análise da influência da adição sobre as características do concreto e a determinação dos teores de adição tecnicamente viáveis.

Findo o estudo com os corpos-de-prova cilíndricos, procederam-se as moldagens das séries de blocos de concreto, utilizando uma vibro-prensa, com as características de moldagem determinados no estudo com os corpos-de-prova cilíndricos.

Os blocos, assim produzidos, foram então ensaiados, para a determinação das características geométricas, físicas, mecânicas, ambientais e de segurança frente ao fogo, de acordo com a normalização pertinente.

4.4 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS CONPONENTES DO CONCRETO

Os materiais utilizados foram caracterizados com ensaios padronizados pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, ou, na falta destas, por normalização estrangeira, e se encontram elencados ao longo deste item, subdividido pelo tipo do material.

4.4.1 Aglomerante

Como aglomerante, em toda a pesquisa, foi utilizado o Cimento Portland, tipo CPV-ARI-RS, (Alta Resistência Inicial – Resistente a Sulfatos) marca ITAMBÉ, por ser o tipo de cimento mais utilizado para a produção de artefatos de concreto na região, conforme verificado mediante pesquisa de campo.

Nas Tabelas 4.1, 4.2 e 4.3, se apresentam a composição do cimento utilizado, bem como os resultados dos ensaios de caracterização química, sendo tais dados fornecidos pelo fabricante.

TABELA 4.1 - COMPOSIÇÃO DO CIMENTO CPV-ARI-RS

Clinquer + $CaSO_4$	Adições Ativas		
	Pozolana	Escória	Material Carbonático
75% a 85%	-	-	0% a 5%

TABELA 4.2 - CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO CIMENTO CPV–ARI-RS

Característica	Norma	Resultado
Oxido de Alumínio (Al_2O_3) (%)	NBR 5742/ 77	6,5
Dióxido de Silício (SiO_2) (%)	NBR 5742/ 77	21,25
Oxido de Ferro (Fe_2O_3) (%)	NBR 5742/ 77	3,11
Óxido de Cálcio (CaO) (%)	NBR 5742/ 77	52,49
Óxido de Magnésio (MgO) (%)	NBR 5742/ 77	5,66
Trióxido de Enxofre (SO_3) (%)	NBR 5745/ 89	3,14
Perda ao Fogo (%)	NBR 5743/ 89	3,82
Óxido de Cálcio Livre (CaO) (%)	NBR 5748/ 77	1,52
Resíduo Insolúvel (%)	NBR 5744/ 89	11,55
Álcalis Totais (%)	NBR 5747/ 89	0,73

TABELA 4.3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CIMENTO CPV-ARI-RS

Característica	Norma	Resultado
Finura por Peneiramento P.200 (%)	NBR 11579/ 91	0,20
Finura por Peneiramento P.325 (%)	NBR 9202/ 85	1,40
Superfície Específica (Blaine) (cm^2/g)	NBR 7224/ 84	4.588,00
Expansibilidade a Quente (mm)	NBR 11582/ 91	0,50
Tempo de Início de Pega (min)	NBR 11581/ 91	140,00
Tempo de Final de Pega (min)	NBR 11581/ 91	200,00
Massa Específica (g/cm^3)	NBR NM 23/ 01	3,00

As características mecânicas do cimento utilizado, mais precisamente, no que concerne a resistência à compressão, foram obtidas conforme a NBR 7.215 (1991), para uma argamassa padrão com relação água/cimento de 0,48 %.

Os valores médios obtidos, informados pelo fabricante do material, consta da Tabela 4.4.

TABELA 4.4 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CIMENTO CPV-ARI-RS

Idade (dias)	Resistência Mínima (MPa) NBR 5737/91	Resistência Verificada (MPa)
1	11,00	21,80
3	24,00	34,60
7	34,00	40,70
28		49,60

4.4.2 Agregados

Conforme classificação de BAUER (1994), neste estudo os agregados foram divididos em agregados miúdos e agregados graúdos, sendo caracterizados e qualificados pelas normas técnicas pertinentes.

4.4.2.1 Agregado Miúdo

O agregado miúdo utilizado classifica-se como Areia Média, e suas características físicas são apresentadas na Tabela 4.5.

TABELA 4.5 - AGREGADO MIÚDO – CARACTERIZAÇÃO

Características	Norma	Resultado
Massa Específica (kg/dm³)	NBR 9776/ 87	2,63
Massa Unitária (kg/dm³)	NBR 7810/ 83	1,62
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR 7217/ 87	2,40
Módulo de Finura	NBR 7217/ 87	2,36
Teror de Material Pulverulento (%)	NBR 7219/ 87	2,70
Agregado Miúdo (%)	NBR 7217/ 87	96,60
Agregado Graúdo (%)	NBR 7217/ 87	0,70
Teor de Argila em Torrões (%)	NBR 7218/ 82	0,00
Teor de Matéria Orgânica (ppm)	NBR 7220/ 87	< 100,00
Absorção de Água (%)	NBR 9777/ 87	1,47
Coeficiente de Inchammeto Médio	NBR 6467/ 87	1,39
Teor de Umidade Crítica (%)	NBR 6467/ 87	5,00
Classificação	NBR 7211/ 83	Areia Média Zona - 3 ABNT

4.4.2.2 Agregado Graúdo

O agregado graúdo, de acordo com a caracterização apresentada na Tabela 4.6, se apresenta como Brita 0, contaminado com agregado miúdo, material comumente utilizado para a produção de artefatos de concreto na região de Curitiba, conforme verificado mediante pesquisa de campo.

TABELA 4.6 - AGREGADO GRAÚDO – CARACTERIZAÇÃO

Características	Norma	Resultado
Massa Específica (kg/dm³)	NBR 9776/ 87	2,70
Massa Unitária (kg/dm³)	NBR 7810/ 83	1,40
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR 7217/ 87	9,50
Módulo de Finura	NBR 7217/ 87	5,78
Teror de Material Pulverulento (%)	NBR 7219/ 87	0,98
Agregado Miúdo (%)	NBR 7217/ 87	16,12
Agregado Graúdo (%)	NBR 7217/ 87	82,90
Teor de Argila em Torrões (%)	NBR 7218/ 82	0,00
Absorção de Água (%)	NBR 9777/ 87	0,80
Classificação	NBR 7211/ 83	Brita 0 + Ag. Miúdo

4.4.3 Adição de Espuma Rígida de Poliuretano Expandido Reciclado

A adição de poliuretano utilizada neste estudo é proveniente da empresa Boing Metais Ltda, situada à Rodovia BR 116, 24.883, cidade de Curitiba (PR), e

que efetua a reciclagem de geladeiras e "freezers" da empresa Electrolux do Brasil Ltda.

O poliuretano reciclado, apresentado na figura 4.1, é o resíduo do processo de reciclagem das geladeiras e "freezers", e apresenta nesta fase, as características constantes da tabela 4.7.

FIGURA 4.1 - ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO RECICLADO



TABELA 4.7 – ESPUMA DE POLIURETANO RECICLADO – CARACTERÍSTICAS

Características	Norma	Resultado
Massa Específica (kg/m³)	NBR 11506/ 91	34,77
Massa Unitária (kg/m³)	NBR 7810/ 83	22,74
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR 7217/ 87	4,80
Absorção de Água por Área Superficial (%)	NBR 6578/ 81	2,10
Absorção de Água por Acréscimo de Massa (%)	NBR 6578/ 81	120,81
Variação Volumétrica por Absorção (%)	NBR 9777/ 87	0,00
Resistência à Compressão (kgf/cm²)	NBR 8082/ 83	1,95
Condutividade Térmica (mw/mk)	DIN 52612	18,0 a 22,0
Teor de Células Fechadas (%)	DIN 53420	99,50
Característica de Inflamabilidade	NBR 7358/ 89	Retardante a Chama Classe R3
Agente de Expansão (Atualmente utilizado)		Ciclopentano

4.4.4 Água de Amassamento

Foi utilizada água potável, da rede de abastecimento da Companhia de Saneamento do Paraná - Sanepar.

4.5 ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO QUE INFLUENCIAM O DESEMPENHO DOS BLOCOS DE CONCRETO PRÉ-FABRICADOS

4.5.1 Proporcionamento do Agregado Total

Conforme a revisão bibliográfica, existem duas tendências para o proporcionamento do agregado total, para a produção de blocos de concreto, que são:

a- composição pela determinação da maior massa unitária compactada, o que traduz o menor índice de vazios possível para a mistura (RODRIGUES, 1984; ABREU, 1996); e,

b- composição de acordo com curvas granulométricas pré-definidas, traduzindo-se em valores específicos para o módulo de finura do agregado total (PFEIFFENBERGER, 1985; MEDEIROS, 1993).

4.5.1.1 - Composição pela maior massa unitária compactada

Quanto menor for o índice de vazios de um agregado, ou de uma mistura destes, melhor é o arranjo entre seus grãos, menor será a quantidade de finos necessária para o seu envolvimento e conseqüentemente menor será o consumo de cimento necessário.

De forma a se pesquisar o menor índice de vazios dos agregados que formam o agregado total, determinou-se as massas unitárias compactadas, para misturas com diversas proporções de agregado miúdo e graúdo.

Conforme resultados do ensaio, apresentados no Apêndice 2, conclui-se por um proporcionamento ideal correspondente à:

- 50% agregado miúdo
- 50% agregado graúdo

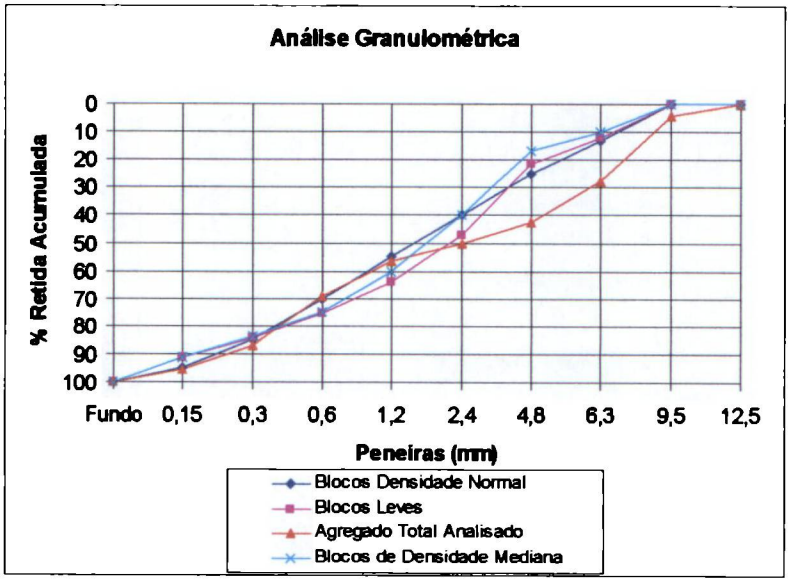
TABELA 4.8 - CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO TOTAL COM PROPORCIONAMENTO DE 50% DE AGREGADO MIÚDO E 50% DE AGREGADO GRAÚDO

Características	Norma	Resultado
Massa Específica (kg/dm³)	NBR 9776/ 87	2,65
Massa Unitária (kg/dm³)	NBR 7810/ 83	1,52
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR 7217/ 87	9,50
Módulo de Finura	NBR 7217/ 87	4,01
Teror de Material Pulverulento (%)	NBR 7219/ 87	1,50
Agregado Miúdo (%)	NBR 7217/ 87	56,00
Agregado Graúdo (%)	NBR 7217/ 87	42,50
Teor de Argila em Torrões (%)	NBR 7218/ 82	0,00
Classificação	NBR 7211/ 83	Brita 0 + Agr. Miúdo

4.5.1.2 Composição pelo módulo de finura pré-estabelecido

Determinadas características desta mistura de agregados, apresentadas na Tabela 4.8, verificou-se que esta composição apresenta um módulo de finura MF=4,01 e uma distribuição granulométrica fora das indicadas como ideais por MEDEIROS (1993), como pode ser verificado na Figura 4.2.

FIGURA 4.2 - COMPARAÇÃO DAS GRANULOMETRIAS IDEAIS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO (MEDEIROS, 1993) E GRANULOMETRIAS DO AGREGADO TOTAL ENSAIADO (MF=4,01)



Optou-se, então por proceder com um novo arranjo entre os agregados, utilizando as expressões apresentadas por MEDEIROS (1993).

Fixando o módulo de finura, requerido para mistura de agregados em 3,70 (proposta como ideal para produção de blocos de massa específica normal), e com os valores dos módulos de finura dos agregados ensaiados, constantes nos quadros de caracterização dos agregados, obteve-se um agregado ideal, com o seguinte proporcionamento:

- agregado graúdo = 40%
- agregado miúdo = 60%

Com o agregado, assim proporcionado, teve início a determinação de suas características, apresentadas na Tabela 4.9.

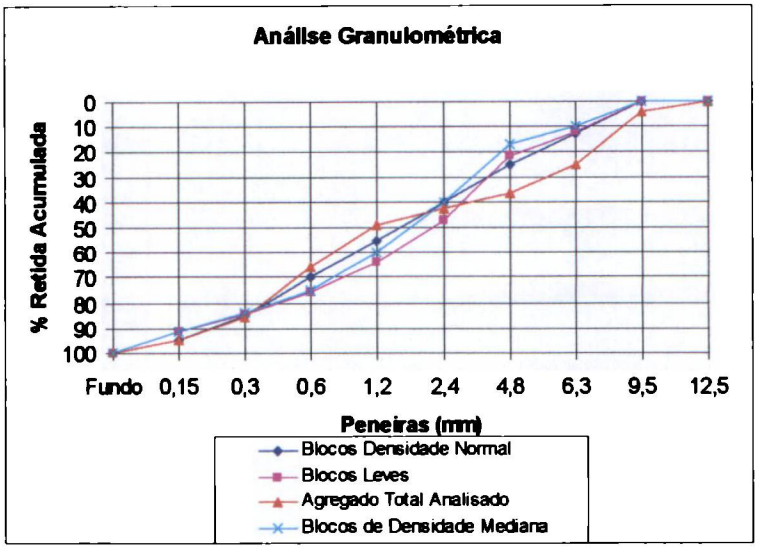
Pode-se notar, que apesar do módulo de finura do agregado total, igual a 3,74, ficar situado muito próximo do módulo de finura ideal, a distribuição granulométrica, também não coincidiu com as curvas ideais, como pode ser verificado no gráfico da Figura 4.3, apesar de se situar mais próxima que a do proporcionamento anterior (com menor índice de vazios).

Resolveu-se, então, adotar as duas composições para a produção piloto de blocos de concreto, investigando a influência da granulometria nas características físicas e mecânicas do material.

TABELA 4.9 - CARACTERÍSTICAS DO AGREGADO TOTAL COM PROPORCIONAMENTO DE 60% DE AGREGADO MIÚDO E 40% DE AGREGADO GRAÚDO (MF = 3,74).

Características	Norma	Resultado
Massa Específica (kg/dm³)	NBR 9776/ 87	2,66
Massa Unitária (kg/dm³)	NBR 7810/ 83	1,69
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR 7217/ 87	9,50
Módulo de Finura	NBR 7217/ 87	3,74
Teror de Material Pulverulento (%)	NBR 7219/ 87	1,60
Agregado Miúdo (%)	NBR 7217/ 87	62,00
Agregado Graúdo (%)	NBR 7217/ 87	36,40
Teor de Argila em Torrões (%)	NBR 7218/ 82	0,00
Classificação	NBR 7211/ 83	Brita 0 + Agr. Miúdo

FIGURA 4.3 - COMPARAÇÃO DAS GRANULOMETRIAS IDEAIS PARA PRODUÇÃO DE BLOCOS DE CONCRETO (MEDEIROS, 1993) E GRANULOMETRIA DO AGREGADO TOTAL ENSAIADO (MF=3,74)



4.5.5 Escolha da Relação Agregado/Cimento (*m*)

Essa relação depende, principalmente, do equipamento de moldagem disponível, sendo baixa quando a energia de adensamento (vibração associada a compactação) for pequena, indicando alto consumo de cimento. Ao contrário, quando se dispõe de equipamento capaz de fornecer grande energia de adensamento, esta se traduzirá em menor consumo de cimento por unidade produzida, tornando o custo unitário mais baixo.

A maneira mais eficiente de determinar qual a melhor relação agregado/cimento, é fazer testes de produção, com diversos consumos de cimento e ensaiando os elementos produzidos à compressão, determinando a melhor relação em função do desempenho técnico e econômico.

Nesta análise, partiu-se de três traços pré-estabelecidos (traços piloto), em volume, de 1:6, 1:8 e 1:10, de forma a permitir a investigação das resistências obtidas e subsidiar a escolha de um traço padrão, que corresponda às especificações impostas pelas normas brasileiras NBR 6.136 (1994) e NBR 7.173 (1982).

Conforme ABREU (1994), estas relações de volume permitem a produção de blocos de concreto com resistências no intervalo de 6,0 a 9,0 MPa, aos 28 dias de idade, utilizando cimentos comuns.

O consumo inicial de cimento *"C"*, em função da relação *"m"*, e os traços experimentais para as diversas composições analisadas, calculados com base nos índices físicos do cimento e dos agregados utilizados, são apresentados no Apêndice 3, e apresentados de maneira resumida nas Tabelas 4.10 e 4.11.

TABELA 4.10 - TRAÇOS EM MASSA, PARA COMPOSIÇÃO DO AGREGADO TOTAL COM 50% DE AGREGADO MIÚDO E 50% DE AGREGADO GRAÚDO (VALORES ARREDONDADOS)

Traço em Volume	**1:6**	**1:8**	**1:10**
Materiais	**Massa (kg)**	**Massa (kg)**	**Massa (kg)**
Cimento	337,0	260,0	212,0
Agregado Total	2.037,0	2.096,0	2.133,3
Areia 50%	1.093,0	1.124,0	1.144,3
Brita 50%	944,0	972,0	989,0
Água - Umidade			
U = 6,0 %	122,2	125,8	128,0
U = 7,0 %	142,6	146,7	149,3

TABELA 4.11 - TRAÇOS EM MASSA, PARA COMPOSIÇÃO DO AGREGADO TOTAL COM 60% DE AGREGADO MIÚDO E 40% DE AGREGADO GRAÚDO (VALORES ARREDONDADOS)

Traço em Volume	**1:6**	**1:8**	**1:10**
Materiais	**Massa (kg)**	**Massa (kg)**	**Massa (kg)**
Cimento	332,0	256,0	209,0
Agregado Total	2.036,0	2.095,0	2.131,0
Areia 60%	1.292,0	1.329,0	1.352,0
Brita 40%	744,0	766,0	779,0
Água - Umidade			
U = 6,0 %	122,2	125,7	127,9
U = 7,0 %	142,5	146,7	149,2

Os teores de umidade adotados representam os valores médios dos utilizados pelas empresas produtoras de blocos pré-fabricados de concreto, sendo que este teor deve ser ajustado em função do equipamento utilizado e do tempo de moldagem.

Apesar dos traços haverem sido determinados em massa, em função das possibilidades da empresa onde foram moldados os blocos para o estudo piloto, a dosagem teve que ser realizada em volume, utilizando recipientes de volume conhecidos, sendo pesadas, apenas as quantidades de água dos traços.

4.5.6 Número de Corpos-de-Prova e Equipamento utilizado para Produção dos Blocos de Concreto

Para qualificar os traços escolhidos para o estudo piloto, foram analisadas as seguintes características físicas e mecânicas dos blocos de concreto produzidos:

a- massa específica dos blocos no estado fresco e no estado endurecido, conforme NBR 9.778 (1987);

c- índice de vazios do material, conforme NBR 9.778 (1987);

d- absorção de água, por imersão, conforme NBR 12.118 (1991), e;

e- resistência à compressão, segundo a NBR 7.184 (1992).

Para tanto, foram produzidos 60 blocos de concreto, segundo apresentado na Tabela 4.12.

TABELA 4.12 - ESTUDO PILOTO – NÚMERO DE BLOCOS DE CONCRETO E ENSAIOS PROGRAMADOS

Traço em Volume	**1:6**	**1:6**	**1:8**	**1:8**	**1:10**	**1:10**
Proporcionamento do Agregado Total	**50%/50%**	**60%/40%**	**50%/50%**	**60%/40%**	**50%/50%**	**60%/40%**
Determinações	**Número de Corpos de Prova**					
Massa Específica Estado Fresco	2	2	2	2	2	2
Massa Específica no Estado Endurecido	2	2	2	2	2	2
Índice de Vazios						
Absorção por Imersão						
Resistência à Compressão (3, 7 e 28 dias)	6	6	6	6	6	6
Total	**10**	**10**	**10**	**10**	**10**	**10**

Para a produção dos blocos de concreto, neste estudo, utilizou-se uma vibro-prensa (Figura 4.4) com as seguintes características:

Marca: Trillor – Montana;

Modelo: MBX 200;

Tipo de vibração: Unidirecional vertical;

Deslocamento dos compactadores: 25,0 mm.

Os blocos de concreto foram produzidos na empresa Bricka Sistemas Construtivos Ltda, localizada à Rua Salgado Filho, 395, Município de Pinhais, PR.

FIGURA 4.4 – EQUIPAMENTO UTILIZADO PARA PRODUÇÃO DOS BLOCOS



4.6 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS DE REFERÊNCIA

Após os ajustes necessários quanto ao teor de umidade da mistura e tempo vibro-compactação, foram produzidas três séries de 9 corpos-de-prova, para cada traço e para cada proporcionamento do agregado total.

A partir dessa amostragem, passou-se a determinar, no momento da moldagem, a massa específica dos blocos no estado fresco e em laboratório a massa específica do concreto no estado endurecido, bem como a resistência à compressão aos 3, 7 e 28 dias de idade.

A cura dos blocos se deu ao ar (Figura 4.5), em ambiente abrigado e recebendo molhagens diariamente, seguindo as mesmas condições dos elementos produzidos na fábrica de pré-moldados.

FIGURA 4.5 - CURA EMPREGADA NA PRODUÇÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO



4.7 DEFINIÇÃO DOS TRAÇOS DE REFERÊNCIA

Em função dos resultados obtidos para a resistência à compressão dos blocos moldados de acordo com os seis traços piloto, adotou-se os traços 1:8 e 1:6, com o agregado total composto com um proporcionamento de 50% de agregado miúdo e 50% de agregado graúdo, como traços de referência para o estudo.

Esta escolha se deve as resistências verificadas para este traço, que possibilitam sua utilização tanto para alvenaria sem função estrutural, quanto para alvenaria estrutural.

A escolha desses traços, evidência que a melhor composição para o agregado total é aquela que proporciona o menor índice de vazios, conforme indicado pela RODRIGUES (1984) e SOUZA (2001), em detrimento da teoria de PFEIFFENBERGER (1985) apud MEDEIROS (1993), que especificam as granulometrias e módulos de finura ideais para a produção de blocos de concreto.

Estes traços servirão de base para todo o restante do estudo, servindo como paradigma em termos de resistência à compressão, massa específica, absorção de água, retração por secagem e caracterização geométrica, em relação aos blocos produzidos com concreto com adição da espuma rígida de poliuretano expandido reciclada.

4.8 DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DE PRODUÇÃO

Os parâmetros de produção de blocos de concreto variam em função do tipo de equipamento utilizado, e são:

a- consistência de moldagem; e,

b- tempo de ciclo de produção (alimentação, vibro-compactação e desmoldagem).

4.8.1 Definição da Consistência e Tempo de Moldagem

Na produção dos blocos utilizando a vibro-prensa, adotaram-se umidades de mistura a partir de 6,0%, ou seja, adicionando quantidades de água para amassamento da mistura, a partir de 6,0% da massa do agregado total de cada traço.

Passou-se a pesquisa da melhor consistência de moldagem, por meio de diversas tentativas de moldagem na vibro-prensa, de acordo com o traço do concreto adotado, o modelo do equipamento utilizado, e variando os teores de umidade de moldagem, partindo de 6,0%, até 9,5%, com variações de 0,5%.

Para o traço adotado como padrão para a continuidade deste estudo, obtiveram-se moldagens satisfatórias a partir de teores de umidade de moldagem de 7,5% a 9,0%.

Da mesma forma, determinaram-se para os traços de referência adotados, os tempos de vibro-compactação médios de 14,93 segundos a 17,20 segundos.

Confirmando o verificado na revisão bibliográfica, os blocos que contam com as maiores compacidades (menores índices de vazios), apresentam, também, as melhores características mecânicas, definindo assim, além da melhor composição granulométrica, o teor ótimo de umidade de moldagem.

4.9 DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM PARA CORPOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO

Para possibilitar a produção em laboratório, de corpos-de-prova cilíndricos, com um concreto com as mesmas características daquele produzido na máquina produtora de blocos, desenvolveu-se um sistema alternativo de moldagem, mediante o uso de uma mesa vibratória e contrapesos. Esta etapa do programa experimental encontra-se descrito no Apêndice 1.

4.10 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO EM CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO

Definidas as características de moldagem do concreto utilizando a mesa vibratória e o contrapeso com massa de 10,0 kg, iniciou-se a investigação da influência da adição de poliuretano expandido ao concreto destinado a produção de blocos.

Este estudo também foi realizado nas dependências do laboratório de materiais de construção do CEFET/PR, através da moldagem de séries de corpos-de-prova cilíndricos, com diâmetro de 100 mm, com diversos teores de adição.

Os teores de adição foram determinados com base no consumo de cimento do traço do concreto utilizado, iniciando com 5% de adição, até um teor total de 20%.

Apesar das massas da adição serem de pequenas grandezas, os volumes relativos são de importância relevante, em função da massa específica do poliuretano expandido, após pulverizado, ser de apenas 22,74 kg/m^3.

Portanto, no traço 1:6, com 337,00 kg de cimento por metro cúbico de concreto, 5,0% de adição de poliuretano expandido reciclado, representa uma massa de apenas 16,85 kg, porém um volume do material pulverizado, em estado solto, de 740,98 dm^3 (0,74 m^3), enquanto que no traço 1:8, o consumo de poliuretano

reciclado é de 13,00 kg, o que representa um volume de 0,572 dm^3 (0,57 m^3) de poliuretano reciclado.

Nesta análise, procurou-se investigar a influência da adição de poliuretano expandido reciclado, sobre as seguintes características do concreto:

a- massa específica do concreto fresco, massa específica do concreto no estado endurecido, absorção de água por imersão e índice de vazios, conforme NBR 9.778 (1987).

b- determinação da resistência à compressão, conforme NBR 5.739 (1980); e,

c- resistência à tração por compressão diametral, conforme a NBR 7.222 (1994).

Para análise das influências da adição da espuma de poliuretano reciclado ao concreto, foram produzidas 5 séries de 12 corpos-de-prova cilíndricos (60 corpos-de-prova), para cada traço investigado, conforme memorial apresentado na Tabela 4.13.

TABELA 4.13 - INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO NO CONCRETO – NÚMERO DE CORPOS DE PROVA E ENSAIOS PROGRAMADOS POR TRAÇO PESQUISADO

Determinações	Adição de PU Expandido (% Cimento)				
	5,0%	7,5%	10,0%	15,0%	20,0%
Massa Específica Estado Fresco	2	2	2	2	2
Massa Específica no Estado Endurecido	2	2	2	2	2
Índice de Vazios					
Absorção por Imersão					
Resistência à Compressão (3, 7 e 28 dias)	6	6	6	6	6
Resistência à Tração por Comp. Diametral (7 dias)	2	2	2	2	2
Total	**12**	**12**	**12**	**12**	**12**

4.10.1 Determinação dos Teores de Adição de Poliuretano Expandido Reciclado mais Viáveis

Após a análise dos resultados apresentados pelos ensaios efetuados com as adições de poliuretano expandido reciclado ao concreto, utilizando corpos-de-

prova cilíndricos, conforme a metodologia adotada para a produção de concretos com as mesmas características que o produzido pela vibro-prensa, utilizada para a produção dos blocos pré-fabricados do estudo piloto, deve-se concluir pelos teores viáveis tecnicamente.

Estes resultados são apresentados e analisados no Capítulo 5, desta dissertação.

4.11 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS PRODUZIDOS COM O CONCRETO COM ADIÇÃO

Após conclusão dos teores tecnicamente viáveis da adição de poliuretano reciclado e a partir dos dados coletados com o ensaio com corpos-de-prova cilíndricos de concreto, foram produzidas 2 séries de blocos de concreto, de modo a permitir a análise da influência da adição sobre os as características dos artefatos pré-fabricados.

4.11.1 Características Físicas e Mecânicas

A investigação se fundamenta na análise comparativa dos resultados das seguintes características geométricas, físicas e mecânicas dos blocos pré-fabricados:

a- determinação das características geométricas, conforme a NBR 6.136 (1994);

b- determinação da massa específica dos blocos no estado fresco e no estado endurecido, conforme NBR 9.778 (1987);

c- determinação do índice de vazios do material, conforme NBR 9.778 (1987);

d- determinação da absorção de água, por imersão, conforme NBR 12.118(1991);

e- determinação da resistência à compressão, aos 7 dias de idade, segundo a NBR 7.184 (1992); e,

f- retração por secagem, conforme a NBR 12.117 (1991).

Optou-se pela avaliação destas características, por influenciarem diretamente nas propriedades finais dos blocos de concreto.

4.11.2 Análise Ambiental

Conforme VILAR (2002), as espumas rígidas de poliuretano, após produzidas, não oferecerem riscos de contaminação, a não ser por exposição a grandes quantidades de pó deste material, optou-se por analisar o potencial risco que esta adição possa apresentar, tanto ao meio ambiente, quanto ao ambiente construído, por possível deslocamento de partículas de poliuretano, durante o uso da edificação.

De maneira a analisar a possibilidade da adição de poliuretano expandido reciclado, se soltar do concreto utilizado para a produção de blocos, por meio de lavagem ou percolação de água, foram efetuados ensaios de lixiviação de resíduos, conforme recomenda a NBR 10.005 (1987) – Lixiviação de resíduos e análise conforme NBR 12.988(1993) – Líquidos livres – Verificação em amostra de resíduos.

Os ensaios foram realizados com corpos dosados com 5,0% de adição de poliuretano expandido reciclado, e os resultados determinados são apresentados e comentados no Capítulo 5, deste trabalho.

4.11.3 Determinação da Resistência ao Fogo

Conforme VILAR (2002), as espumas rígidas de poliuretano são materiais combustíveis. Portanto sua adição ao concreto de cimento Portland utilizado na produção de blocos, pode ter suas características de resistência ao fogo alteradas.

O conceito de resistência ao fogo na área da construção civil, é entendida

como sendo a propriedade de um elemento de construção resistir a ação do fogo por determinado período de tempo, mantendo sua segurança estrutural, estanqueidade e isolamento.

Procurou-se investigar estas características, por meio de ensaio baseado na NBR 10.636 (1989) – Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo.

Este ensaio foi adaptado em função da capacidade de realização no laboratório de materiais de construção do CEFET/PR, e encontra-se abaixo descrito.

Foram preparados dois prismas, executados com 2 blocos cada (área de 0,178 m²), estes blocos foram produzidos nos traços 1:8 e 1:6, ambos com teor de 5,0% de adição de poliuretano expandido reciclado.

A temperatura das faces exposta e não exposta, foi verificada com a utilização de termômetro com capacidade de leituras até 1200°C.

Utilizou-se uma mistura de oxigênio e acetileno, como fonte de calor.

O tempo de ensaio foi estipulado em 30 minutos, onde foram verificadas as temperaturas na face exposta e não exposta à chama, conforme a curva padrão de temperatura x tempo, apresentada na NBR 10.636 (1989).

4.11.3.1 Estabilidade

A estabilidade do prisma foi verificada em função da ocorrência de deformações, fissuração, fendilhamento ou colapso do corpo-de-prova sem qualquer solicitação e após a incidência de um choque mecânico, aplicado à face não exposta à chama, por uma massa, suficiente para imprimir ao corpo-de-prova um choque com energia de 15 Joules, num prazo de 3,0 minutos antes do final do ensaio.

4.11.3.2 Estanqueidade

A estanqueidade às chamas foi analisada com a aproximação de um chumaço de algodão, colocado a 20 mm e 30 mm, durante curtos intervalos de tempo (entre 10 e 20 segundos), de forma a verificar a ocorrência de inflamação.

O resultado das investigações, no que concerne a estabilidade e estanqueidade proporcionado pela adição do poliuretano reciclado ao concreto utilizado na produção de blocos, exposto à ação do fogo, são apresentadas no Capítulo 5.

4.11.3.3 Determinação do potencial de isolação térmica

Uma das hipóteses deste estudo, é que a inserção do poliuretano expandido reciclado no concreto de cimento Portland utilizado na produção de blocos, irá conferir ao produto um certo potencial de isolação térmica, uma vez que mesmo após sua reciclagem, ainda restar nas partículas de maior dimensão, algumas células fechadas com gás isolante térmico.

Para a determinação do potencial de isolação térmica dos blocos produzidos, partiu-se do ensaio de determinação de resistência ao fogo, já referido, e determinou-se o aumento da temperatura na face não exposta do corpo-de-prova, no decorrer do ensaio, conforme preconiza a NBR 10.636 (1989).

De acordo com aquela norma, considera-se o material isolante térmico, se não houver, na face não exposta a fonte de calor, aumento de temperatura médio superior a 140 °C.

Os resultados desta investigação encontram-se apresentados e comentados no Capítulo 5.

4.11.4 Produção dos Blocos de Concreto

Foram produzidos 2 séries de 29 blocos (58 blocos), com concreto traços 1:8 e 1:6, incorporando teores de adição de poliuretano expandido reciclado de 5,0%, em relação ao consumo de cimento, consideradas tecnicamente viáveis conforme apresentado na Tabela 4.14.

TABELA 4.14 - BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO RECICLADO – NÚMERO DE CORPOS-DE-PROVA E ENSAIOS PROGRAMADOS

Conreto - Traço em Volume (AT = 50%/50%)	**1 : 8**	**1 : 6**
Teor de Adição de PU Expandido	**5,0%**	**5,0%**
Determinações		
Massa Específica Estado Fresco	3	3
Massa Específica no Estado Endurecido	3	3
Índice de Vazios		
Absorção por Imersão		
Resistência à Compressão (3, 7 e 28 dias)	9	9
Resistência ao Fogo	10	10
Isolamento Térmico		
Lixiviação de Resíduos	4	4
Total	**29**	**29**

Os blocos foram produzidos com os agregados dosados em volume e o cimento, a água e as adições, em massa, conforme técnica usualmente empregada nas fábricas de blocos.

A produção dos blocos de concreto foi realizada na empresa Bricka Sistemas Construtivos Ltda, localizada à Rua Salgado Filho, 405, Município de Pinhais, Paraná.

A cura dos blocos produzidos se deu ao ar, em ambiente protegido da insolação direta e molhados diariamente, visando reproduzir as mesmas condições verificadas na empresa de artefatos de concreto.

O tempo de vibro-compressão foi fixado em 15 segundos para o traço 1:6 e 17 segundos, para o traço 1:8, conforme parâmetros dos blocos produzidos no estudo piloto (sem adição) e a umidade de moldagem foi fixada, conforme o estudo efetivado com os corpos-de-prova cilíndricos, sendo:

- Traço 1:8, com 5,0% de adição: Hm = 9,5%; e,
- Traço 1:6, com 5,0% de adição: Hm = 10,0%.

4.12 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DA ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO

Conforme LAURITZEN (1997) a reciclagem de um material deve ser economicamente viável.

Diante desta afirmação, procurou-se demonstrar a viabilidade econômica de uso do material de duas formas:

a- mediante a determinação do aumento de volume e, conseqüentemente, do rendimento do concreto com adição; e,

b- mediante a determinação dos valores do concreto produzidos com e sem a adição de poliuretano reciclado, considerando os custos dos materiais necessários para a produção e da economia da parcela relativa a deposição do resíduo de poliuretano em aterros industriais.

O estudo referente à variação de volume do concreto foi realizado mediante a produção de concreto, nos traços 1:6 e 1:8, em volume, com e sem adição do poliuretano reciclado, e determinação física dos volumes ocupados pelo concreto solto, nas duas situações.

No estudo referente aos custos de produção do concreto com e sem adição, foram considerados os preços médios de mercado dos insumos, determinados no mês de setembro de 2003, para a praça de Curitiba, bem como os custos de deposição do resíduo em aterro industrial.

Neste último item, alguns custos não foram considerados, tais como, custo de equipamento, energia elétrica, mão-de-obra, leis sociais, impostos e custos administrativos, pois podem ser encarados como custos fixos para a produção do concreto, com ou sem adição da espuma de poliuretano reciclada.

Não foram considerados, também, os custos da reciclagem e transporte da espuma de poliuretano, pois são etapas que devem ocorrer, quer o resíduo seja enviado ao aterro industrial ou incorporado ao concreto.

A comparação dos valores baseou-se na variação de custo entre os concretos com adição de 5,0% de poliuretano reciclado (traços 1:8 e 1:6) e concretos sem adição, porém com mesmas características de resistência à compressão aos 7 dias de idade (traços 1:8 e 1:10, respectivamente).

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos pelas séries de ensaios realizados durante o programa experimental, e analisados em função das propriedades do material e dos parâmetros de qualidade, impostos pela normalização brasileira, para qualificação do produto.

5.1 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Para tornar mais didática a apresentação e análise dos resultados, os resultados foram divididos em dois segmentos, sendo:

a- resultados obtidos nos ensaios com dos blocos produzidos no estudo piloto;

b- resultados obtidos nos ensaios dos corpos-de-prova cilíndricos Ø 100mm, confeccionados com concreto traço 1:8 e 1:6, com adição de teores de 0%, 5%, 7,5%, 10%, 15% e 20% de espuma rígida de poliuretano reciclado; e,

c- resultados obtidos nos ensaios dos blocos, produzidos com concreto traço 1:8 e 1:6, com adição de 5,0% espuma rígida de poliuretano reciclado.

Os resultados obtidos nos ensaios foram analisados mediante comparação entre os parâmetros impostos pelo material sem adição, adotado como referência, e para os traços com diferentes teores de adição, de maneira a permitir a definição dos teores de adição viáveis tecnicamente.

A análise dos corpos-de-prova cilíndricos foi baseada nos resultados de ensaios para determinação das características físicas do concreto (massa específica no estado fresco e endurecido, absorção de água por imersão e índice de vazios) e mecânicas (resistência à compressão e à tração).

A análise dos blocos produzidos com o concreto com adição, foi baseada nos resultados dos ensaios para determinação das características geométricas dos blocos (dimensões), características físicas (massa específica no estado fresco e endurecido, absorção de água por imersão e índice de vazios), mecânicas (resistência à compressão), ambientais (lixiviação de resíduos) e de segurança ao fogo (estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico).

5.2 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM OS BLOCOS DE REFERÊNCIA – ESTUDO PILOTO

As características dos blocos produzidos no estudo piloto, são apresentadas na tabela 5.1.

TABELA 5.1 - CARACTERÍSTICAS DOS BLOCOS PRODUZIDOS NO ESTUDO PILOTO

Traço em Volume	Proporção do Agregado Total (% Am/ % Ag)	Umidade de Moldagem (%)	Massa Específica do Concreto Fresco (kg/m³)	Tempo Médio de Vibro-compactação (s)
1:6	50/50	8,0	2.345,24	14,93
1:6	60/40	9,0	2.395,69	16,85
1:8	50/50	7,5	2.332,82	17,20
1:8	60/40	9,0	2.225,07	15,07
1:10	50/50	7,5	2.301,18	14,62
1:10	60/40	8,5	2.264,41	14,90

5.2.1 Características dos Blocos Moldados com Agregado Total Proporcionado com 50% de Agregado Miúdo e 50% de Agregado Graúdo

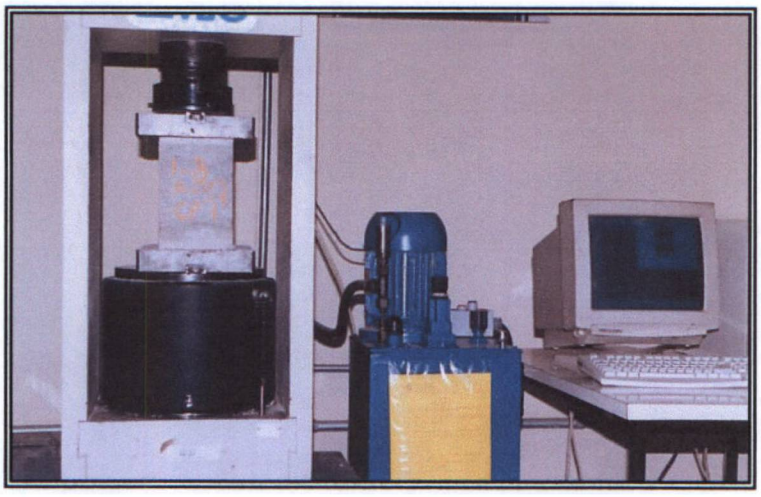
Os valores determinados nos ensaios dos blocos produzidos com a agregado total proporcionado com 50% de agregado miúdo e 50% de agregado graúdo, para determinação das características físicas, encontram-se elencadas no Apêndice 4, deste trabalho, e os resultados médios, para cada traço piloto, estão apresentados na Tabela 5.2.

Os valores determinados para a Resistência à Compressão (Figura 5.1), para os blocos do estudo piloto, encontram-se elencados no Apêndice 4, desta dissertação, e os valores médios, determinados para cada traço, encontram-se apresentados na Tabela 5.3.

TABELA 5.2 - MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E ÍNDICE DE VAZIOS DOS BLOCOS PRODUZIDOS COM OS TRAÇOS PILOTO

Traço em Volume	Proporção do Agregado Total (% Am/ % Ag)	Massa Específica do Concreto Seco (kg/m³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
1:6	50/50	2.168,88	7,58	16,50
1:6	60/40	2.152,29	6,55	14,08
1:8	50/50	2.176,06	6,46	14,05
1:8	60/40	2.151,72	6,31	13,58
1:10	50/50	2.175,61	5,91	12,85
1:10	60/40	2.088,54	7,03	14,67

FIGURA 5.1 - ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS DE CONCRETO

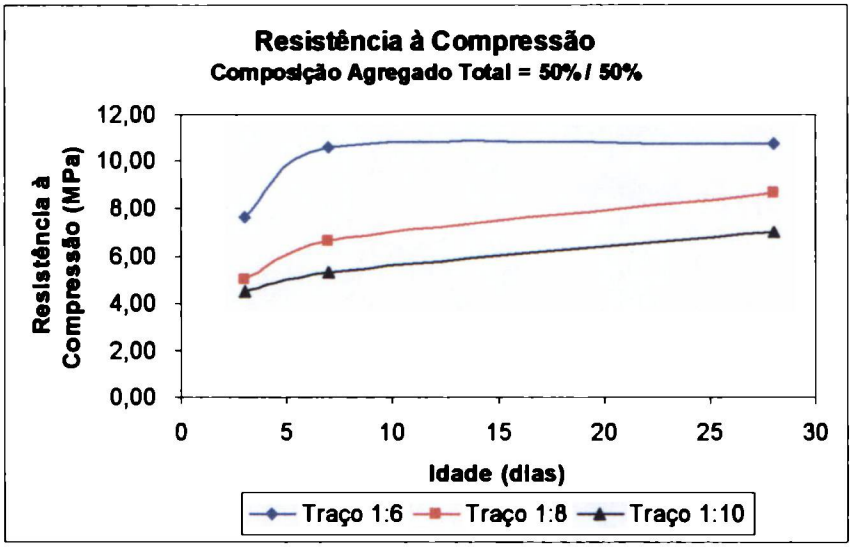


Os resultados dos ensaios de determinação da resistência à compressão, possibilitaram a confecção dos gráficos apresentados nas Figuras 5.2 e 5.3, relacionando as resistências à compressão aos traços ensaiados.

TABELA 5.3 - RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BLOCOS PRODUZIDOS COM OS TRAÇOS PILOTO, COM PROPORCIONAMENTO DO AGREGADO TOTAL DE 50% AGREGADO MIÚDO E 50% AGREGADO GRAÚDO (MF = 4,01)

Traço	Resistência à Compressão (MPa)		
	3	7	28
1 : 6	7,56	10,59	10,73
1 : 8	5,01	6,66	8,70
1 : 10	4,48	5,29	6,98

FIGURA 5.2 - RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇOS EM VOLUME, AGREGADO TOTAL COM PROPORCIONAMENTO DE 50% DE AGREGADO MIÚDO E 50% DE AGREGADO GRAÚDO (MF = 4,01)



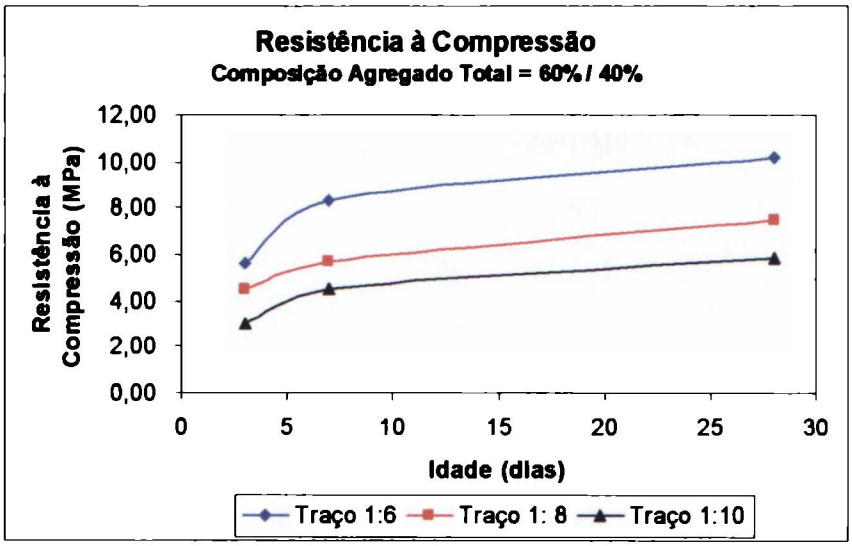
5.2.2 Características dos Blocos Moldados com Agregado Total Proporcionado com 60% de Agregado Miúdo e 40% de Agregado Graúdo

Os valores determinados nos ensaios dos blocos produzidos com a agregado total proporcionado com 60% de agregado miúdo e 40% de agregado graúdo, mistura que proporcionou um módulo de finura MF = 3,74, muito próximo do valor pré estabelecido para a produção de blocos com massa específica normal (MF = 3,70), encontram-se elencados no Apêndice 4, e os resultados médios, para cada traço piloto, estão apresentados na Tabela 5.4.

TABELA 5.4 - RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO, DOS BLOCOS PRODUZIDOS COM OS TRAÇOS PILOTO E AGREGADO TOTAL PROPORCIONADO COM 60% DE AGREGADO MIÚDO E 40% DE AGREGADO GRAÚDO (MF = 3,74)

Traço	Resistência à Compressão (MPa)		
	3	7	28
1 : 6	5,62	8,32	10,18
1 : 8	4,48	5,68	7,53
1 : 10	2,97	4,50	5,84

FIGURA 5.3 - RELAÇÃO ENTRE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E TRAÇOS EM VOLUME, AGREGADO TOTAL COM PROPORCIONAMENTO DE 60% DE AGREGADO MIÚDO E 40% DE AGREGADO GRAÚDO (MF = 3,74)



5.3 RESULTADOS DOS ENSAIOS COM CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS

Neste item são apresentados os resultados médios dos ensaios efetuados com as séries de corpos-de-prova cilíndricos, moldados com concreto traço 1:8 e 1:6, com as adições de espuma rígida de poliuretano expandido reciclado (Figura 5.4).

Os resultados individuais obtidos nas determinações com corpos-de-prova cilíndricos, são apresentados no Apêndice 6.

FIGURA 5.4 – CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS PRODUZIDOS COM ADIÇÃO DE 5%, 7,5%, 10%, 15% E 20% DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO



5.3.1 Características Físicas

5.3.1.1 Variação da umidade de moldagem, em relação aos teores de adição

Durante as moldagens dos corpos-de-prova cilíndricos de concreto, utilizando a mesa vibratória e o sistema de contrapeso, desenvolvido de forma a reproduzir as características do concreto produzido na vibro-prensa, verificou-se a necessidade de adicionar mais água ao concreto, alterando sobremaneira o teor de umidade de moldagem e, conseqüentemente, da relação a/c.

Na Tabela 5.5, apresenta-se o incremento de umidade em relação ao teor de adição incorporada ao concreto e a relação a/c resultante.

TABELA 5.5 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU EXPANDIDO RECICLADO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Umidade de Moldagem (%)	Relação A/C	Umidade de Moldagem (%)	Relação A/C
0,0	8,0	0,645	8,0	0,484
5,0	9,5	0,766	10,0	0,604
7,5	11,0	0,887	11,5	0,695
10,0	12,0	0,967	14,0	0,846
15,0	14,0	1,129	16,0	0,967
20,0	17,0	1,370	21,0	1,269

Os percentuais de adição estão relacionados ao consumo de cimento, que se manteve constante e igual a 260,00 kg/m³, no traço 1:8 e 337,00 kg/m³, no traço 1:6, em todas as moldagens desta série.

Os teores de umidade representam quantidades de água de amassamento do concreto, e estão determinadas em percentuais da quantidade do agregado total, no estado seco, para cada traço.

A necessidade do incremento dos teores de umidade de moldagem, pode ser explicado pelos seguintes fatores:

- alto teor de absorção da espuma rígida de poliuretano expandido, que absorve parte da água de amassamento do concreto, sendo necessária sua reposição para permitir a moldagem dos corpos de prova;
- aumento da superfície específica do material, (superfície de molhagem) que necessita ser incorporado pela pasta de cimento; e,
- mudança da massa específica do concreto contendo adição de espuma de poliuretano reciclado.

A tendência de aumento dos teores de umidade de moldagem, em detrimento dos teores de adição de PU reciclado, dentro dos limites estabelecidos neste estudo, segue um modelo linear, dado pelas seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 0{,}4686\,x + 7{,}3429$; e, (28)
- concreto traço 1:6 - $y = 0{,}6457\,x + 7{,}2286$ (29)

Esta variação pode ser verificada nos gráficos apresentados nas Figuras 5.5 e 5.6.

FIGURA 5.5 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM, EM RELAÇÃO A ADIÇÃO DE PU EXPANDIDO AO CONCRETO TRAÇO 1 : 8

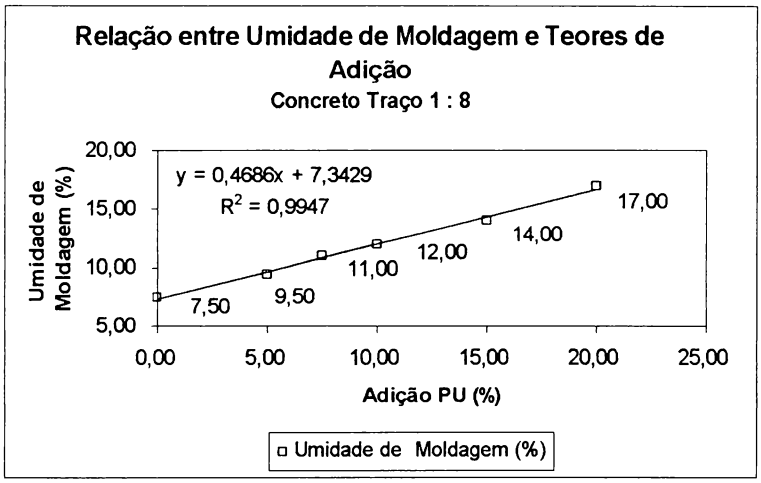
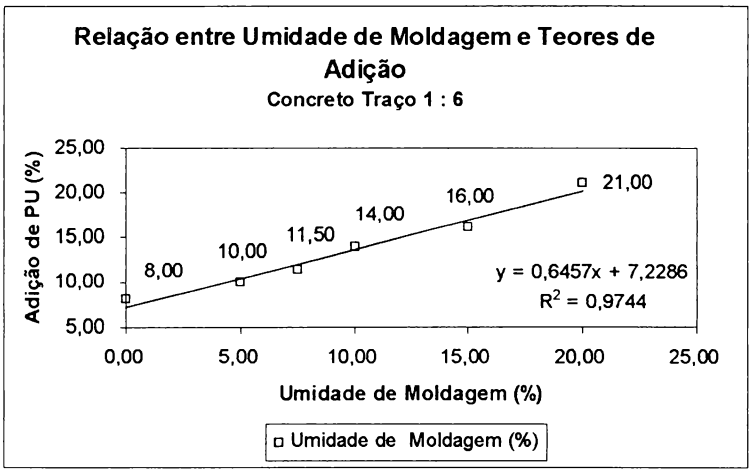


FIGURA 5.6 - VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM, EM RELAÇÃO A ADIÇÃO DE PU EXPANDIDO AO CONCRETO TRAÇO 1 : 6



Portanto, os resultados indicam que o concreto com adição da espuma rígida de poliuretano expandido, sofre grande influência, no que tange a necessidade de correção do teor de umidade de moldagem, fato que deve ser considerado quando da produção dos blocos com este material.

5.3.1.2 Variação da massa específica do concreto fresco, em relação aos teores de adição de PU expandido reciclado

A massa específica do concreto, determinada com os corpos-de-prova recém moldados, apresentou a variação apresentada na Tabela 5.6, em função da adição da espuma rígida de poliuretano expandido reciclada.

TABELA 5.6 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO FRESCO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO

Adição de PU (%)	Massa Específica do Concreto Fresco (kg/m³)	
Traço	1 : 8	1 : 6
0,0	2.331,85	2.364,19
5,0	2.062,64	2.048,83
7,5	2.018,37	1,860,51
10,0	1.924,63	1,834,75
15,0	1.861,78	1.665,60
20,0	1.599,05	1.445,10

A redução da massa específica do concreto, no estado fresco, pode ser explicada pelos seguintes fatores:

- pequena massa específica do material incorporado (22,74 kg/m³ – material pulverizado e solto), e que representa um volume significativo, considerando o consumos de cimento dos traços ensaiados (260,00 kg/m³ para o traço 1:8 e 337,00 kg/m³, para o traço 1:6).

Portanto, em termos de volumes de adição, tem-se, considerando os consumos de cimento de cada traço, uma variação de:

- traço 1:8, volumes a partir de 0,572m³ (5,0% de adição) até 2,287m³ (20,0% de adição); e,
- traço 1:6, volumes a partir de 0,741m³ (5,0% de adição) até 2,964m³ (20,0% de adição).

Aumento considerável do índice de vazios do concreto, em virtude da dificuldade de compactação do concreto, tanto maior quanto maiores os teores de adição incorporados.

Portanto, quanto maiores os teores de adição, menores as massas específicas do concreto no estado fresco, que seguem, para os limites estudados, a tendência linear expressa pelas seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = -33,158\,x + 2284,2$; (30)
- concreto traço 1:6 - $y = -43,022\,x + 2283,8$; (31)

Esta variação pode ser observada nos gráficos apresentados nas Figuras 5.7 e 5.8.

FIGURA 5.7 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO INCORPORADO – TRAÇO 1:8

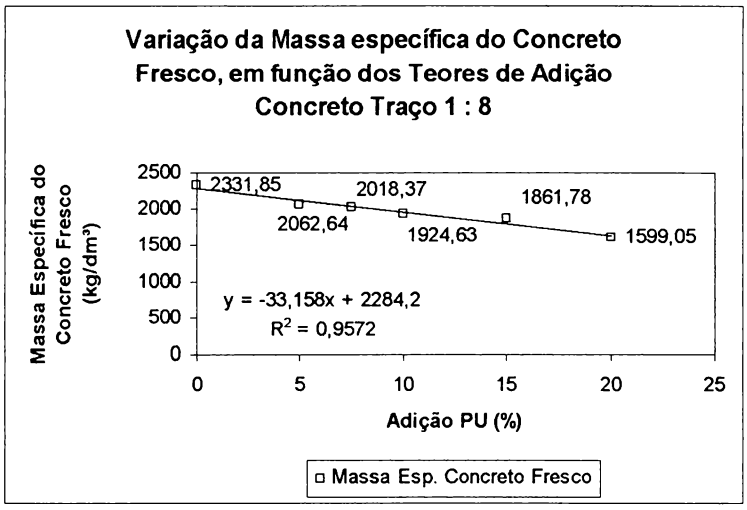
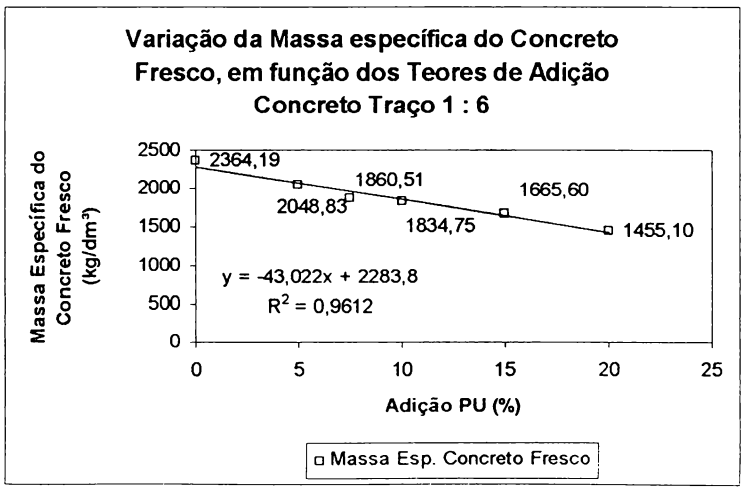


FIGURA 5.8 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO INCORPORADO – TRAÇO 1:6



5.3.1.3 Variação da massa específica do concreto endurecido, absorção de água e índice de vazios do concreto, em relação aos teores de adição de PU

Estas características físicas do concreto, determinadas aos 7 dias de idade, apresentaram uma variação em função dos teores de adição da espuma de poliuretano expandido reciclado incorporadas. Esta variação pode ser verificada nas Tabelas 5.7 e 5.8.

TABELA 5.7 - VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO – CONCRETO TRAÇO 1:8

Adição de PU (%)	Massa Específica Endurecido Seco (kg/dm³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
0,0	2.143,31	7,73	16,13
5,0	1.976,21	9,92	19,61
7,5	1.864,30	11,60	21,63
10,0	1.786,98	12,60	22,52
15,0	1.652,90	14,83	24,50
20,0	1.441,08	19,31	27,76

TABELA 5.8 - VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO – CONCRETO TRAÇO 1:6

Adição de PU (%)	Massa Específica Endurecido Seco (kg/dm³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
0,0	2.124,78	6,60	14,02
5,0	2.000,18	8,90	17,79
7,5	1.771,82	11,46	20,29
10,0	1.730,15	12,77	22,09
15,0	1.516,82	16,24	24,61
20,0	1.363,98	19,49	26,58

Os valores da massa específica do concreto no estado seco, menores que as determinadas para o concreto no estado fresco, se devem a evaporação da água presente nos vazios permeáveis do concreto, dos agregados e das partículas do material adicionado.

Os poros produzidos pela dificuldade de compactação do material, principalmente para teores de adição, influenciam, também, a massa específica do concreto.

A variação da massa específica do concreto seco, em função da adição de PU expandido reciclado, segue, para os limites impostos nesta análise experimental, uma variação linear, caracterizada pelas expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = -34{,}374\,x + 2140{,}2$; (32)
- concreto traço 1:6 - $y = -39{,}482\,x + 21{,}297$; (33)

Os gráficos gerados para esta determinação, são apresentados nas Figuras 5.9 e 5.10.

FIGURA 5.9 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO INCORPORADO – CONCRETO TRAÇO 1:8

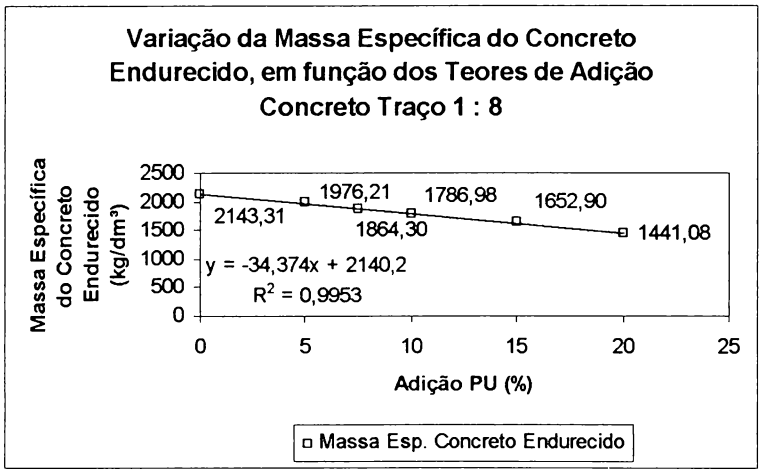
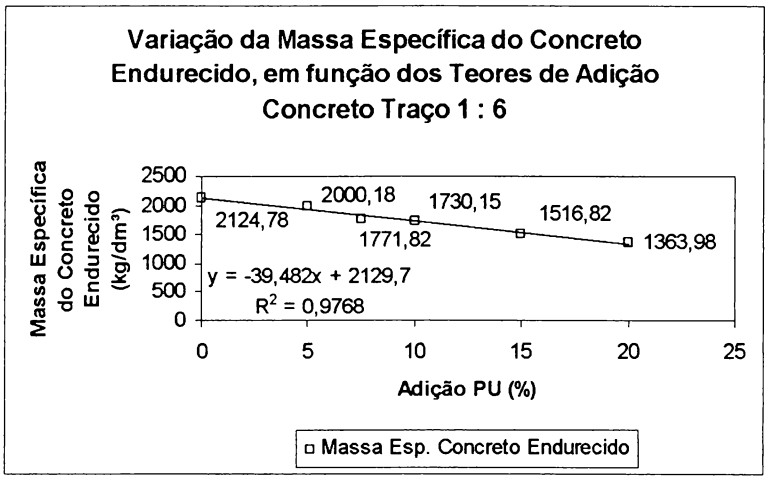


FIGURA 5.10 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE ADIÇÃO DE PU RECICLADO INCORPORADO – CONCRETO TRAÇO 1:6



A absorção de água por imersão apresenta valores crescentes, relativamente ao aumento do teor de adição de PU expandido reciclado. Tal fenômeno ocorre devido à alta absorção da espuma rígida de poliuretano (absorção total de 120,81%), aliada ao aumento significativo do volume de finos adicionado ao concreto pela incorporação da adição.

O índice de vazios proporcionado pelas dificuldades de compactação do material, durante a moldagem do concreto, também interfere, significativamente, para o aumento dos teores de absorção de água pelo concreto.

A absorção de água por imersão, verificada para o concreto, apresenta um aumento em relação aos teores de adição de PU expandido reciclado, esta relação, para os limites impostos no estudo experimental, apresenta uma variação linear, representada pelas expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 0{,}5604\,x + 7{,}2947$; (34)
- concreto traço 1:6 - $y = 0{,}6598\,x + 6{,}2534$; (35)

Estas variações, podem ser verificadas nos gráficos apresentados nas Figuras 5.11 e 5.12.

Para teores de adição de 5,0%, verificaram-se teores de absorção de água por imersão de 9,92% (traço 1:8) e 8,90% (traço 1:6), portanto abaixo de 10,0%, valor imposto pela norma brasileira, como limite para blocos de concreto.

FIGURA 5.11 - VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

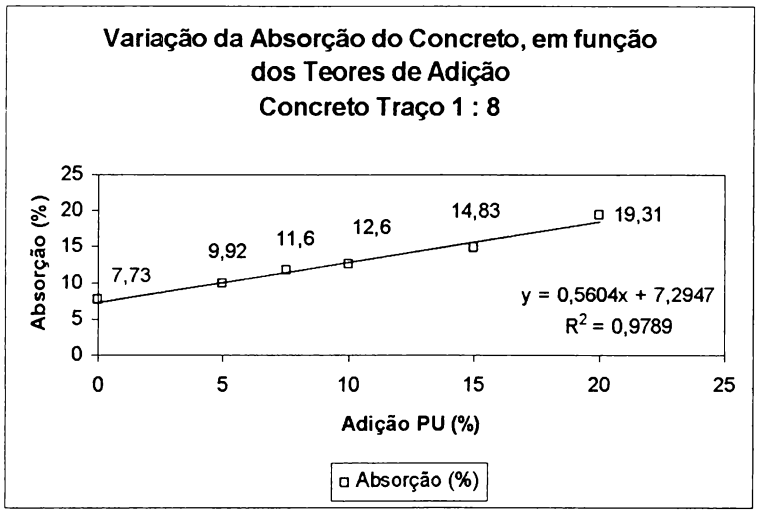
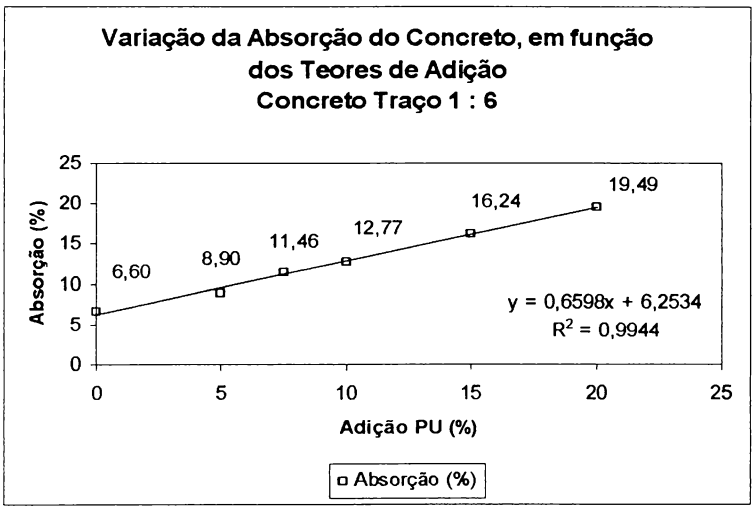


FIGURA 5.12 - VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



Quanto ao índice de vazios do concreto, observou-se um aumento dos valores em detrimento do aumento do teor de adição incorporada ao concreto.

Este aumento pode ser explicado pela perda por evaporação, da água absorvida pela espuma rígida de poliuretano reciclado, bem como pelo excesso de água de amassamento, necessária para promover juntamente com o cimento a aglomeração de todas as partículas de agregado e da adição.

A dificuldade de compactação do concreto fresco, também interfere, significativamente, para o aumento do índice de vazios do material.

A variação do acréscimo dos valores verificados no índice de vazios do concreto, em relação ao teor de adição de PU expandido reciclado, para os limites impostos no estudo experimental, segue uma variação linear, representada pelas seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 0{,}5554\,x + 16{,}703$ (36)
- concreto traço 1:6 - $y = 0{,}6317\,x + 14{,}843$ (37)

Tal variação fica evidenciada nos gráficos apresentados nas Figuras 5.13 e 5.14.

FIGURA 5.13 - VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

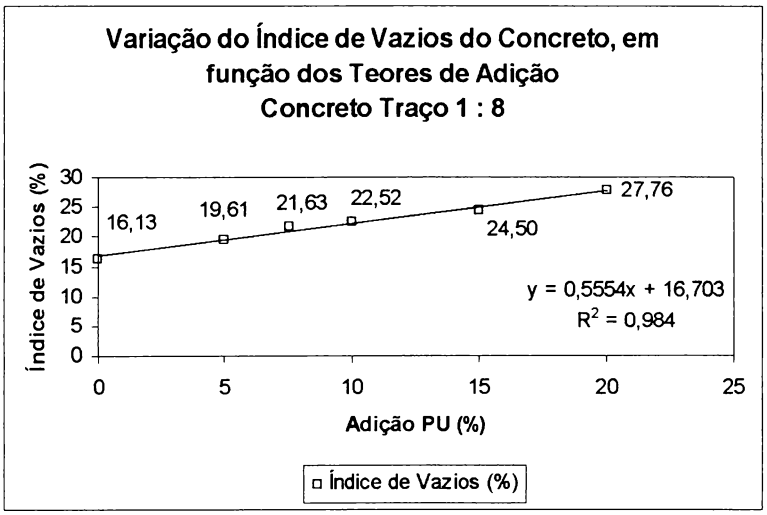
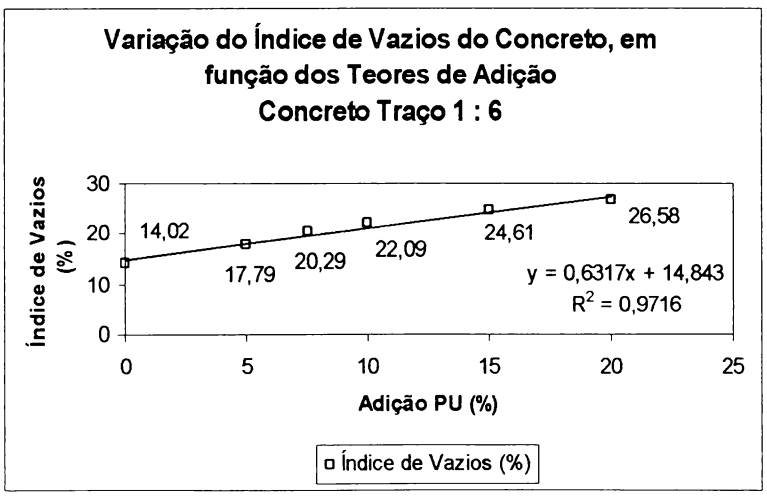


FIGURA 5.14 - VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.1.4 Variação da absorção do concreto, em relação à massa específica do concreto endurecido, para os diferentes teores de adição

Para os dois traços estudados, a absorção de água do concreto, cresce à proporção que a massa específica do concreto diminui, conforme pode ser verificado na Tabela 5.9.

TABELA 5.9 - VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DO CONCRETO, EM RELAÇÃO A MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Massa Específica Concreto Seco (kg/dm³)	Absorção por Imersão (%)	Massa Específica Concreto Seco (kg/dm³)	Absorção por Imersão (%)
0,0	2.143,31	7,73	2.124,78	6,60
5,0	1.976,21	9,92	2.000,18	8,90
7,5	1.864,30	11,60	1,771,82	11,46
10,0	1.786,98	12,60	1.730,15	12,77
15,0	1.652,90	14,83	1.516,82	16,42
20,0	1.441,08	19,31	1.363,98	19,49

Na Tabela 5.9, verifica-se uma relação inversamente proporcional entre os valores da massa específica do concreto, no estado endurecido, e da absorção de água.

Este comportamento pode ser explicado pela alta absorção do material incorporado ao concreto, além da ocupação pela água, dos espaços vazios deixados pela evaporação do excesso de água, necessária para a molhagem de uma área superficial aumentada pela adição da espuma de PU reciclada, que apresenta elevado teor de finos.

Os valores da massa específica para o concreto traço 1:6, se apresentam proporcionalmente menores que os do concreto traço 1:8, para todos os teores de adição ensaiados (exceção do teor de 5,0%, onde os valores foram ligeiramente superiores).

Esta variação ocorre, pois como os teores de adição são determinados em função do consumo de cimento de cada traço, tem-se quantidades maiores de espuma de PU reciclada no traço 1:6, que no concreto traço 1:8.

A relação entre massa específica do concreto no estado endurecido e absorção de água, em função dos teores de adição de PU expandido incorporados ao concreto, segue um modelo linear, representado, nos limites desta pesquisa, pelas seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = -0{,}0163\,x + 42{,}244$; (38)
- concreto traço 1:6 - $y = -0{,}0165\,x + 41{,}432$; (39)

Esta variação esta representada nos gráficos apresentados nas Figuras 5.15 e 5.16.

FIGURA 5.15 - VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO 1:8

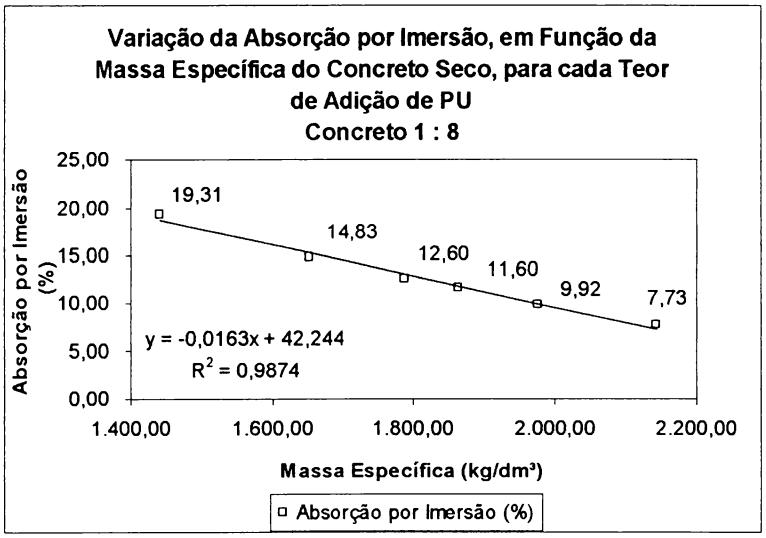
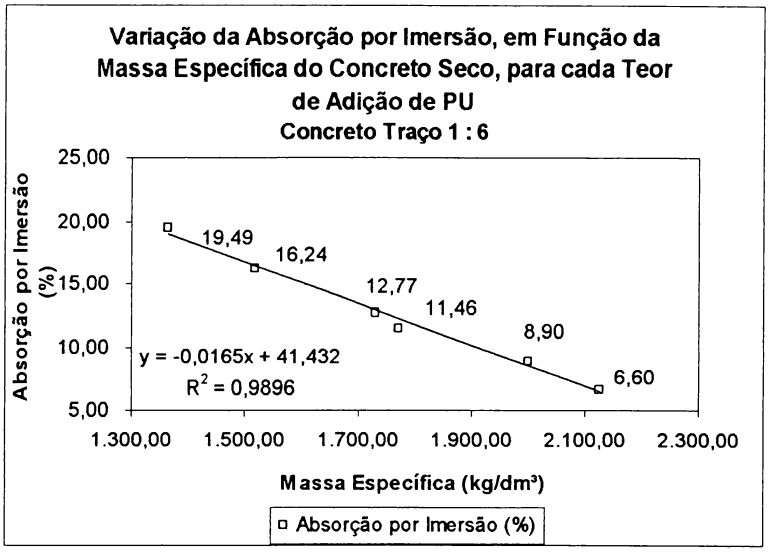


FIGURA 5.16 - VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO 1:6



5.3.1.5 Variação da massa específica do concreto endurecido, em relação ao índice de vazios do concreto para os diferentes teores de adição

Por serem características dependentes, verifica-se uma redução dos valores de massa específica do concreto em função do aumento do índice de vazios, verificado em relação ao acréscimo dos valores de adição incorporada ao concreto.

Os valores da massa específica do concreto no estado endurecido e do índice de vazios do concreto, para cada teor de adição ensaiado nos traços 1:8 e 1:6, estão apresentados na Tabela 5.10.

TABELA 5.10 - VALORES DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO E DO ÍNDICE DE VAZIOS, PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Massa Específica Concreto Seco (kg/dm³)	Índice de Vazios (%)	Massa Específica Concreto Seco (kg/dm³)	Índice de Vazios (%)
0,0	2.143,31	16,13	2.124,78	14,02
5,0	1.976,21	19,61	2.000,18	17,79
7,5	1.864,30	21,63	1,771,82	20,29
10,0	1.786,98	22,52	1.730,15	22,09
15,0	1.652,90	24,50	1.516,82	24,61
20,0	1.441,08	27,76	1.363,98	26,58

Esta variação segue a mesma relação que a verificada entre a massa específica e a absorção do concreto, uma vez que a absorção é conseqüência direta da variação do índice de vazios do concreto.

A relação entre massa específica do concreto e o índice de vazios, verificados para os teores de adição estudados, segue, para os parâmetros impostos nesta pesquisa, a relação linear, representada pelas equações:

- concreto traço 1:8 - $y = -61{,}296\,x + 3160{,}8$; (40)
- concreto traço 1:6 - $y = -61{,}544\,x + 3037{,}4$; (41)

Esta variação é apresentada nos gráficos constantes das Figuras 5.17 e 5.18.

FIGURA 5.17 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

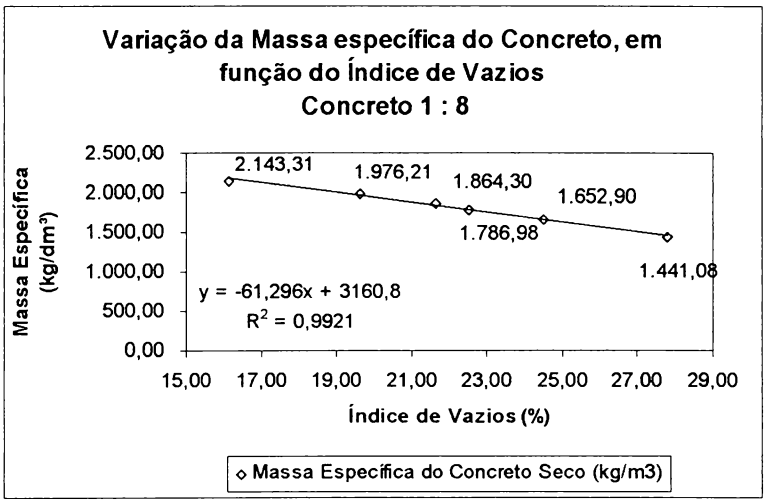
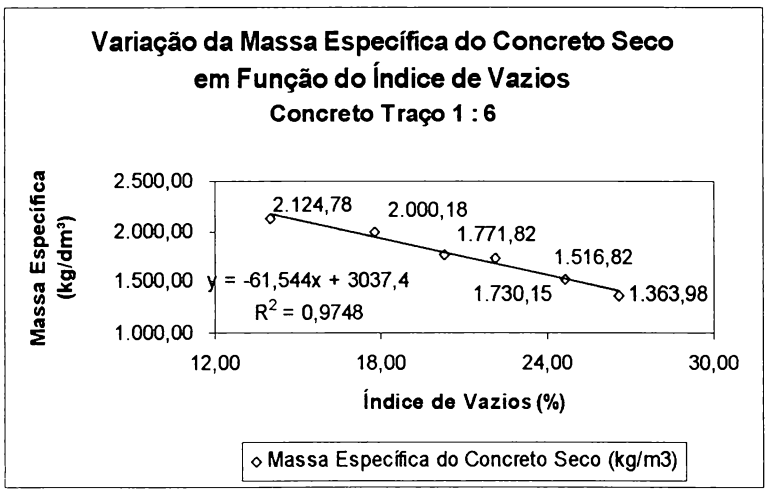


FIGURA 5.18 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.1.6 Variação da absorção de água do concreto, em função do índice de vazios.

Por serem grandezas diretamente proporcionais, a absorção do concreto, determinada pela saturação em água dos corpos-de-prova, varia progressivamente com o aumento do índice de vazios.

Os valores determinados para os traços de concreto pesquisados, encontram-se apresentados na Tabela 5.11.

TABELA 5.11 - VALORES DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO E DO ÍNDICE DE VAZIOS, PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
0,0	7,73	16,13	6,60	14,02
5,0	9,92	19,61	8,90	17,79
7,5	11,60	21,63	11,46	20,29
10,0	12,60	22,52	12,77	22,09
15,0	14,83	24,50	16,42	24,61
20,0	19,31	27,76	19,49	26,58

Isto se verifica pela ocupação pela água daqueles espaços vazios, tanto maiores quanto mais elevado o teor de adição de PU expandido.

Para os limites do estudo, esta variação se dá linearmente, de acordo com as expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 0,9947\,x - 9,2453$; (42)
- concreto traço 1:6 - $y = 1,0143\,x - 8,6196$; (43)

Esta variação é ilustrada pelos gráficos apresentados nas Figuras 5.19 e 5.20.

FIGURA 5.19 - VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6

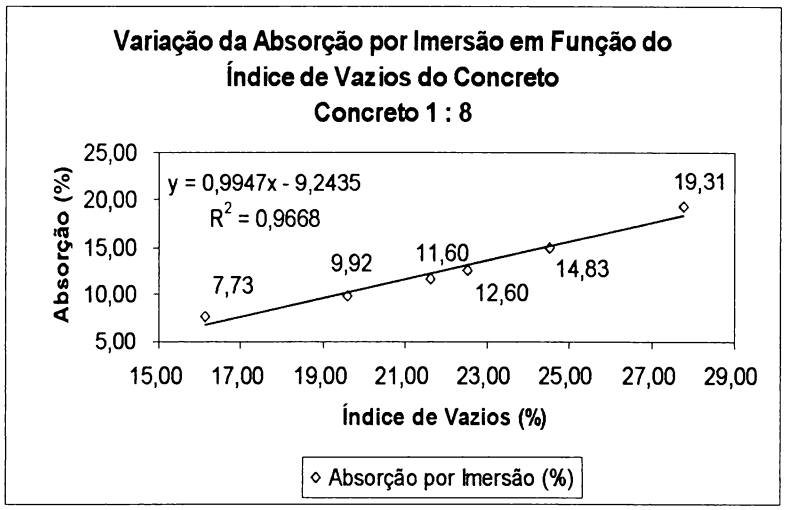
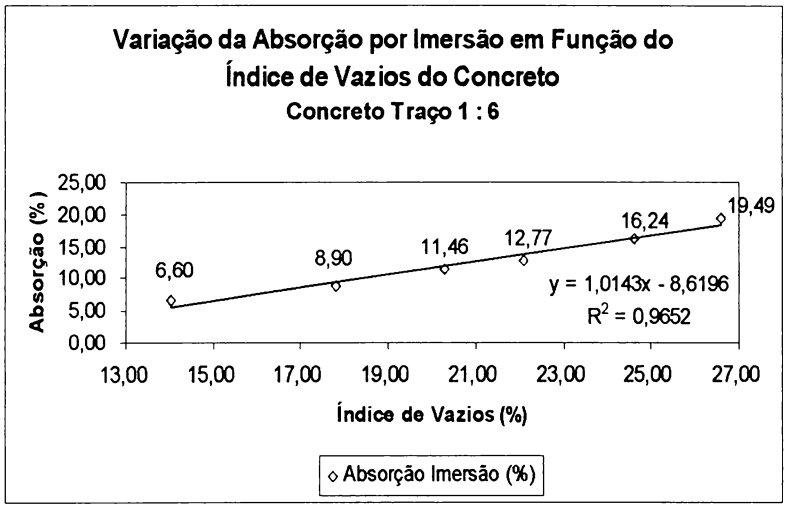


FIGURA 5.20 - VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8



5.3.1.7 Variação da absorção do concreto, em relação aos teores de umidade de moldagem para os diferentes teores de adição

Como determinado no item 5.2.1.1, verificou-se a necessidade de incrementar a quantidade de água de amassamento, para cada moldagem realizada, conforme se alteravam os teores de adição de PU expandido reciclado.

Esta variação nos teores de umidade de moldagem provocou alterações nos valores de absorção de água do concreto, como pode ser verificado na Tabela 5.12.

TABELA 5.12 - VALORES DE UMIDADES DE MOLDAGEM E ABSORÇÃO DO CONCRETO, PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Umidade de Moldagem (%)	Absorção por Imersão (%)	Umidade de Moldagem (%)	Absorção por Imersão (%)
0,0	7,5	7,73	8,0	6,60
5,0	9,5	9,92	10,0	8,90
7,5	11,0	11,60	11,5	11,46
10,0	12,0	12,60	14,0	12,77
15,0	14,0	14,83	16,0	16,42
20,0	17,0	19,31	21,0	19,49

Esta variação, diretamente proporcional, pode ser explicada devido à porosidade do concreto, causada pela evaporação do excesso de água, em parte absorvida pela adição de PU, e em parte necessária para molhagem do incremento de área superficial proporcionada pelo alto teor de finos da adição.

O preenchimento dos vazios proporcionados pela dificuldade de compactação do concreto, verificada, principalmente, para os teores mais altos de adição (acima de 10%), também exerce influência direta sobre os teores de absorção do concreto.

Esta relação segue uma tendência linear, nos limites considerados nesta pesquisa, de acordo com as seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 1{,}2016\,x - 1{,}5539$; (44)
- concreto traço 1:6 - $y = 0{,}9988\,x - 0{,}824$; (45)

Esta relação fica evidenciada, nos gráficos apresentados nas Figuras 5.21 e 5.22.

FIGURA 5.21 - VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

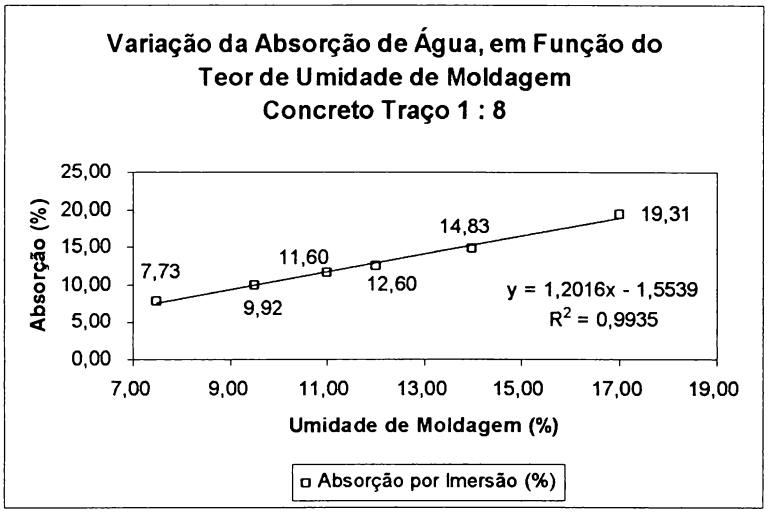
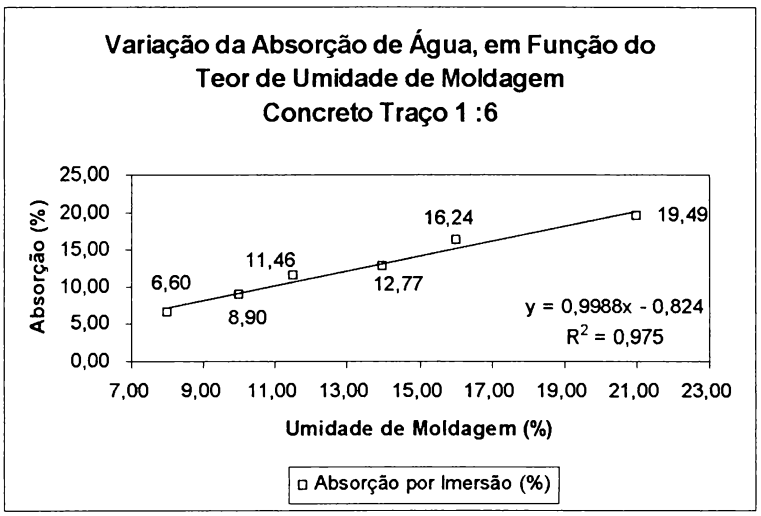


FIGURA 5.22 - VARIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8



5.3.1.8 Variação do índice de vazios do concreto, em relação aos teores de umidade de moldagem, para cada teor de adição

Verificou-se que o índice de vazios do concreto aumenta de acordo com a necessidade de aumento dos teores de umidade de moldagem para os vários teores de adição, conforme evidenciado na Tabela 5.13.

TABELA 5.13 - VALORES DE UMIDADES DE MOLDAGEM E ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Umidade de Moldagem (%)	Índice de Vazios (%)	Umidade de Moldagem (%)	Índice de Vazios (%)
0,0	7,5	16,13	8,0	14,02
5,0	9,5	19,61	10,0	17,79
7,5	11,0	21,63	11,5	20,29
10,0	12,0	22,52	14,0	22,09
15,0	14,0	24,50	16,0	24,61
20,0	17,0	27,76	21,0	26,58

Este comportamento ocorre, uma vez que as características estão diretamente relacionadas sob uma relação de causa e efeito, ou seja, quanto maiores os teores de umidade de moldagem, maiores as quantidades de água de amassamento em excesso, em parte absorvida pela espuma de poliuretano e em parte necessária para a molhagem de uma maior área superficial, introduzida ao concreto pelo elevado teor de finos da adição.

Com a evaporação deste excesso de água, criam-se poros, que somados aos vazios intergranulares causados pelo processo de vibro-compressão, vêm a caracterizar o índice de vazios do concreto.

Esta relação, diretamente proporcional, nos limites impostos pela pesquisa, pode ser representada pelos modelos matemáticos lineares abaixo apresentados:

- concreto 1:8 - $y = 1{,}182\,x + 8{,}0382$; (46)
- concreto 1:6 - $y = 0{,}9378\,x + 8{,}3148$; (47)

Este comportamento pode ser visualizado nos gráficos apresentados na Figuras 5.23 e 5.24.

FIGURA 5.23 - VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

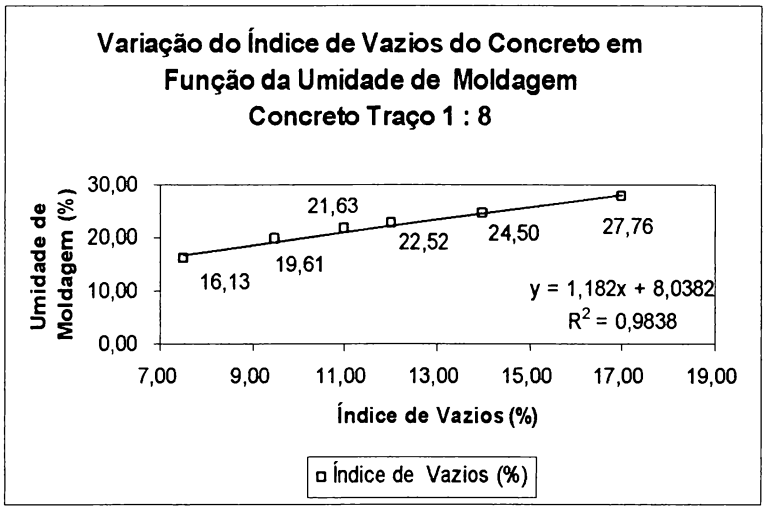
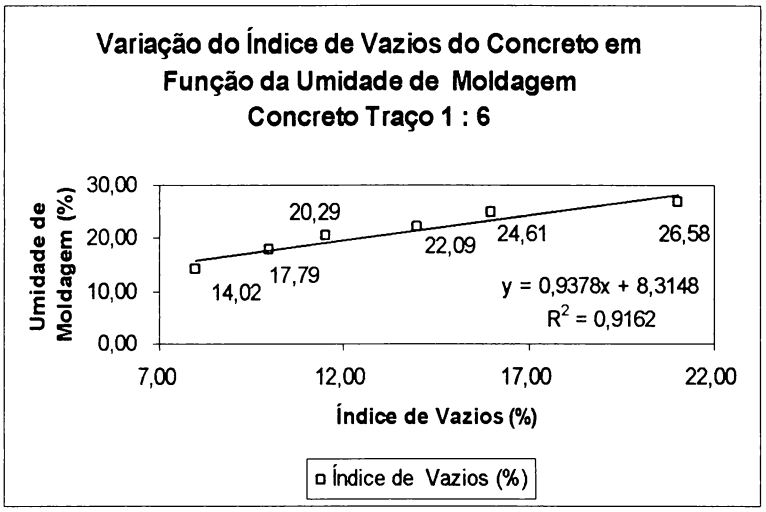


FIGURA 5.24 - VARIAÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.1.9 Massa específica do concreto endurecido em função dos teores de umidade de moldagem, para os diversos teores de adição

Verificou-se, em ambos traços de concreto estudados, uma redução nos valores da massa específica do concreto no estado endurecido, em relação ao aumento dos valores de umidade de moldagem, necessários para cada incremento do teor de adição de poliuretano reciclado.

Os valores da massa específica do concreto no estado endurecido e dos teores de umidade de moldagem, para cada teor de adição pesquisada, estão apresentados na Tabela 5.14.

TABELA 5.14 - VALORES DE MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO E UMIDADES DE MOLDAGEM, PARA OS TRAÇOS ESTUDADOS, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Umidade de Moldagem (%)	Massa Específica Concreto Seco (kg/dm³)	Umidade de Moldagem (%)	Massa Específica Concreto Seco (kg/dm³)
0,0	7,5	2.143,31	8,0	2.124,78
5,0	9,5	1.976,21	10,0	2.000,18
7,5	11,0	1.864,30	11,5	1,771,82
10,0	12,0	1.786,98	14,0	1.730,15
15,0	14,0	1.652,90	16,0	1.516,82
20,0	17,0	1.441,08	21,0	1.363,98

Este comportamento é explicado pela reduzida massa específica da espuma rígida de poliuretano reciclada (22,74 kg/m³ no estado solto), e pelo considerável volume que esta adição representa.

Além da massa reduzida da adição e dos grandes volumes incorporados ao concreto, há ainda, a perda de considerável massa de água, absorvida pela espuma de poliuretano e de molhagem, que ao evaporar confere um aumento da porosidade de concreto, reduzindo ainda mais sua massa específica no estado endurecido.

Este comportamento, inversamente proporcional, pode ser representado, dentro dos limites impostos na pesquisa, pelas seguintes expressões lineares:

- concreto traço 1:8 - $y = -73{,}273\,x + 2677{,}9$; (48)
- concreto traço 1:6 - $y = -59{,}226\,x + 2545{,}9$; (49)

A representação gráfica dessa relação entre características físicas do concreto pode ser verificada nos gráficos apresentados nas Figuras 5.25 e 5.26.

FIGURA 5.25 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

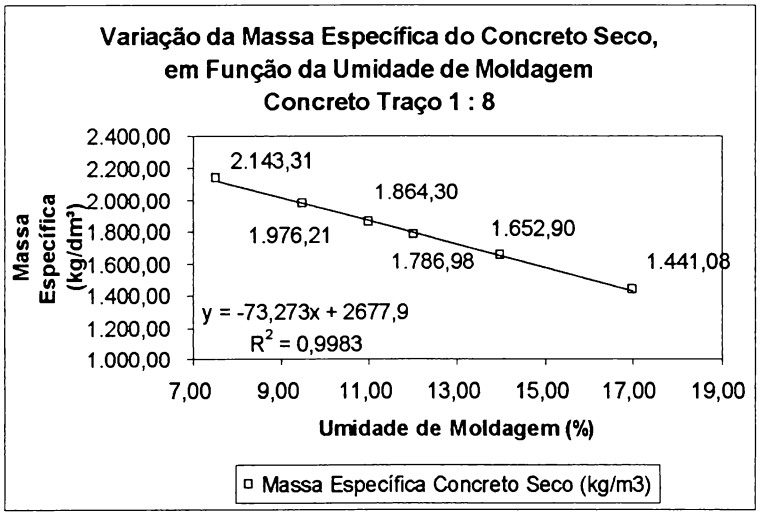
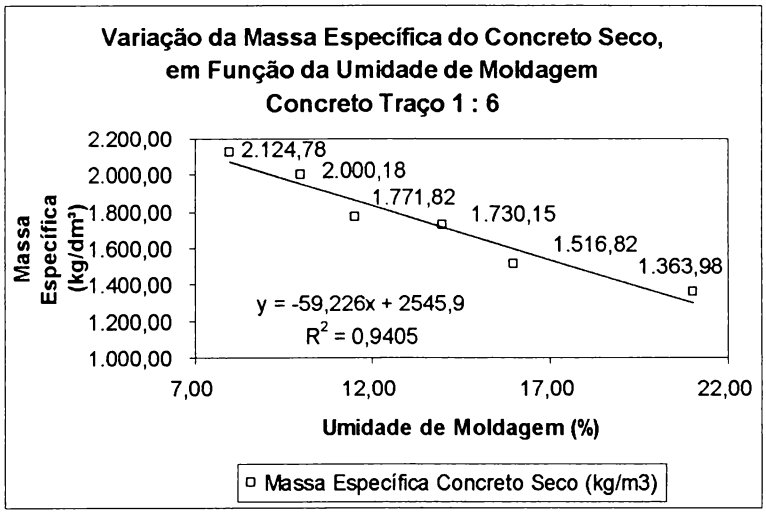


FIGURA 5.26 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DA UMIDADE DE MOLDAGEM DO CONCRETO, PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.3 Características Mecânicas e Influência das Características Físicas.

5.3.3.1 Evolução da resistência à compressão do concreto com a idade.

Para a determinação da resistência à compressão do concreto, realizaram-se ensaios aos 3, 7 e 28 dias de idade.

Todos os ensaios contaram com a preparação prévia dos corpos-de-prova cilíndricos de concreto, tais como regularização das faces por capeamento com enxofre, determinação das dimensões dos corpos-de-prova e adequação da velocidade de carregamento da máquina de ensaio, conforme estipula a NBR 7.184 (1992) (Figura 5.27).

A cura dos corpos-de-prova deu-se em câmara úmida, em condições ideais de temperatura e umidade.

Os resultados individuais obtidos nos ensaios podem ser verificados no Apêndice 6, e os valores médios, para cada idade, pode ser verificado nas Tabelas 5.15 e 5.16.

FIGURA 5.27 – CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS - ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

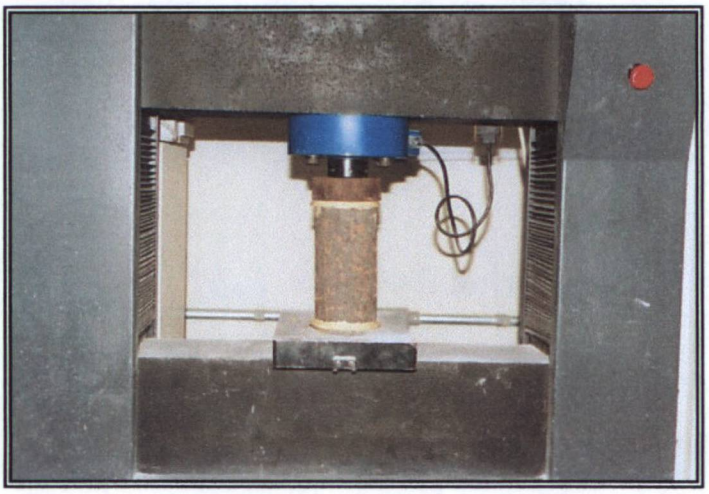


TABELA 5.15 - VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO – ENSAIOS REALIZADOS EM CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS – CONCRETO TRAÇO 1:8

Adição de PU (%)	Resistência à Compressão (MPa)		
	3 dias	7 dias	28 dias
0,0	9,51	10,49	13,35
5,0	2,16	2,75	2,81
7,5	1,08	1,52	2,11
10,0	0,79	1,15	1,64
15,0	0,46	0,79	0,88
20,0	0,19	0,25	0,37

TABELA 5.16 - VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO – ENSAIOS REALIZADOS EM CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS – CONCRETO TRAÇO 1:6

Adição de PU (%)	Resistência à Compressão (MPa)		
	3 dias	7 dias	28 dias
0,0	15,14	18,57	19,72
5,0	3,61	4,31	4,58
7,5	1,31	1,64	2,17
10,0	1,10	1,56	1,94
15,0	0,45	0,52	0,78
20,0	0,16	0,19	0,27

Para melhor ilustrar o comportamento da resistência à compressão do concreto, em função dos teores de adição da espuma rígida de poliuretano reciclado, são apresentados os gráficos constantes nas Figuras 5.28 e 5.29.

5.3.3.2 Modelos matemáticos para previsão da resistência a compressão.

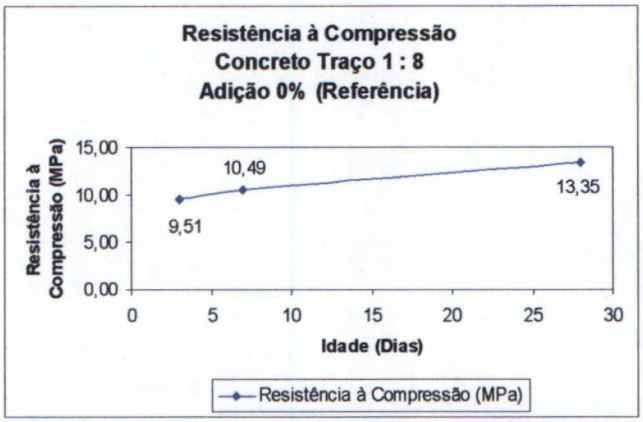
Para a determinação das equações para previsão da resistência à compressão do concreto, adotou-se o modelo proposto por CAMPITELI (2002), conforme abordado na revisão bibliográfica (Capítulo 3).

Estas equações têm validade para as características do concreto pesquisado, considerando os consumos de cimento para cada traço, tipo de cimento, relações a/c e teores de adição incorporadas, em relação a idade do concreto (*j*), em dias.

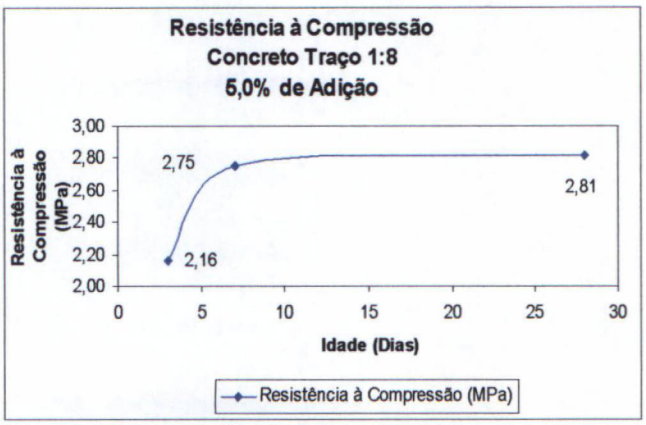
As equações determinadas para cada traço ensaiado, considerando o proporcionamento dos materiais componentes do agregado total, encontram-se apresentadas abaixo dos gráficos que representam a evolução da resistência à compressão do concreto, em função da idade, expostos nas figuras 25 e 26.

As tabelas com os cálculos de regressão, pelo método ANOVA, encontram-se elencadas no Apêndice 8.

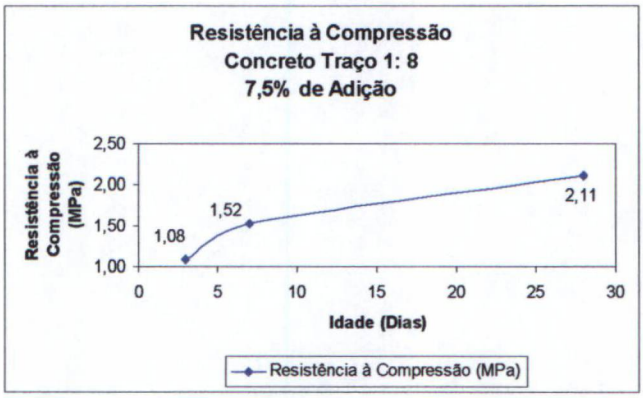
FIGURA 5.28 - GRÁFICOS E MODELOS MATEMÁTICOS QUE REPRESENTAM A EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8



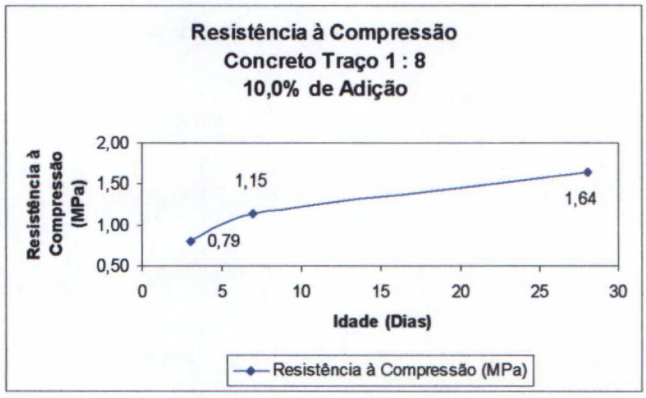
$$fcj = \frac{15{,}3310}{2{,}3865^{1/\sqrt{j}}} \qquad (50)$$



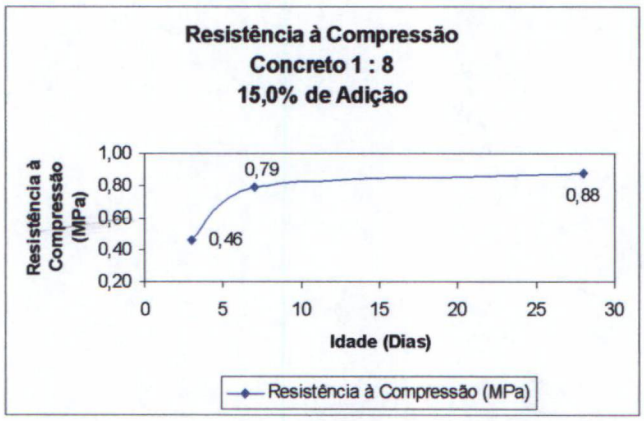
$$fcj = \frac{3{,}3153}{1{,}9784^{1/\sqrt{j}}} \qquad (51)$$



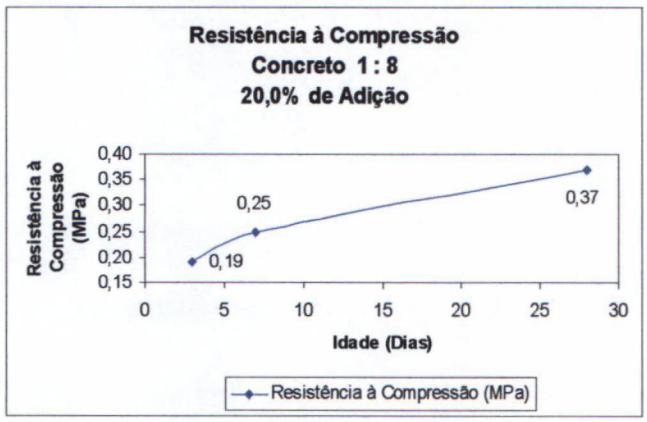
$$fcj = \frac{2{,}9208}{5{,}6090^{1/\sqrt{j}}} \qquad (52)$$



$$fcj = \frac{2{,}3403}{6{,}5585^{1/\sqrt{j}}} \qquad (53)$$

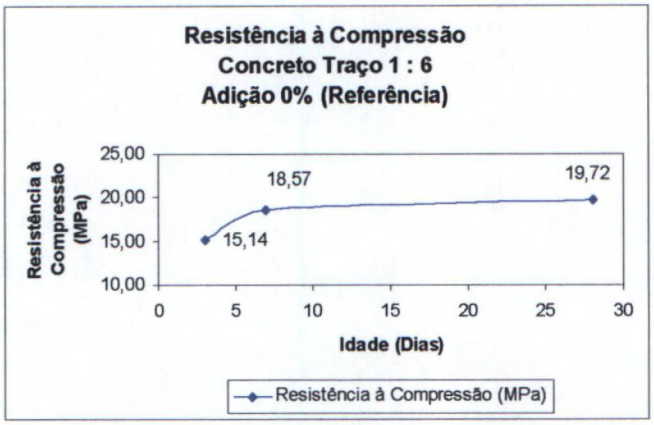


$$fcj = \frac{1{,}2979}{5{,}3648^{1/\sqrt{j}}} \qquad (54)$$

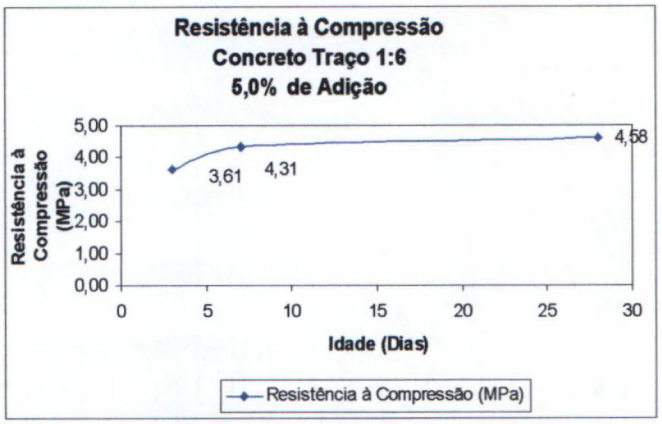


$$fcj = \frac{2{,}0011}{5{,}5455^{1/\sqrt{j}}} \qquad (55)$$

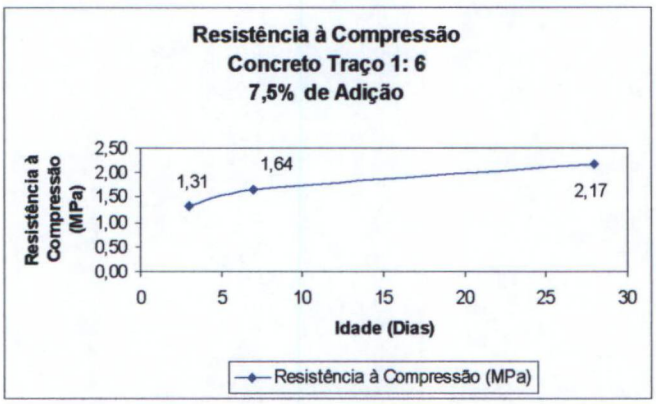
FIGURA 5.29 - GRÁFICOS E MODELOS MATEMÁTICOS QUE REPRESENTAM A EVOLUÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



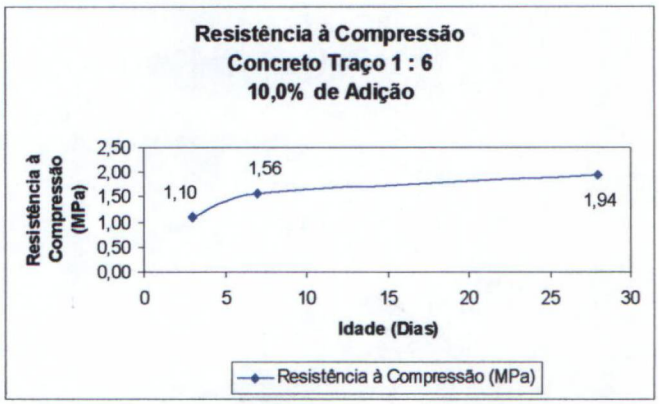
$$fcj = \frac{22,9722}{1,9811^{1/\sqrt{j}}} \quad (56)$$



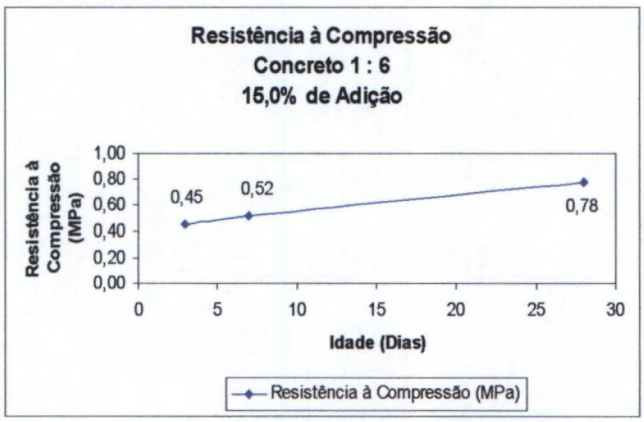
$$fcj = \frac{5,2426}{1,8503^{1/\sqrt{j}}} \quad (57)$$



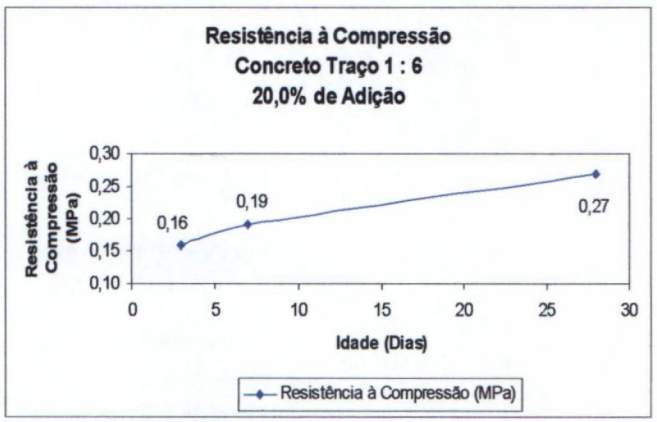
$$fcj = \frac{2,7408}{3,6618^{1/\sqrt{j}}} \quad (58)$$



$$fcj = \frac{2,6095}{4,3215^{1/\sqrt{j}}} \quad (59)$$



$$fcj = \frac{1,0296}{4,0958^{1/\sqrt{j}}} \quad (60)$$



$$fcj = \frac{2,9703}{3,8299^{1/\sqrt{j}}} \quad (61)$$

5.3.3.3 Variação da resistência à compressão do concreto em relação aos teores de adição de PU expandido reciclado

Neste item, procura-se analisar o comportamento da resistência à compressão do concreto, aos 3, 7 e 28 dias de idade, com relação aos teores de adição incorporada ao concreto.

De acordo com os ensaios realizados, verificou-se uma redução significativa da resistência à compressão do concreto, em relação aos teores de adição de espuma rígida de poliuretano reciclado.

Este comportamento se deve a baixa resistência da espuma rígida de poliuretano, de apenas 1,95 kgf/cm² (ensaios realizados pelo autor), além da perda de resistência do concreto, pelo aumento gradativo das relações a/c, devido ao aumento necessário dos teores de umidade de moldagem, que ao evaporar, proporciona um concreto poroso e frágil.

O aumento dos espaços vazios do material, introduzidos pelas dificuldades de compactação do concreto fresco, também exerce influência sobre as características de resistência do concreto.

Esta perda de resistência segue uma relação exponencial, dentro dos parâmetros do estudo, representada pelas expressões apresentadas nos gráficos expostos nas Figuras 5.30 e 5.31.

TABELA 5.17 – RELAÇÕES QUE REPRESENTAM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DA IDADE E TEORES DE ADIÇÃO

Idade do Concreto (Dias)	Traço 1 : 8	Traço 1 : 6
3	$y = 6{,}5736\, e^{-0{,}1874\, x}$ (62)	$y = 10{,}88\, e^{-0{,}2189\, x}$ (65)
7	$y = 8{,}1222\, e^{-0{,}1763\, x}$ (63)	$y = 13{,}713\, e^{-0{,}2209\, x}$ (66)
28	$y = 8{,}8996\, e^{-0{,}635\, x}$ (64)	$y = 14{,}56\, e^{-0{,}2032\, x}$ (67)

FIGURA 5.30 - GRÁFICOS QUE REPRESENTAM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO E IDADE DO CONCRETO

CONCRETO TRAÇO 1:8

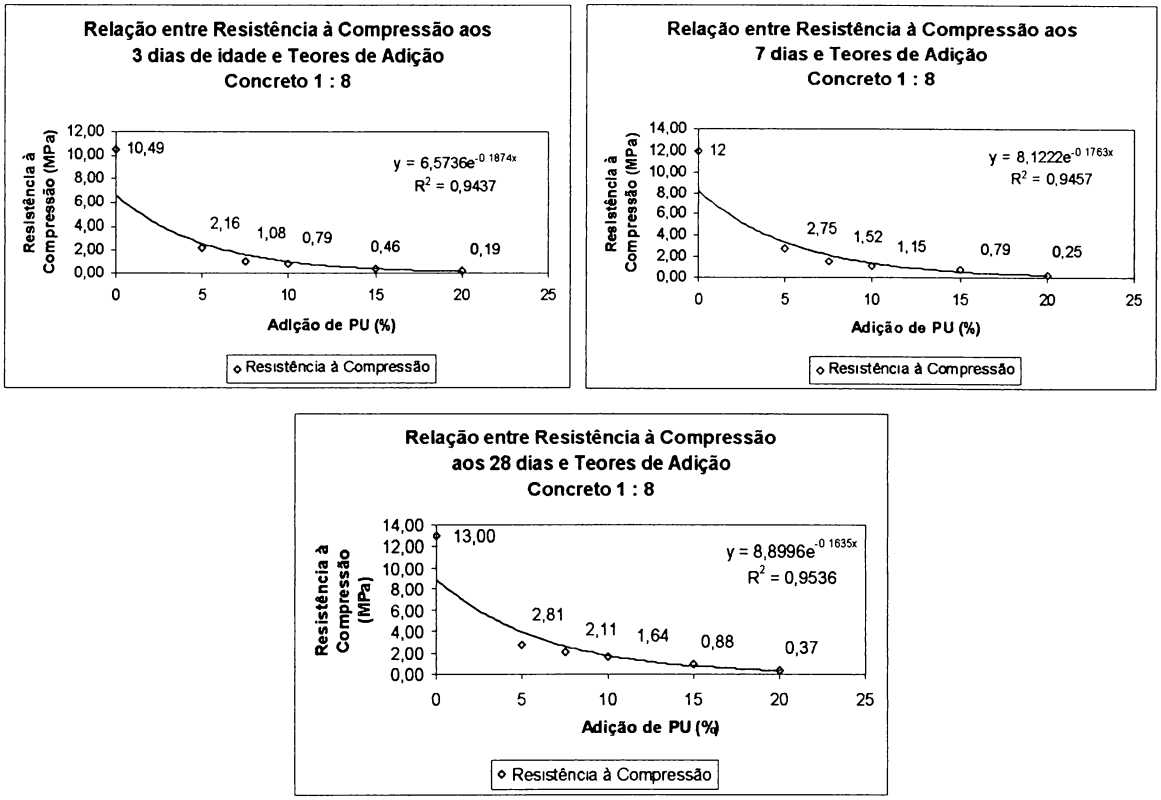
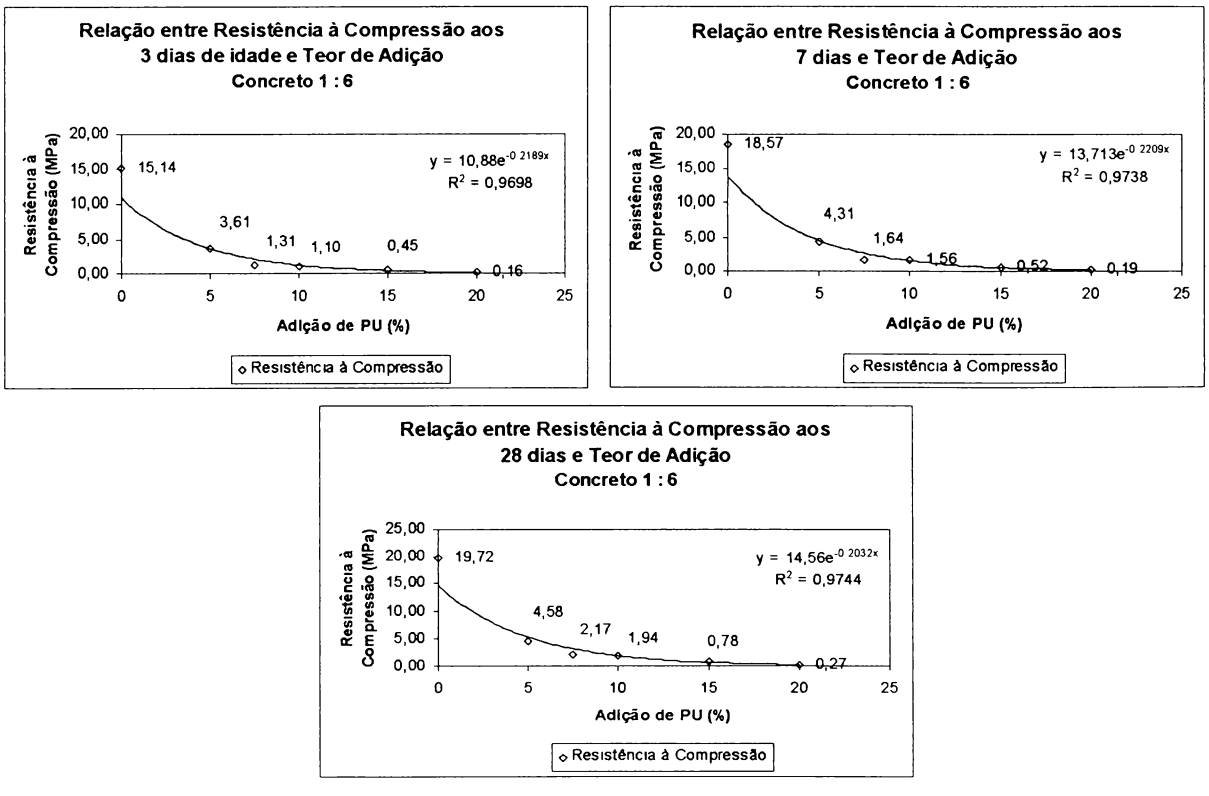


FIGURA 5.31 - GRÁFICOS QUE REPRESENTAM A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO E IDADE DO CONCRETO

CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.3.4 Resistência à compressão do concreto, aos 28 dias, em função da massa específica do concreto endurecido

Para esta determinação tomou-se como referência o concreto com 28 dias de idade e comparou-se com a massa específica do concreto no estado endurecido.

Verificou-se uma queda acentuada dos valores de resistência à compressão em relação à diminuição da massa específica do concreto, para os diversos teores de adição incorporados ao concreto, conforme pode ser verificado na Tabela 5.18.

TABELA 5.18 - VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Massa Específica Concreto Seco (kg/dm³)	Resistência à Compressão (28 Dias) (MPa)	Massa Específica Concreto Seco (kg/dm³)	Resistência à Compressão (28 Dias) (MPa)
0,0	2.143,31	13,35	2.124,78	19,72
5,0	1.976,21	2,81	2.000,18	4,58
7,5	1.864,30	2,11	1,771,82	2,17
10,0	1.786,98	1,64	1.730,15	1,94
15,0	1.652,90	0,88	1.516,82	0,78
20,0	1.441,08	0,37	1.363,98	0,27

Este comportamento pode ser explicado pela existência concomitante dos seguintes fatores:

- inclusão de material de baixa resistência e baixa massa específica, aumento do índice de vazios do concreto, em função da evaporação da água em excesso (umidade de moldagem) necessária para produção do concreto, incidência de vazios proporcionados pela dificuldade de compactação do concreto com adição e alteração da relação a/c, em função do incremento de água de amassamento, para cada teor de adição testada.

A variação da resistência à compressão do concreto, em função da variação da massa específica do concreto endurecido, verificada para os diversos teores de adição de PU expandido reciclado testados, segue uma relação exponencial, dada pelas seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 0{,}0003e^{-0{,}0048x}$; (68)
- concreto traço 1:6 - $y = 0{,}0003e^{-0{,}0051x}$; (69)

O comportamento da resistência à compressão em relação à variação da massa específica do concreto, pode ser verificada nos gráficos apresentados nas Figuras 5.32 e 5.33.

FIGURA 5.32 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

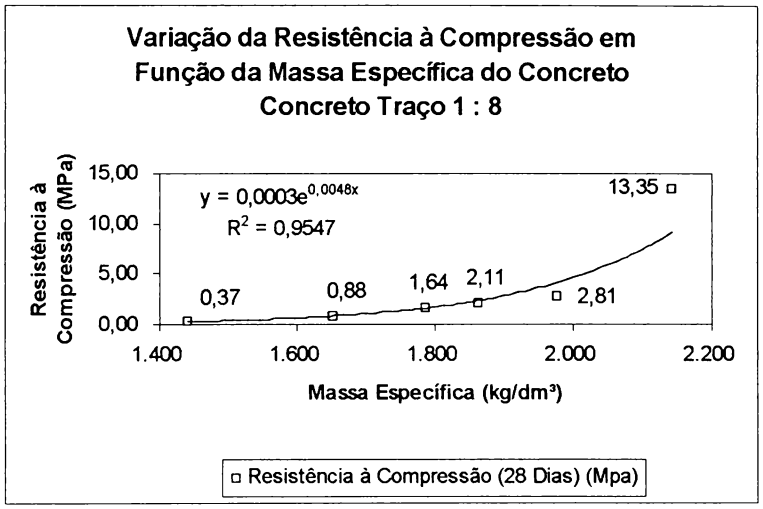
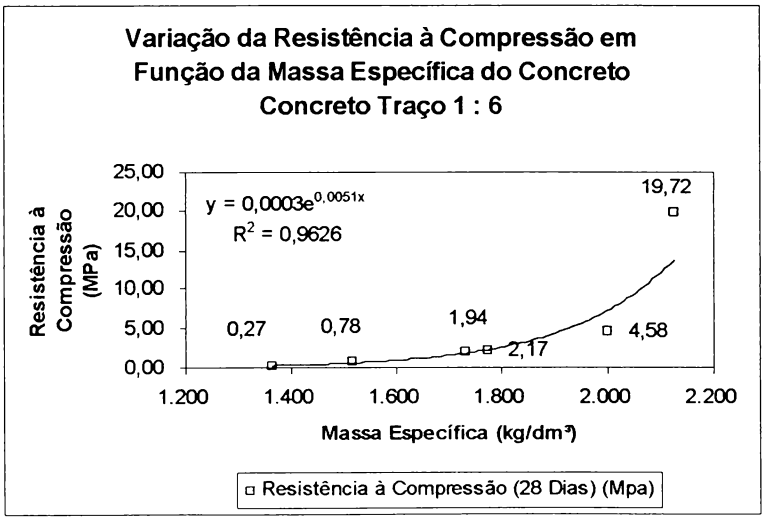


FIGURA 5.33 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.3.5 Resistência à compressão do concreto, em relação à absorção de água

Verificou-se uma redução significativa nos valores da resistência à compressão do concreto, com 28 dias de idade, em detrimento de um aumento gradativo dos valores de absorção de água co concreto, verificados para os diversos teores de adição testados.

Os valores de resistência à compressão e da absorção de água, do concreto produzido a partir dos dois traços ensaiados, em função da alteração das quantidades de adição de PU expandido reciclado, são apresentados na Tabela 5.19.

TABELA 5.19 - VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DA ABSORÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Resistência à Compressão (28 Dias) (MPa)	Absorção por Imersão (%)	Resistência à Compressão (28 Dias) (MPa)	Absorção por Imersão (%)
0,0	13,35	7,73	19,72	6,60
5,0	2,81	9,92	4,58	8,90
7,5	2,11	11,60	2,17	11,46
10,0	1,64	12,60	1,94	12,77
15,0	0,88	14,83	0,78	16,42
20,0	0,37	19,31	0,27	19,49

A perda de resistência à compressão em função da variação da absorção do concreto pode ser explicada de forma análoga ao comportamento frente à variação da massa específica do concreto, ou seja, pelo aumento considerável do índice de vazios, que são preenchidos pela água, na determinação dos valores da absorção.

Esta variação apresenta, para os limites impostos na pesquisa, uma relação exponencial, representada pelas seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 68{,}991e^{-0{,}285x}$; (70)
- concreto traço 1:6 - $y = 96{,}567e^{-0{,}3053x}$; (71)

Como o limite imposto pelas especificações técnicas para blocos de concreto para alvenaria estrutural, NBR 6.163 (1994) e sem função estrutural, NBR 7.173 (1982), é de 10,0% (dez por cento), verifica-se a viabilidade de produção de blocos de concreto, com até 5,0% de adição incorporada.

Para melhor ilustração da variação da resistência à compressão em relação à massa específica do concreto, considerando os diversos teores de adição, é apresentado os gráficos constantes das Figuras 5.34 e 5.35.

FIGURA 5.34 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA ABSORÇÃO DO CONCRETO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

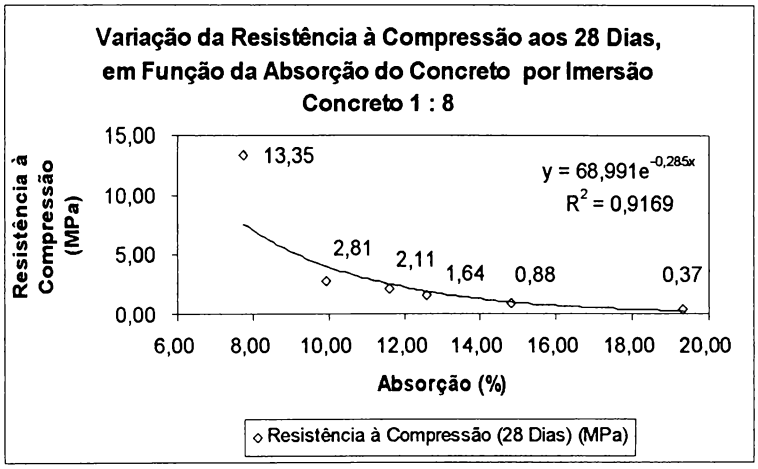
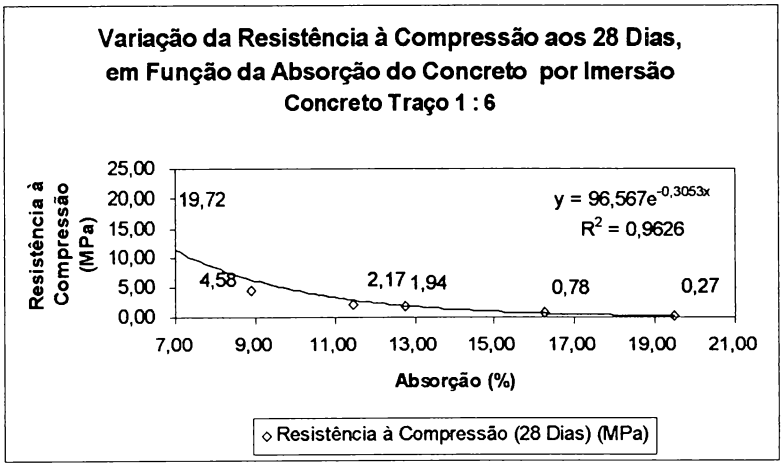


FIGURA 5.35 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA ABSORÇÃO DO CONCRETO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.3.6 Resistência à compressão do concreto, em relação ao índice de vazios

Em relação ao índice de vazios, determinado para o concreto com teores de adição variando entre 0,0% a 20,0%, a resistência à compressão apresenta o comportamento exposto na Tabela 5.20.

TABELA 5.20 - VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Resistência à Compressão (28 Dias) (MPa)	Índice de Vazios (%)	Resistência à Compressão (28 Dias) (MPa)	Índice de Vazios (%)
0,0	13,35	16,13	19,72	14,02
5,0	2,81	19,61	4,58	17,79
7,5	2,11	21,63	2,17	20,29
10,0	1,64	22,52	1,94	22,09
15,0	0,88	24,50	0,78	24,61
20,0	0,37	27,76	0,27	26,58

Como pode ser verificado, há uma relação inversamente proporcional entre a resistência à compressão do concreto, considerada aos 28 dias de idade, e o índice de vazios do concreto, determinado para os diversos teores de adição de espuma rígida de poliuretano expandido reciclado.

A explicação para tal variação, análoga ao comportamento frente à absorção e à massa específica do concreto no estado endurecido, uma vez que estas características físicas do concreto são correlacionadas, deve-se à inclusão de material de baixa resistência e baixa massa específica ao concreto, aliada às alterações significativas da relação a/c, em virtude do aumento considerável dos teores de umidade de moldagem, verificados para possibilitar a incorporação de material adicionado e dos agregados, pela pasta de cimento.

Além do exposto, deve-se considerar também, um incremento considerável no índice de vazios do concreto, em função das condições de compactação do concreto fresco.

Este comportamento segue uma relação de potência, representada dentro dos parâmetros da pesquisa, pelas seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 7E + 0{,}8x^{-6{,}3398}$; (72)
- concreto traço 1:6 - $y = 3E + 0{,}8x^{-6{,}2065}$; (73)

Os gráficos apresentados nas Figuras 5.36 e 5.37, ilustram a relação entre a resistência à compressão e índice de vazios do concreto.

FIGURA 5.36 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

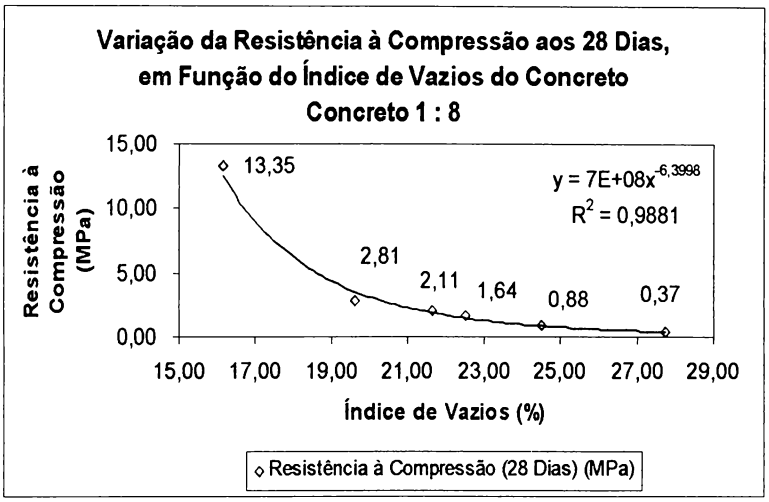
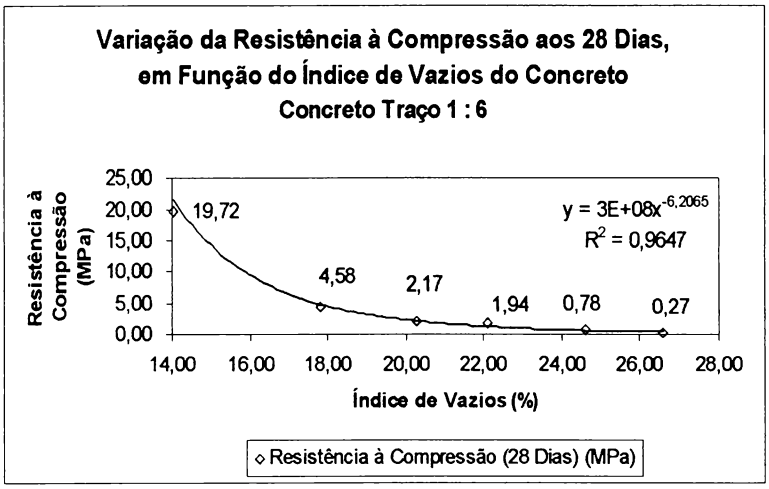


FIGURA 5.37 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.3.7 Resistência à compressão do concreto, em função da variação da relação a/c

Conforme verificado na revisão bibliográfica (Capítulo 3), a relação a/c influencia diretamente nas características mecânicas do concreto.

No caso do experimento realizado, verificou-se a necessidade de incrementar os teores de umidade de moldagem, quando da produção do concreto incorporando os teores de adição da espuma rígida de poliuretano expandido reciclado, atingindo valores acima do dobro dos verificados para o concreto de referência, para ambos traços ensaiados, sem aumento da quantidade de cimento do traço, o que concorre para alterações significativas das relações a/c.

Nas Tabelas 5.21 e 5.22, apresentam-se os valores de umidade de moldagem, resistência à compressão aos 28 dias de idade do concreto e as relações a/c, para os diversos teores de adição incorporados aos traços estudados.

TABELA 5.21 - VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS, UMIDADES DE MOLDAGEM E RELAÇÕES A/C – CONCRETO TRAÇO 1:8

Adição PU (%)	Umidade de Moldagem (%)	Relação A/C	Resistência à Compressão (28 Dias) (MPa)
0,0	8,0	0,645	13,35
5,0	9,5	0,766	2,81
7,5	11,0	0,887	2,11
10,0	12,0	0,967	1,64
15,0	14,0	1,129	0,88
20,0	17,0	1,370	0,37

TABELA 5.22 - VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS, UMIDADES DE MOLDAGEM E RELAÇÕES A/C – CONCRETO TRAÇO 1:6

Adição PU (%)	Umidade de Moldagem (%)	Relação A/C	Resistência à Compressão (28 Dias) (MPa)
0,0	8,0	0,484	19,72
5,0	10,0	0,604	4,58
7,5	11,5	0,695	2,17
10,0	14,0	0,846	1,94
15,0	16,0	0,967	0,78
20,0	21,0	1,269	0,27

Como pode ser percebida, a relação entre a resistência à compressão do concreto e a relação a/c, é inversamente proporcional, e a explicação para tal comportamento, além do aumento gradativo dos teores de umidade de moldagem, experimentado para os teores de adição, deve-se também à baixa resistência da espuma rígida de PU reciclado e do aumento do índice de vazios do concreto, devido à evaporação do excesso de água de amassamento da mistura e das dificuldades de compactação do concreto fresco, a partir de certos teores de adição (acima de 10%).

Este comportamento pode ser representado, dentro dos limites da pesquisa, por uma relação exponencial, representada pelas seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 130{,}94e^{-4{,}428x}$; (74)
- concreto traço 1:6 - $y = 120{,}04e^{-5{,}0039x}$; (75)

As relações entre resistência à compressão do concreto, aos 28 dias de idade e relação a/c, determinados para cada teor de adição, podem ser observadas nos gráficos apresentados nas Figuras 3.38 e 3.39.

FIGURA 5.38 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO A/C DO CONCRETO, DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

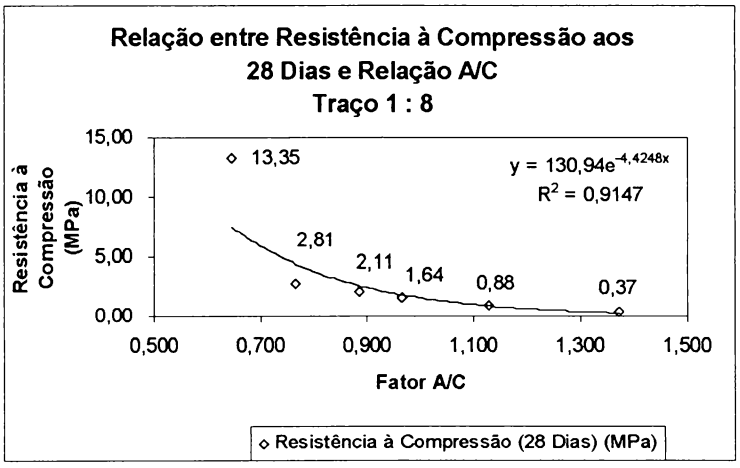
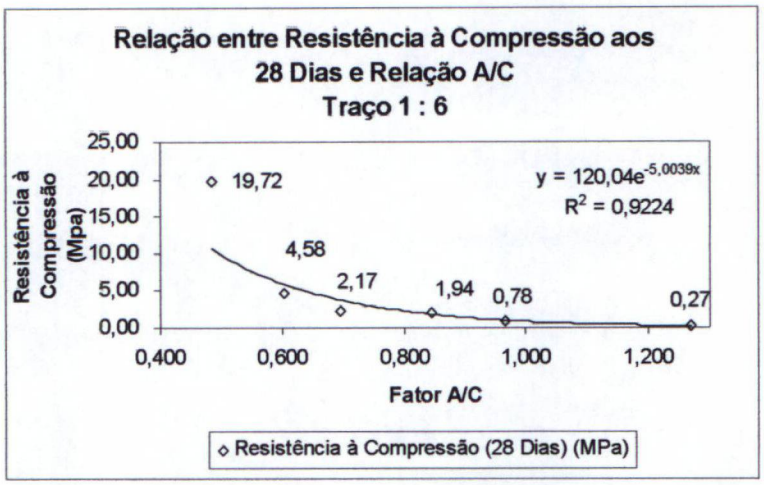


FIGURA 5.39 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO A/C DO CONCRETO, DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6

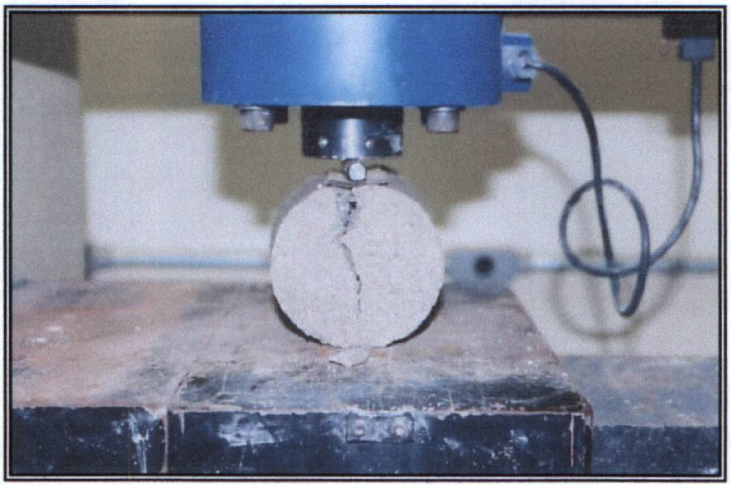


5.3.3.8 Resistência à tração em relação aos teores de adição

Para determinação da resistência à tração concreto, realizaram-se ensaios aos 28 dias de idade.

A resistência à tração do concreto foi determinada por compressão diametral dos corpos-de-prova cilíndricos de Ø = 100 mm, conforme estipula a NBR 7.222 (1994) (Figura 5.40).

FIGURA 5.40 – CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL



A cura dos corpos-de-prova deu-se em câmara úmida, em condições ideais de temperatura e umidade.

Os resultados individuais obtidos nos ensaios podem ser verificados no Apêndice 6, deste trabalho, e os valores médios, para cada idade, pode ser verificado na Tabela 5.23.

TABELA 5.23 - VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO

Adição de PU (%)	Resistência à Tração aos 28 Dias (MPa)	
Traço	1 : 8	1 : 6
0,0	1,48	1,97
5,0	0,33	0,56
7,5	0,30	0,44
10,0	0,27	0,38
15,0	0,19	0,14
20,0	0,10	0,08

A resistência à tração do concreto, determinada por compressão diametral em corpos-de-prova cilíndricos de Ø = 100 mm, moldados de acordo com o método descrito no Apêndice 1, apresentam uma redução significativa em função dos teores de adição testados.

De maneira análoga ao comportamento da resistência à compressão, frente aos teores de adição, a queda de resistência à tração, deve-se à baixa resistência do material adicionado, e as alterações, significativas, das relações a/c das misturas, em função dos incrementos de água de amassamento (umidades de moldagem), necessários para permitir a molhagem da área superficial dos agregados e da adição.

Além do exposto, o aumento dos vazios do concreto, proporcionado pelas dificuldades de compactação da mistura fresca, também influenciaram diretamente na redução da resistência à tração do concreto.

A relação entre resistência à tração do concreto, aos 28 dias de idade e das relações a/c, referentes a cada teor de adição incorporada ao concreto, pode ser verificada nos gráficos apresentados nas Figuras 5.41 e 5.42.

FIGURA 5.41 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO A/C E DOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

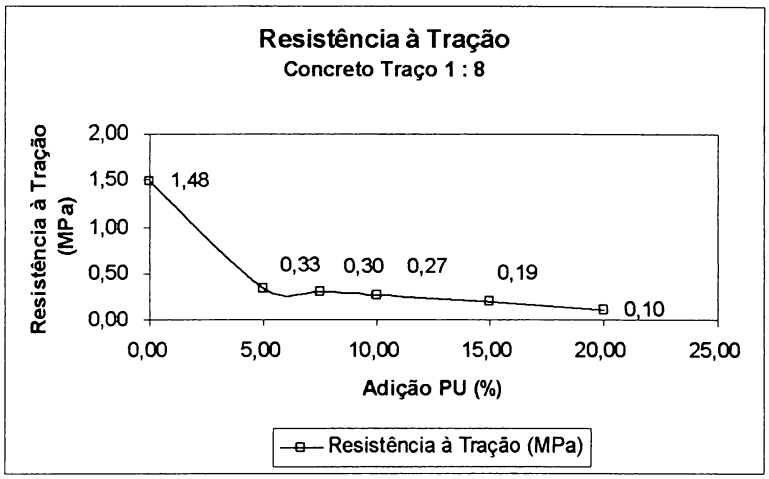
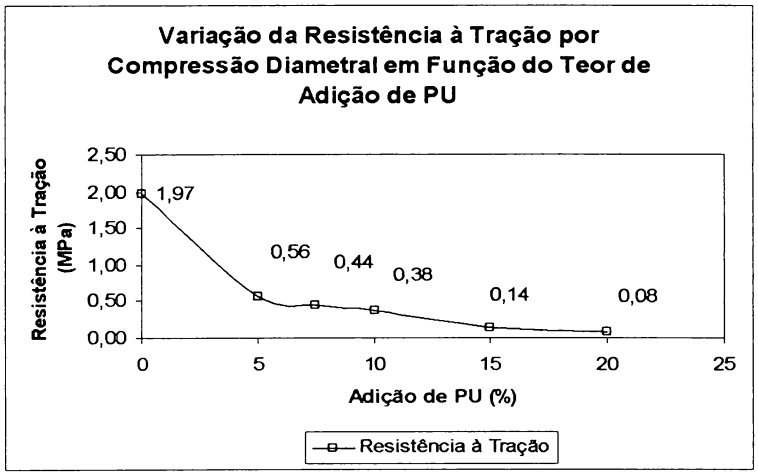


FIGURA 5.42 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO A/C E DOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.3.9 Resistência à tração em relação à massa específica do concreto endurecido

A correlação existente entre a resistência à tração do concreto, moldado conforme a técnica apresentada no Apêndice 1, para os vários teores de adição de espuma rígida de poliuretano reciclado, pode ser verificada na Tabela 5.24.

TABELA 5.24 - VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Massa Específica Concreto Seco (kg/dm³)	Resistência à Tração (28 Dias) (MPa)	Massa Específica Concreto Seco (kg/dm³)	Resistência à Tração (28 Dias) (MPa)
0,0	2.143,31	1,48	2.124,78	1,97
5,0	1.976,21	0,33	2.000,18	0,56
7,5	1.864,30	0,30	1,771,82	0,44
10,0	1.786,98	0,27	1.730,15	0,38
15,0	1.652,90	0,19	1.516,82	0,14
20,0	1.441,08	0,10	1.363,98	0,08

Como observado para os traços de concreto estudados, os valores da resistência à tração diminuem, com a redução dos valores da massa específica do concreto no estado endurecido.

Este comportamento pode ser explicado, de maneira análoga à perda de resistência à compressão, pela presença de maiores índices de vazios do concreto, para cada teor de adição incorporado, além da massa específica muito baixa do material adicionado.

A variação da resistência à tração do concreto com adição de espuma rígida de PU reciclado, em função dos valores determinados para a massa específica do concreto, no estado endurecido, segue uma relação exponencial, representada pelas seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 0{,}0007e^{0{,}0034x}$; (76)
- concreto traço 1:6 - $y = 0{,}0005e^{0{,}0038x}$; (77)

Estas relações podem ser verificadas a partir dos gráficos apresentados nas Figuras 5.43 e 5.44.

FIGURA 5.43 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

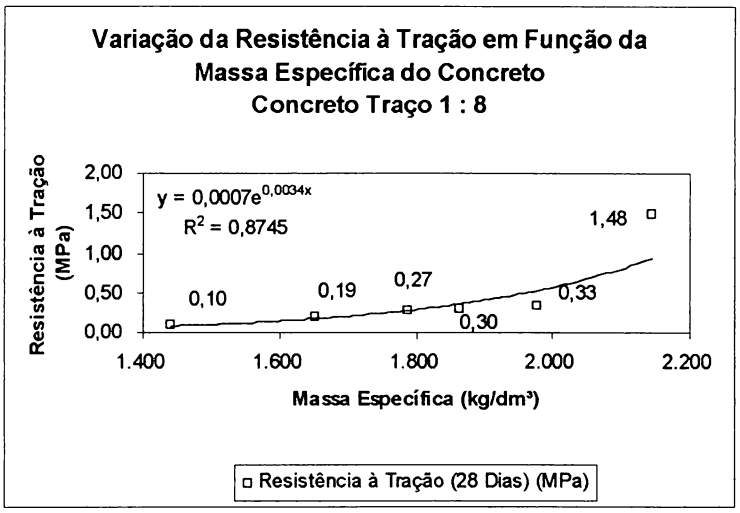
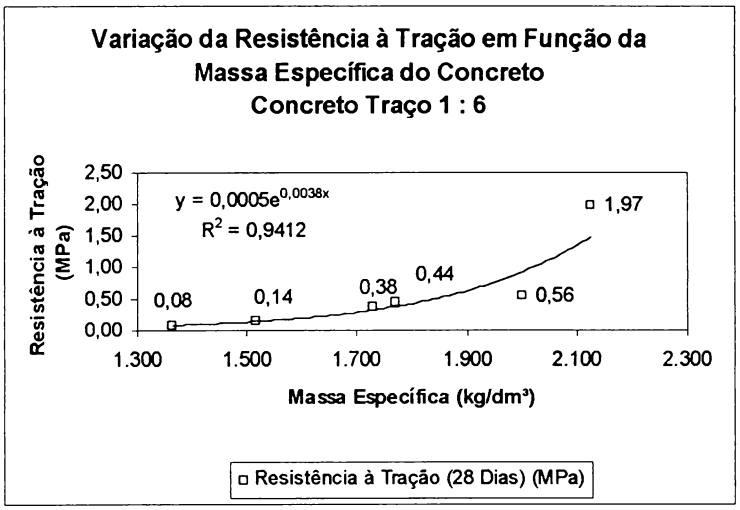


FIGURA 5.44 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.3.10 Resistência à tração em relação a absorção do concreto, verificada para os diversos teores de adição

Os valores determinados para a resistência à tração e para a absorção de água, do concreto, encontram-se apresentados na Tabela 5.25.

TABELA 5.25 - VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DA ABSORÇÃO DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Resistência à Tração (28 Dias) (MPa)	Absorção por Imersão (%)	Resistência à Tração (28 Dias) (MPa)	Absorção por Imersão (%)
0,0	1,48	7,73	1,97	6,60
5,0	0,33	9,92	0,56	8,90
7,5	0,30	11,60	0,44	11,46
10,0	0,27	12,60	0,38	12,77
15,0	0,19	14,83	0,14	16,42
20,0	0,10	19,31	0,08	19,49

Conforme os valores expostos na Tabela 5.25, percebe-se que a resistência à tração do concreto reduz em consequência do aumento dos valores de absorção de água do concreto.

A relação entre resistência à tração do concreto e absorção de água, para cada traço de concreto ensaiado, pode ser representada pelas seguintes expressões exponenciais:

- concreto traço 1:8 - $y = 3{,}8238e^{-0{,}2006x}$; (78)
- concreto traço 1:6 - $y = 6{,}5517e^{-0{,}2314x}$; (79)

Nas Figuras 5.45 e 5.46, apresentam-se gráficos que ilustram este comportamento do concreto.

FIGURA 5.45 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA ABSORÇÃO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

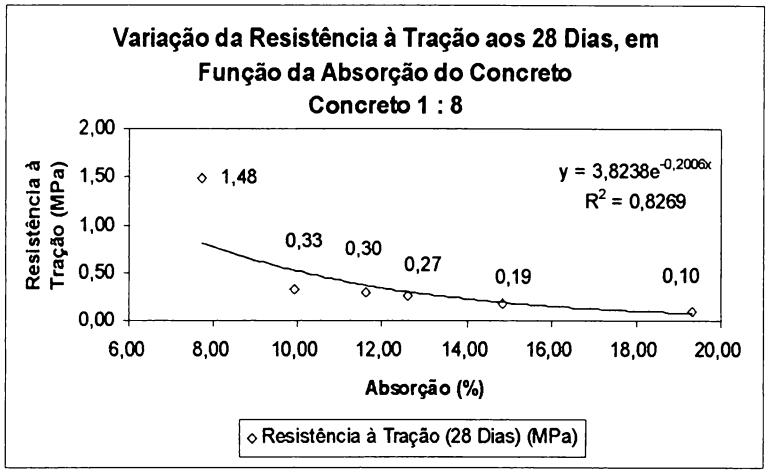
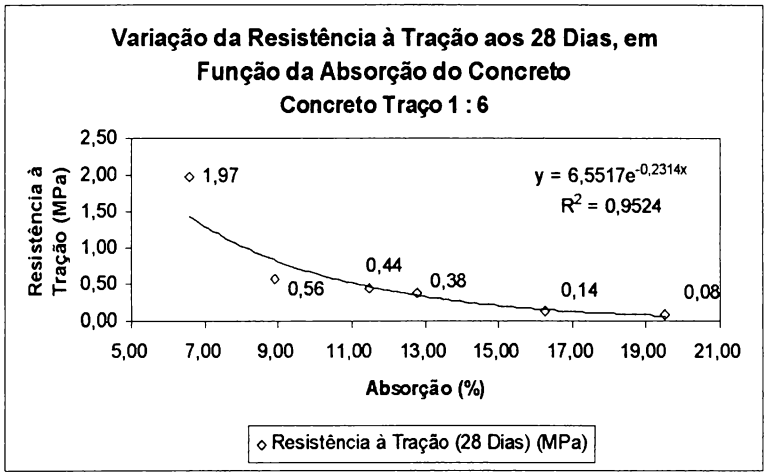


FIGURA 5.46 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DA ABSORÇÃO DETERMINADA PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.3.11 Resistência à tração em relação ao índice de vazios do concreto, determinado para o concreto com os vários teores de adição

Os valores de resistência à tração e do índice de vazios, do concreto produzido a partir dos dois traços ensaiados, em função da alteração das quantidades de adição de PU expandido reciclado, são apresentados na Tabela 5.26.

TABELA 5.26 - VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Resistência à Tração (28 Dias) (MPa)	Índice de Vazios (%)	Resistência à Tração (28 Dias) (MPa)	Índice de Vazios (%)
0,0	1,48	16,13	1,97	14,02
5,0	0,33	19,61	0,56	17,79
7,5	0,30	21,63	0,44	20,29
10,0	0,27	22,52	0,38	22,09
15,0	0,19	24,50	0,14	24,61
20,0	0,10	27,76	0,08	26,58

A tendência de queda de valores da resistência à tração do concreto, em conseqüência do aumento do índice de vazios, pode ser explicada, de maneira análoga as demais variações da resistência à tração do concreto em função de suas características físicas, pelo baixo valor da massa específica do material incorporado, além do incremento do índice de vazios do material.

Esta relação pode ser representada pelas seguintes expressões exponenciais:

- concreto traço 1:8 - $y = 33{,}615e^{-0{,}214x}$; (80)
- concreto traço 1:6 - $y = 53{,}951e^{-0{,}2402x}$; (81)

Os gráficos apresentados nas Figuras 5.47 e 5.48, demonstram este comportamento dos concretos ensaiados.

FIGURA 5.47 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

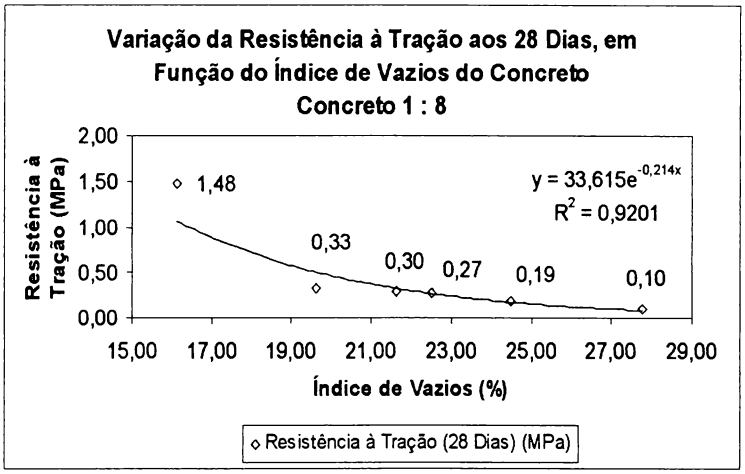
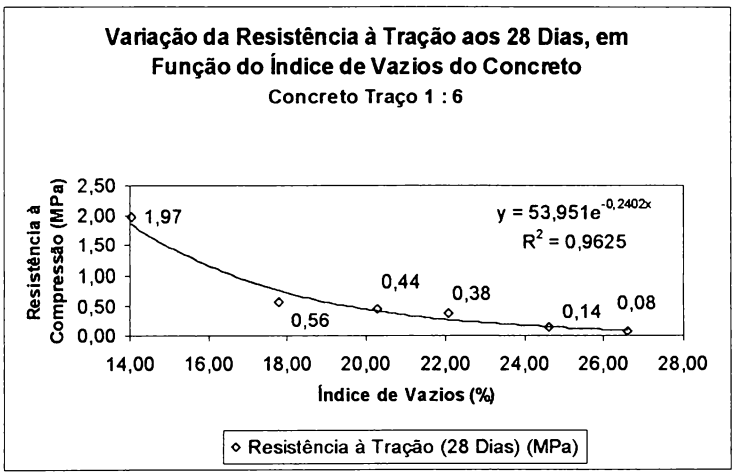


FIGURA 5.48 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DO ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO, DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.3.12 Resistência à tração do concreto em função das relações a/c, determinados com as umidades de moldagem para cada teor de adição

Como verificado na revisão bibliográfica (Capítulo 3), apesar da variação necessária da umidade de moldagem, para cada teor de adição incorporada, o consumo de cimento do traço permaneceu inalterado.

Em função disto, as relações a/c, sofreram grandes alterações em relação ao estabelecido para o concreto de referência (sem adição).

Os valores determinados no programa experimental, com corpos-de-prova cilíndricos, moldados de acordo com a técnica descrita no Apêndice 1, podem ser verificados na Tabela 5.27.

TABELA 5.27 - VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS E DAS RELAÇÕES A/C, DETERMINADOS PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO

Traço	1 : 8		1 : 6	
Adição PU (%)	Relação A/C	Resistência à Tração (28 Dias) (MPa)	Relação A/C	Resistência à Tração (28 Dias) (MPa)
0,0	0,645	1,48	0,484	1,97
5,0	0,766	0,33	0,604	0,56
7,5	0,887	0,30	0,695	0,44
10,0	0,967	0,27	0,846	0,38
15,0	1,129	0,19	0,967	0,14
20,0	1,370	0,10	1,269	0,08

Verifica-se um aumento nos valores das relações a/c, correspondente a quedas significativas nos valores observados para a resistência à tração do concreto.

A explicação física para este comportamento, mais uma vez, deve-se à incorporação de material com baixa resistência e devido à evaporação do excesso de água, necessária para a molhagem superficial dos grãos dos agregados e das partículas do material adicionado.

Este comportamento segue uma relação de potência, que pode ser representada, dentro dos limites do estudo, pelas seguintes expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 0{,}2426e^{-3{,}0882x}$; (82)
- concreto traço 1:6 - $y = 0{,}1574e^{-3{,}156x}$; (83)

Esta relação é ilustrada pelos gráficos apresentados nas Figuras 5.49 e 5.50.

FIGURA 5.49 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DAS RELAÇÕES A/C DO CONCRETO, DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO E UMIDADES DE MOLDAGEM – CONCRETO TRAÇO 1:8

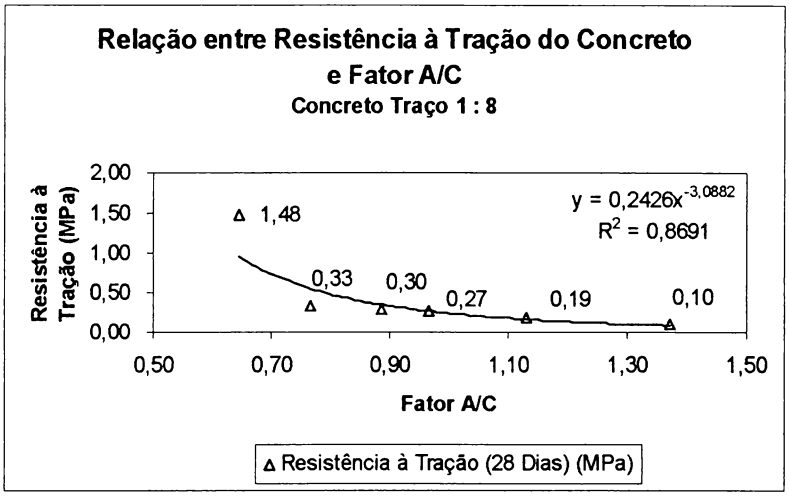
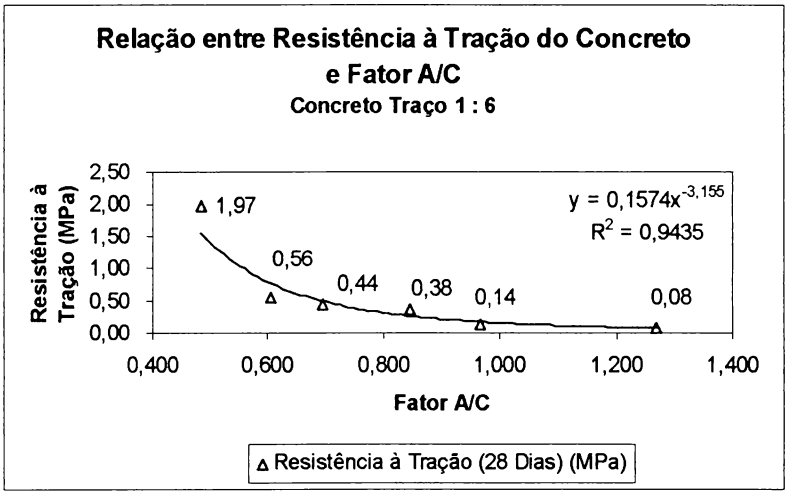


FIGURA 5.50 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO AOS 28 DIAS, EM FUNÇÃO DAS RELAÇÕES A/C DO CONCRETO, DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO E UMIDADES DE MOLDAGEM – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.3.3.13 Relação entre resistência à tração e à compressão do concreto, considerando os teores de adição

Conforme a revisão bibliográfica (Capítulo 3), SOBRAL (1983) apresenta uma relação estabelecida entre as resistências à tração, determinada por compressão diametral, e a compressão, do concreto, onde:

$$fck = \pm 0,10\, ftk \qquad (84)$$

Os valores determinados para a resistência à tração do concreto, nos dois traços ensaiados, considerando os diversos teores de adição de PU reciclado, são apresentados nas Tabelas 5.28 e 5.29.

TABELA 5.28 - VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS EM FUNÇÃO DOS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

Adição PU (%)	Resistência à Compressão (28 Dias) (MPa)	Resistência à Tração (28 Dias) (MPa)	Relação ft_{28}/fc_{28} (%)
0,0	13,35	1,48	11,09
5,0	2,81	0,33	11,63
7,5	2,11	0,30	14,06
10,0	1,64	0,27	16,46
15,0	0,88	0,19	21,59
20,0	0,37	0,10	27,03

TABELA 5.29 - VALORES DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO AOS 28 DIAS EM FUNÇÃO DOS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6

Adição PU (%)	Resistência à Compressão (28 Dias) (MPa)	Resistência à Tração (28 Dias) (MPa)	Relação ft_{28}/fc_{28} (%)
0,0	19,72	1,97	9,99
5,0	4,58	0,56	12,23
7,5	2,17	0,44	20,28
10,0	1,94	0,38	19,59
15,0	0,78	0,14	17,95
20,0	0,27	0,08	29,63

Para o concreto de referência verificam-se valores muito próximos aos apresentados por SOBRAL (1983), e um crescimento na relação ft_{28}/fc_{28}, em função do incremento dos teores de adição de espuma rígida de poliuretano reciclado ao concreto.

Como pode ser observado no Capítulo 3, a adição de alguns materiais poliméricos podem melhorar algumas características mecânicas do concreto. Neste

caso, verifica-se uma melhora considerável da resistência do concreto aos esforços de tração, comparativamente às resistências à compressão, determinadas para a mesma idade do concreto e para os mesmos teores de adição incorporada.

Conforme pode ser verificado, a relação ft_{28}/fc_{28}, que para os concretos normais, sem adição se mantém em torno de 10,0%, alcançaram índices de 27,03% à 29,63%, para teores de adição de espuma rígida de poliuretano expandido reciclado iguais a 20,0% do consumo de cimento do traço.

Apesar da melhora do desempenho do concreto à tração, a utilização de teores altos de adição fica inviabilizada tecnicamente, em função das baixas resistências à compressão verificadas (0,08 à 0,10 MPa, aos 28 dias).

Porém, para os traços ensaiados, com adição de teores de 5,0% de espuma rígida de poliuretano expandido reciclado, verifica-se aumentos discretos do desempenho frente às tensões de tração, em relação à resistência do concreto à compressão (11,63% à 12,63%), mantendo à resistência à compressão, em valores nos quais o material pode ser destinado à finalidade estrutural (4,58 MPa), ou não estrutural (2,81 MPa).

O incremento da relação ft_{28}/fc_{28}, para os parâmetros impostos pelo trabalho desenvolvido em laboratório, segue uma tendência linear, que pode ser representada pelas expressões:

- concreto traço 1:8 - $y = 0{,}8484x + 8{,}8455$; (85)
- concreto traço 1:6 – $y = 0{,}0086x + 0{,}1002$; (86)

Este comportamento pode ser observado nos gráficos apresentados nas Figuras 5.51 e 5.52.

FIGURA 5.51 - VARIAÇÃO DA RELAÇÃO FT_{28}/FC_{28}, DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:8

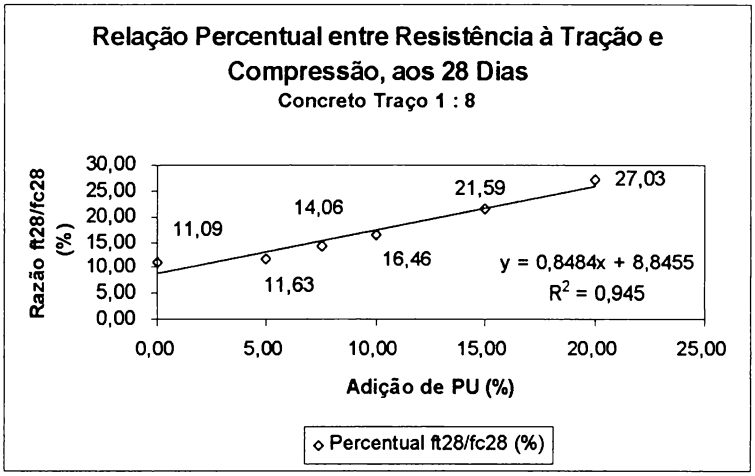
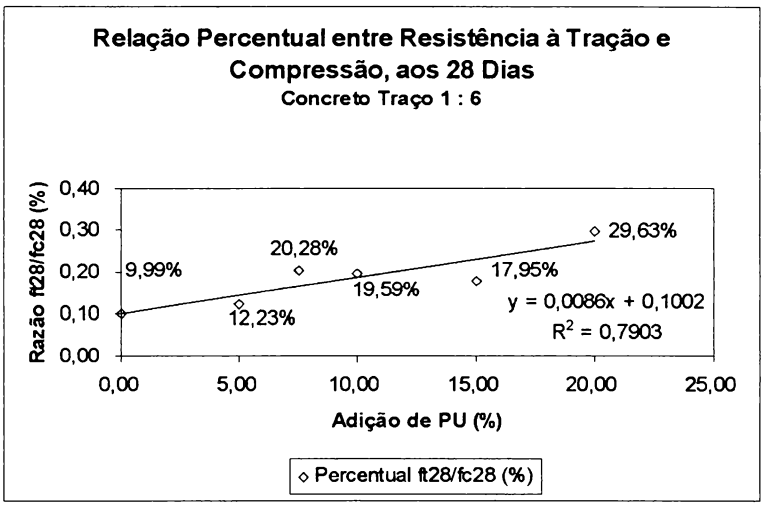


FIGURA 5.52 - VARIAÇÃO DA RELAÇÃO FT_{28}/FC_{28}, DETERMINADO PARA OS DIVERSOS TEORES DE ADIÇÃO – CONCRETO TRAÇO 1:6



5.4 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE ADIÇÃO VIÁVEIS TECNICAMENTE

Após a série de análises e comparações dos resultados determinados com os ensaios dos corpos-de-prova cilíndricos de concreto, e dos parâmetros impostos pelas normas brasileiras NBR 6.136 (1994) – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Estrutural e NBR 7.173 (1982) – Blocos Vazados de Concreto Simples para Alvenaria Sem Função Estrutural, verificou-se a possibilidade da

utilização de adição de espuma rígida de poliuretano expandido reciclado, pulverizada e com granulometria com dimensão máxima = 4,8 mm, até teores de 5,0% (cinco por cento).

Tal escolha se fez, em virtude dos parâmetros apresentados na Tabela 5.30.

TABELA 5.30 - COMPARAÇÃO ENTRE VALORES MÍNIMOS ESTABELECIDOS PELAS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS NBR 6.136 (1994) E NBR 7.173 (1982) E VALORES DETERMINADOS NOS ENSAIOS COM CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS, COM ADIÇÃO DE PU = 5,0%.

Característica	Bloco	Condições Específicas	Valores Determinados com Adição = 5,0%	
			Traço 1:8	Traço 1:6
Físicas				
Absorção (%)	Estrutural	< 10 %		8,90
	Vedação	< 10 %	9,92	
Mecânicas				
Resistência à Compressão (MPa)	Estrutural Aparente	> 6,0 MPa		
	Estrutural Revestido	> 4,5 MPa		4,58
	Vedação	> 2,5 MPa	2,81	

5.5 RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS COM BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU RECICLADO

Neste item, passa-se a apresentar e analisar os resultados dos ensaios realizados com blocos de concreto produzidos com traços 1:8 e 1:6, em volume e 5,0% de adição de espuma rígida de poliuretano expandido reciclado.

5.5.1 Características Físicas dos Blocos de Concreto

Inicia-se esta apresentação, com a determinação das características físicas dos blocos produzidos, quais sejam:

d- massa específica do concreto fresco;

e- massa específica do concreto endurecido;

f- absorção de água por imersão;

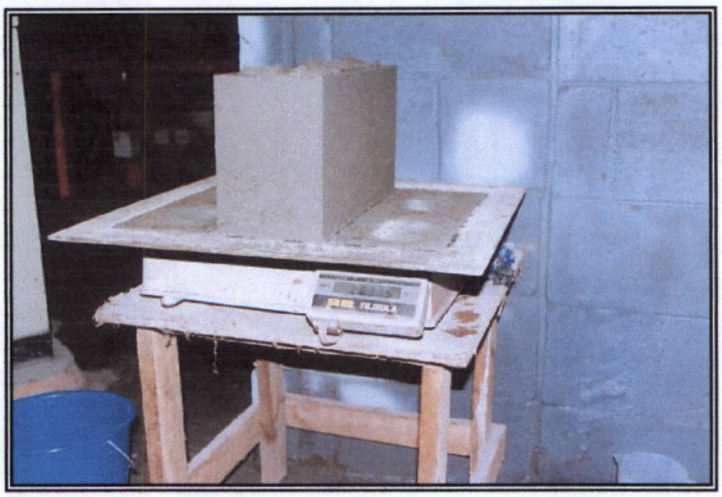
g- índice de vazios do concreto; e,

h- retração por secagem.

5.5.1.1 Massa específica dos blocos de concreto no estado fresco

Durante a produção, foram pesados 3 blocos de cada série, logo após produzidos (Figura 5.53).

FIGURA 5.53 - BLOCOS DE CONCRETO - DETERMINAÇÃO DA MASSA NO ESTADO FRESCO



Estes blocos, devidamente identificados foram levados ao Laboratório de Materiais de Construção do CEFET/PR, onde após secos, tiveram seu volume determinado, pelo método de pesagem hidrostática, conforme preconiza a NBR 9.779 (1995).

Os valores médios determinados são apresentados na Tabela 5.31.

TABELA 5.31 - BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO - VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO FRESCO

Traço em Volume	Adição de PU (%)	Massa Específica Concreto Fresco (kg/dm³)
1 : 8	5,0	**2.225,49**
1 : 6	5,0	**2.241,46**

Como pode ser verificado, os valores determinados para a massa específica do concreto fresco dos blocos, encontra-se acima da massa verificada para o concreto produzido no sistema alternativo de moldagem dos corpos-de-prova

cilíndricos, para o mesmos teores de adição (2.062,64 kg/m^3 e 2.048,83 kg/m^3, respectivamente para os traços 1:8 e 1:6).

A explicação para este fato reside na diferença do esforço de compressão proporcionado pela vibro-prensa e do sistema de contra-peso, adotado no laboratório.

5.5.1.2 Massa específica, absorção de água por imersão e índice de vazios dos blocos de concreto no estado endurecido

Das séries de blocos produzidos com a adição de poliuretano expandido reciclado, 4 corpos-de-prova foram separados e ensaiados para a determinação da massa específica no estado seco e índice de vazios do concreto, conforme a NBR 9.778 (1987), absorção de água por imersão, conforme preconiza a NBR 12.118 (1991).

Os resultados da análise de cada elemento ensaiado, consta do Apêndice 7, enquanto na Tabela 5.32, é apresentada a média dos resultados verificados para cada teor de adição.

TABELA 5.32 - BLOCOS DE CONCRETO – VALORES MÉDIOS DA MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO ENDURECIDO, ABSORÇÃO DE ÁGUA POR IMERSÃO E ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO

Traço em Volume	Adição de PU (%)	Massa Específica Endurecido Seco (kg/dm³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
1 : 8	5,0	2.089,49	6,84	14,28
1 : 6	5,0	2.129,20	6,28	13,37

5.5.1.3 Massa específica do concreto endurecido

Conforme expectativa, a massa específica do concreto endurecido, acompanhando a tendência da massa específica do concreto no estado fresco, também apresentando valores acima dos determinados para os traços de concreto produzidos com o sistema alternativo de moldagem de corpos-de-prova cilíndricos, para os mesmos teores de adição (1.976,21 kg/m^3 e 2.000,18 kg/m^3, respectivamente para o concreto traço 1:8 e 1:6).

5.5.1.4 Absorção de água

O concreto produzido na vibro-prensa, durante a produção dos blocos, também, apresentou valores de absorção de água inferiores aos determinados nos ensaios com os corpos-de-prova cilíndricos de concreto, para os mesmos teores de adição de poliuretano expandido reciclado (9,92% e 8,90%, respectivamente para os traços 1:8 e 1:6, com 5,0% de adição de PU).

A explicação para tal fenômeno se fundamenta no esforço de compressão transmitido ao concreto, durante a fabricação dos blocos na vibro-prensa, notadamente maior que o esforço proporcionado pela massa de 10,0 kg, utilizado no sistema alternativo, para moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos de concreto.

Como o concreto produzido na fabricação dos blocos, é mais compacto, obviamente apresenta menores índices de vazios e, conseqüentemente, menores teores de absorção de água.

5.5.1.5 Índice de vazios do concreto

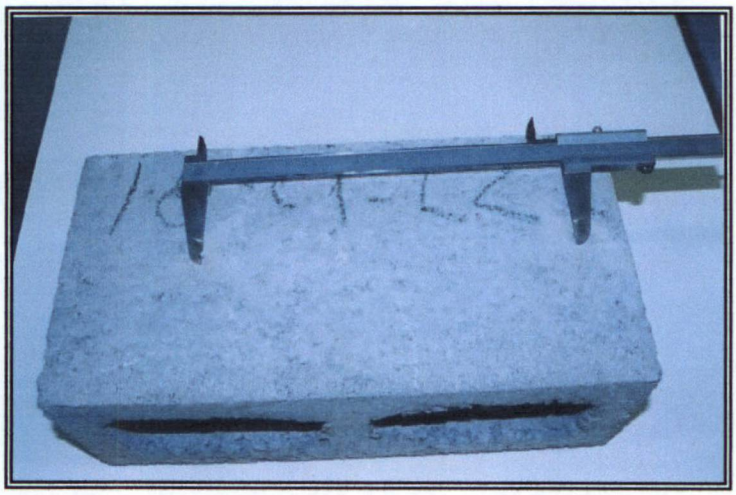
Da mesma forma que as demais características físicas do concreto dos blocos produzidos na vibro-prensa, em virtude do maior grau de compactação do material, o índice de vazios determinado para os blocos de concreto, apresentam

valores inferiores que os determinados com os corpos-de-prova cilíndricos (19,61% e 17,79%, respectivamente para os traços 1:8 e 1:6, com 5,0% de adição de PU).

5.5.1.6 Retração por secagem

Para a determinação dessa característica dos blocos produzidos com os traços de concreto com adição de 5,0% de PU reciclado, procedeu-se conforme indica a NBR 12.117 (1991) (Figura 5.54).

FIGURA 5.54 - BLOCOS DE CONCRETO - ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM



Os resultados determinados são apresentados na Tabela 5.33 e nos gráficos constantes da Figura 5.55.

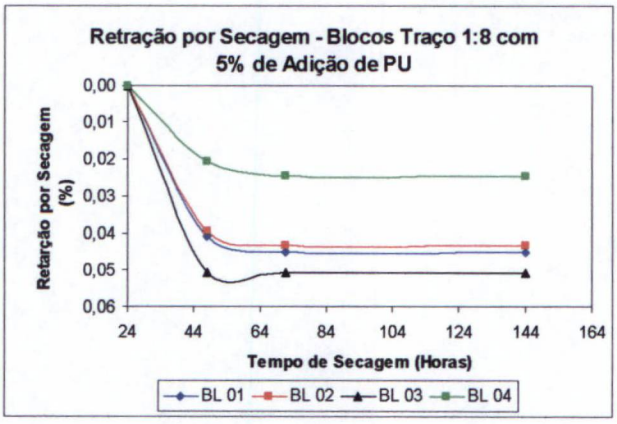
Conforme pode-se perceber, nenhuma das determinações, atingiu o limite de retração por secagem imposto pela NBR 12.117 (1991), que é de 0,065%.

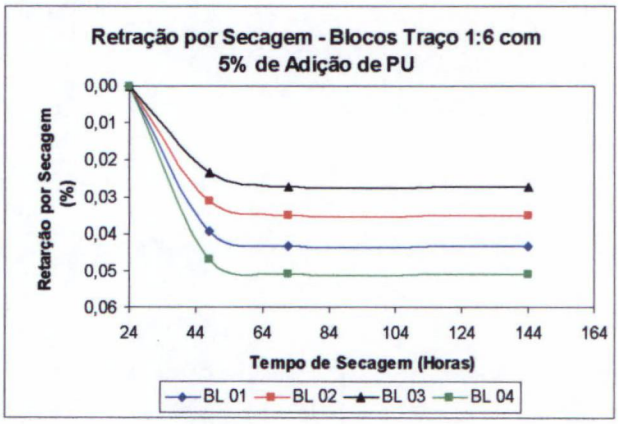
TABELA 5.33 - BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU – DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM

Blocos - Concreto Traço 1:8 - Adição de PU = 5,0%				
Corpo de Prova	Base de Medida (mm)	Leitura Saturado (mm)	Leitura Seco (mm)	Retração por Secagem (%)
BL 01	244,20	244,30	244,19	0,04505
BL 02	254,05	254,15	254,04	0,04330
BL 03	255,30	255,42	255,29	0,05092
BL 04	244,65	244,70	244,64	0,02452
Valores Médios				0,04095

Blocos - Concreto Traço 1:6 - Adição de PU = 5,0%				
Corpo de Prova	Base de Medida (mm)	Leitura Saturado (mm)	Leitura Seco (mm)	Retração por Secagem (%)
BL 01	254,25	254,35	254,24	0,04326
BL 02	255,70	255,78	255,69	0,03520
BL 03	255,70	255,76	255,69	0,02738
BL 04	255,50	255,62	255,49	0,05088
Valores Médios				0,03918

FIGURA 5.55 – BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU – DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM





5.5.2 Características Geométricas dos Blocos de Concreto

Para poderem ser comercializados, os blocos de concreto devem seguir as condições impostas pelas especificações técnicas NBR 6.136 (1994) e NBR 7.173 (1982).

5.5.2.1 Determinação das dimensões

Foram determinadas as dimensões de 6 blocos de cada série produzida, sendo os resultados individuais apresentados na Tabela 5.34.

Pode-se observar que nenhum dos elementos ensaiados apresentou variações de dimensões acima das tolerâncias determinadas nas especificações técnicas para o material (± 2,0 mm para largura e ± 3,0 mm para a altura e comprimento).

No tocante às características geométricas dos elementos produzidos, havia a expectativa que a adição da espuma rígida de poliuretano expandido reciclado, não afetasse as dimensões dos blocos, uma vez que em ensaios realizados, verificou-se que o material utilizado como adição, apesar de apresentar teor de absorção igual a 120,81%, não apresentou alterações dimensionais.

TABELA 5.34 - BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU – DIMENSÕES REAIS.

Dimensões Nominais (mm)	**Dimensões Padronizadas (mm)**				
	Largura	Altura	Comprimento	Paredes	
				Longitudinal	Transversal
15x20x40	**140,00**	**190,00**	**390,00**	**25,00**	**25,00**
Corpo-de-Prova	**Dimensões Reais (mm) - Traço 1:8 - Adição de PU = 5,0%**				
	Largura	Altura	Comprimento	Paredes	
				Longitudinal	Transversal
BL 01	138,80	192,00	389,00	26,70	26,10
BL 02	140,30	192,20	389,00	27,40	25,80
BL 03	142,00	192,80	388,80	26,40	26,70
BL 04	141,20	193,00	388,00	26,00	27,00
BL 05	140,00	193,10	389,00	26,20	26,80
BL 06	141,30	190,00	389,00	26,50	26,20
Valores Médios	**140,60**	**192,18**	**388,80**	**26,53**	**26,43**

Dimensões Nominais (mm)	**Dimensões Padronizadas (mm)**				
	Largura	Altura	Comprimento	Paredes	
				Longitudinal	Transversal
15x20x40	**140,00**	**190,00**	**390,00**	**25,00**	**25,00**
Corpo-de-Prova	**Dimensões Reais (mm) - Traço 1:6 - Adição de PU = 5,0%**				
	Largura	Altura	Comprimento	Paredes	
				Longitudinal	Transversal
BL 01	140,20	193,20	388,00	26,90	26,10
BL 02	142,00	194,40	388,00	27,80	26,60
BL 03	141,40	191,00	389,00	25,30	27,10
BL 04	140,30	192,70	389,00	27,20	26,30
BL 05	140,30	193,10	388,00	25,80	26,80
BL 06	141,50	192,40	389,00	26,40	27,00
Valores Médios	**140,95**	**192,80**	**388,50**	**26,57**	**26,65**

5.5.3 Características Mecânicas dos Blocos de Concreto

5.5.3.1 Determinação da resistência à compressão

De cada série produzida, após o período de cura em câmara úmida, 8 corpos-de-prova foram ensaiados para a verificação da resistência à compressão, conforme a NBR 8.215 (1983) e NBR 7.184 (1992).

Os resultados individuais encontram-se elencados no Apêndice 7, deste trabalho, enquanto na Tabela 5.35, são apresentados os valores médios de resistência à compressão, determinadas para cada traço de concreto ensaiado, com teor de adição de PU expandido de 5,0%.

TABELA 5.35 - BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU – VALORES MÉDIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, AOS 7 DIAS DE IDADE

Traço em Volume	Adição de PU (%)	Resistência à Compressão - 7 Dias (MPa)
1 : 8	5,0	**4,94**
1 : 6	5,0	**6,39**

Como pode ser percebido, os valores de resistência à compressão, para os 7 dias de idade, determinado para os blocos de concreto, são superiores aos resultados determinados para os corpos-de-prova cilíndricos, para a mesma idade e mesma composição do concreto (2,75 MPa e 4,31 MPa, respectivamente para os traços 1:8 e 1:6, com 5,0% de adição de PU).

O motivo para tal comportamento, uma vez mais, é a maior compacidade do concreto produzido na vibro-prensa, conforme já evidenciado na análise das características físicas dos blocos de concreto.

5.5.4 Características de Resistência Frente ao Fogo

Por ser a espuma de poliuretano, um material combustível, havia a preocupação de determinar as condições dos blocos de concreto, aditivados com a espuma rígida de PU reciclado, frente ao fogo.

Para tanto, efetuaram-se ensaios de simulação, nas dependências do Laboratório de Materiais de Construção do CEFET/PR, onde procurou-se investigar as características de Estabilidade, Estanqueidade e Potencial de Isolamento Térmico, dos blocos produzidos com concreto aditivado com 5,0% de espuma rígida de PU reciclado.

Os ensaios para estas determinações foram baseados nas seguintes normas brasileiras:

- NBR 14.432 (2001) – Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações;
- NBR 5.682 (2001) – Componentes Construtivos Estruturais – Determinação da Resistência ao Fogo;
- NBR 10.636 (1989) – Paredes Divisórias Sem Função Estrutural - Determinação da Resistência ao Fogo;

5.5.4.1 Estabilidade

Com o aquecimento, os painéis ensaiados mostraram-se estáveis, sem a presença de deformações ou colapso devido ao peso próprio.

Pela solicitação dinâmica, que inferiu aos painéis um choque com energia equivalente a 15 Joules, estes apresentaram, a incidência de uma única fissura, na vertical, próxima à aresta dos corpos-de-prova ensaiados, como pode ser verificado na foto apresentada na Figura 5.56.

FIGURA 5.56 - CORPO-DE-PROVA APÓS ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO



5.5.4.2 Estanqueidade

O material apresentou estanqueidade às chamas, não se verificando a combustão do material colocado à face dos painéis, não expostas à fonte de calor.

5.5.4.3 Isolamento térmico

Os painéis constituídos de blocos de concreto, com adição de 5,0% de poliuretano expandido reciclado, apresentaram aumentos de temperatura nas faces exposta e não exposta, conforme ilustra a Figura 5.57. Os valores determinados no ensaio, são apresentado nos gráficos constantes da Figura 5.58.

FIGURA 5.57 - DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE ISOLAMENTO TÉRMICO

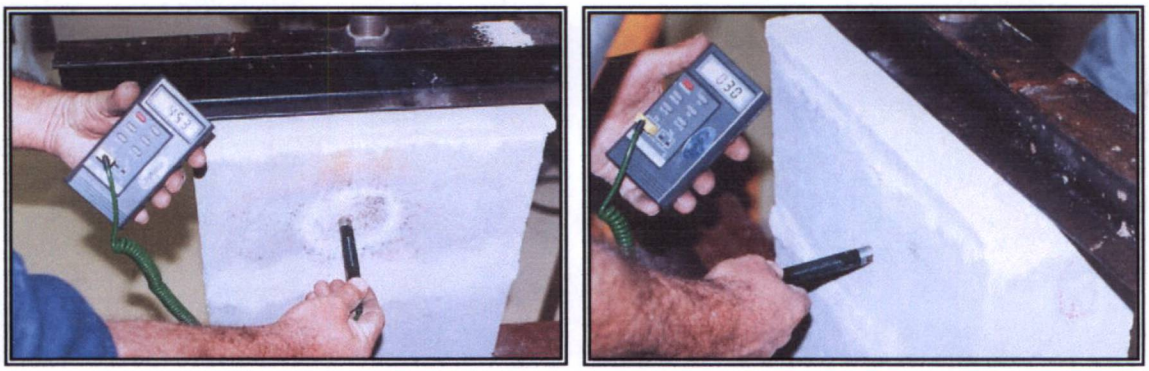
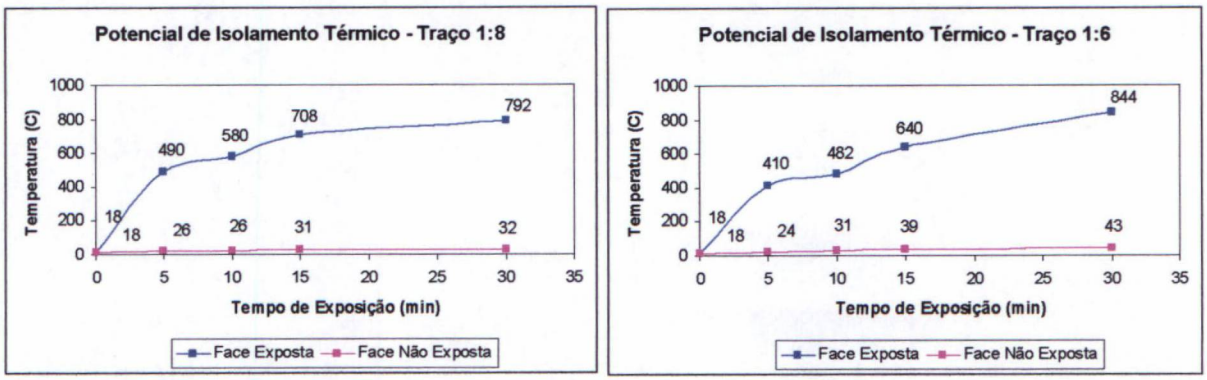


FIGURA 5.58 - AUMENTO DA TEMPERATURA NAS FACES DOS PAINÉIS ENSAIADOS



Como pode ser verificada, a menor diferença de temperatura entre as faces expostas e não expostas à chama, resultaram em 464°C, para o painel composto de blocos produzidos com traço 1:8, e 384°C, para o painel composto com blocos produzidos com concreto traço 1:6.

Como ambos os materiais apresentaram gradientes de temperatura entre as faces, maiores que 140°C, podem ser classificados, de acordo com a NBR 10.636 (1989), como material isolante térmico, tipo Corta Fogo – CF30.

5.5.5 Características Ambientais

Neste item, procurou-se determinar se a adição incorporada ao concreto utilizado para a produção de blocos, poderia ou não carrear à superfície pela ação da água, e impregnar o ambiente construído.

Na revisão bibliográfica, Capítulo 2, verifica-se que o poliuretano expandido, após as operações de produção, não traz grandes riscos à saúde das pessoas, a não ser quanto a inalação de grandes quantidades de pó, que pode acarretar em doenças respiratórias.

Outro aspecto que deve ser considerado é a grande concentração de partículas de poliuretano expandido pulverizado no ambiente, o que pode representar risco de incêndio, pela combustibilidade do material.

Para esta determinação, procedeu-se o ensaio de lixiviação de resíduos (Figura 5.59), de acordo com as seguintes normas técnicas:

- NBR 10.004 (1987) – Resíduos Sólidos – Classificação;
- NBR 10.005 (1987) – Lixiviação de Resíduos, e;
- NBR 10.006 (1987) – Solubilização de Resíduos.

FIGURA 5.59 - ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DA LIXIVIAÇÃO DE RESÍDUOS



Os resultados determinados encontram-se apresentados na tabela 5.36.

TABELA 5.36 - BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU – LIXIVIAÇÃO DE RESÍDUOS

Blocos - Concreto Traço 1:8 - Adição de PU = 5,0%						
Corpo de Prova	Massa da Amostra (g)	Massa Extrator (g)	Ácido Acético Total (ml)	PH da Solução	Sólidos em Suspensão (%)	Tempo de Ensaio (horas)
BL 01	126,11	2.017,76	0,75	5,10	0,00079	28
BL 02	129,51	2.072,16	0,80	5,00	0,00073	28
Valor Médio	**127,81**				**0,00076**	
Blocos - Concreto Traço 1:6 - Adição de PU = 5,0%						
Corpo de Prova	Massa da Amostra (g)	Massa Extrator (g)	Ácido Acético Total (ml)	PH da Solução	Sólidos em Suspensão (%)	Tempo de Ensaio (horas)
BL 01	129,30	2.068,80	0,90	4,98	0,00105	28
BL 02	130,15	2.082,40	0,80	5,10	0,00097	28
Valor Médio	**129,73**				**0,00101**	

Como pode ser observado, uma percentagem muito pequena do material incorporado ao concreto foi extraído durante o ensaio, o que confirma que as partículas da espuma rígida de poliuretano reciclado, ficam satisfatoriamente fixadas pela matriz cimentícia.

Portanto, há evidências que mesmo que a espuma reciclada ainda apresente células fechadas, contendo CFC's (para as espumas fabricadas antes de 1988), estas estarão protegidas de contato com o meio ambiente.

A NBR 10.004 (1987) – Resíduos Sólidos – Classificação, não estipula as quantidades máximas admissíveis para a presença de partículas de poliuretano dispersas no meio ambiente, porém, para assegurar ainda mais o meio ambiente e o ambiente construído, deve-se utilizar os blocos com revestimento de argamassa, o que impermeabilizaria e, praticamente, neutralizaria a lixiviação de partículas para a superfície e a possível emissão de gases para o ambiente.

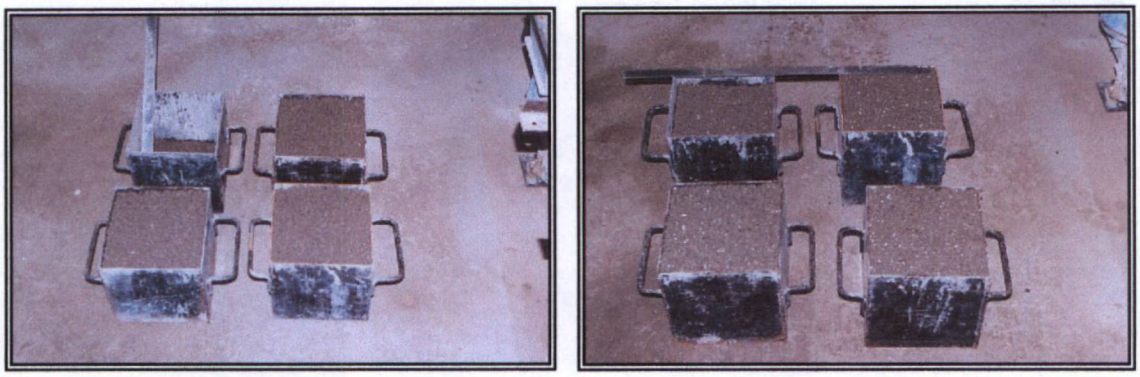
5.6 ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA ADOÇÃO DA ADIÇÃO DE PU RECICLADO

Neste estudo, fez-se uma análise do aumento de volume de concreto proporcionado pela incorporação da adição de PU reciclado e do custo de produção do concreto com e sem adição.

5.6.1 Determinação da Variação de Volume do Concreto.

Para a determinação da variação do volume apresentado pelo concreto solto, com e sem a adição de PU expandido, procedeu-se uma análise empírica, pela produção e medição dos volumes do concreto, por meio de caixas de volume conhecido (8,0 dm^3), conforme apresentado na Figura 5.60.

FIGURA 5.60 - DETERMINAÇÃO DA VARIAÇÃO DE VOLUME DO CONCRETO SEM E COM ADIÇÃO DE PU RECICLADO



Como pode ser verificado, com o traço 1:6, com adição de 5,0% (do consumo de cimento) de PU expandido, obteve-se um acréscimo de volume de concreto solto produzido de 19,05%, enquanto que com o traço 1:8, com o mesmo teor de adição, o aumento de volume de concreto solto foi de 10,70%.

Este aumento de volume pode ser explicado, pelo grande volume de adição representada por apenas 5,0% do consumo de cimento. A diferença entre o aumento de volume para cada traço ensaiado, deve-se à quantidade de PU expandido adicionado, que depende diretamente do consumo de cimento de cada traço.

Verificou-se, porém, que este aumento de volume não é significativo após o processo de produção dos blocos de concreto, devido ao esforço de vibro-compressão aplicado pela máquina produtora de blocos.

5.6.2 Determinação da Viabilidade Econômica da Utilização da Adição de PU Reciclado

Para verificar a viabilidade da utilização da adição da espuma rígida de poliuretano expandido reciclado, efetuou-se, também, uma análise financeira.

Para tanto, foi efetuado um orçamento, considerando somente o preço dos insumos básicos, apresentados na Tabela 5.37.

TABELA 5.37 - VALORES DOS INSUMOS (SETEMBRO/ 2003) [1]

Valores dos Materiais - Data: 09/2003		
Descrição	**Unidade**	**Preço**
Cimento CP V-ARI-RS	sc/50,0 kg	19,00
Areaia Média	m3	24,30
Brita 0	m3	16,25
Água - Rede de Abastecimento	m3	2,70

Além destes valores, foi determinado o valor para deposição da espuma reciclada no aterro industrial de Curitiba, que para o mês de Setembro/ 2003, representa o custo médio de R$ 700,00/ton [2].

O custo do concreto, considerando os traços 1:6, 1:8 e 1:10 em volume, foram então determinados, conforme apresentado nas Tabelas 5.38 a 5.40.

TABELA 5.38 - DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CONCRETO TRAÇO 1:6

TRAÇO 1:6 - CUSTO PARA 1,00 m³			
Material	**Quantidade (kg)**	**Custo Unit. (R$)**	**Custo Total (R$)**
Cimento CP V-ARI-RS	337,00	0,3800	128,06
Areia	1.093,00	0,0150	16,40
Brita 0	944,00	0,0120	11,33
Água (U = 8,0%)	162,96	0,0027	0,44
Custo Concreto sem Adição			156,22
Adição de PU (5,0%)	16,85	(0,7000)	(11,80)
Água (U = 9,5%)	30,55	0,0027	0,08
Custo Concreto com Adição			144,51
Variação de Custo (%)			8,10%

[1] Valores válidos para setembro/ 2003, obtidos mediante pesquisa em lojas de materiais de construção, localizados na cidade de Curitiba (PR).

[2] Valor válido para setembro/2003, obtido junto a empresa Essencis Ltda, que administra o aterro de resíduos industriais e tóxicos, da cidade de Curitiba (PR).

TABELA 5.39 - DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CONCRETO TRAÇO 1:8

TRAÇO 1:8 - CUSTO PARA 1,00 m³			
Material	**Quantidade (kg)**	**Custo Unit. (R$)**	**Custo Total (R$)**
Cimento CP V-ARI-RS	260,00	0,3800	98,80
Areia	1.124,00	0,0150	16,86
Brita 0	972,00	0,0120	11,66
Água (U = 7,5%)	157,20	0,0027	0,42
Custo Concreto sem Adição			127,75
Adição de PU (5,0%)	13,00	(0,7000)	(9,10)
Água (U = 10,0%)	52,40	0,0027	0,14
Custo Concreto com Adição			118,79
Variação de Custo (%)			7,54%

TABELA 5.40 - DETERMINAÇÃO DO CUSTO DO CONCRETO TRAÇO 1:10

TRAÇO 1:10 - CUSTO PARA 1,00 m³			
Material	**Quantidade (kg)**	**Custo Unit. (R$)**	**Custo Total (R$)**
Cimento CP V-ARI-RS	211,91	0,3800	80,53
Areia	1.144,32	0,0150	17,16
Brita 0	988,92	0,0120	11,87
Água (U = 7,5%)	159,99	0,0027	0,43
Custo Concreto sem Adição			109,99
Adição de PU (5,0%)	10,60	(0,7000)	(7,42)
Água (U = 10,0%)	53,33	0,0027	0,14
Custo Concreto com Adição			102,72
Variação de Custo (%)			7,08%

O custo relativo à produção do concreto, composto pelo custo de equipamento, energia elétrica, mão-de-obra, leis sociais, impostos e custos administrativos, também não foram considerados, pois podem ser encarados como custos fixos para a produção do concreto, com ou sem adição da espuma de poliuretano reciclada.

Os custos negativos, relativos à adição de espuma de poliuretano, representam custos de deposição em aterros industriais, para a data de 09/2003, para a cidade de Curitiba, que seriam poupados pelos geradores do resíduo.

Diante destas determinações, verifica-se que a adição de espuma de poliuretano reciclado, confere ao concreto produzido com o mesmo traço, redução de custos da ordem de 7,08% a 8,10%, considerando somente os custos dos insumos e o custo de deposição do resíduo de poliuretano em aterros industriais.

Nesta determinação não foi considerada a perda de resistência mecânica, caso se comparassem custo x resistência média à compressão, determinada aos 7 dias de idade, haveria uma alteração de custos, a maior para o concreto contendo adição de 5,0 % de espuma de poliuretano reciclado, da ordem de 8,00 %, para a comparação de custos entre o concreto traço 1:8 com adição de 5,0% de espuma de poliuretano reciclado e 1:10, sem adição a 13,12 %, para a comparação de custos entre o concreto 1:6, com adição e o concreto 1:8, sem adição.

Esta variação pode ser verificada na Tabela 5.41.

TABELA 5.41 – ANÁLISE DE CUSTOS EM FUNÇÃO DA RESISTÊNCIA MÉDIA À COMPRESSÃO

Traços em Volume	**1:6**	**1:8**	**1:10**
Variação de Custo (R$/m³)			
Sem Adição	156,22	127,75	109,99
Com 5,0% de Adição	144,51	118,79	102,72
Variação da Resistência à Compressão aos 7 Dias (MPa)			
Sem Adição	10,59	6,66	5,29
Com 5,0% de Adição	6,39	4,94	

6 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, serão apresentadas as conclusões decorrentes da realização da pesquisa e sugeridos alguns assuntos ligados ao tema, que merecem ser avaliados de uma forma mais específica, em trabalhos futuros.

O paradigma do desenvolvimento sustentável vem se consolidando como uma referência fundamental para orientar as todas as atividades humanas (JOHN, 2000).

Portanto verifica-se a necessidade premente de que se efetue a reciclagem de resíduos, como sendo uma condição para viabilizar a sustentabilidade do meio ambiente.

É unânime entre os autores pesquisados, as vantagens potenciais da reciclagem para a sociedade, quer por meio da preservação ambiental, economia de energia, redução do volume de aterros, redução da poluição, geração de empregos e renda, redução do custo do controle ambiental pelas indústrias, entre outros.

JOHN (2000), afirma que a construção civil, tem potencial de aumentar muito a reciclagem de resíduos e sub-produtos industriais. Essa vocação para a reciclagem já se manifesta nos dias de hoje, uma vez que a cadeia produtiva da construção civil é principal recicladora na sociedade.

Porém a transformação de um resíduo em um produto competitivo no mercado e ambientalmente seguro não é uma tarefa muito simples, pois há a necessidade de garantir a salubridade ambiental e a saúde dos usuários, mantendo as características físicas e desempenho mecânico do material que recebe o produto reciclado.

Dentre as alternativas tecnicamente viáveis para a reciclagem das espumas rígidas de poliuretano expandido, procurando minimizar o impacto ambiental, seleciou-se neste estudo, uma daquelas que apresenta grande potencial de mercado, pela da inserção desse material na fabricação de blocos de concreto.

6.1 CONCLUSÕES QUANTO A VIABILIDADE TÉCNICA DO USO DA ADIÇÃO DE POLIURETANO RECICLADO NO CONCRETO UTILIZADO PARA A FABRICAÇÃO DE BLOCOS

Verifica-se que a fabricação de blocos de concreto na maioria das fábricas, não utilizam qualquer método racional para a dosagem. O proporcionamento é realizado em volume, por meio da prática do dia a dia dos produtores, conforma já havia sido constatado por LIMA (1999), o que proporciona um desvio muito grande nas características do produto acabado (TANGO, 1984).

Para mensuração das alterações que a adição da espuma de poliuretano reciclada, poderia inferir ao concreto, adotou-se traços estabelecidos para a fabricação de blocos, e conforme demonstra-se no Capítulo 5 - Apresentação e Análise de Resultados, verificou-se a viabilidade técnica da utilização de teores de adição que correspondem a 5,0% do consumo de cimento de cada traço de concreto adotado, em comparação com os blocos de referência, produzidos sem adição, pelos seguintes motivos:

a- blocos produzidos com concreto traço 1:8:

- dimensões inalteradas com o uso da adição de PU reciclado;
- massa específica dos blocos com adição de PU, apresentaram redução de 4,83% (2.225,49 kg/m^3, contra 2.332,82 kg/m^3);
- massa específica dos blocos no estado seco, apresentaram redução de 4,14% (2.089,49 kg/m^3, contra 2.176,06 kg/m^3);
- absorção de água, 46,20% abaixo do limite imposto pelas normas NBR 6.136 (1994) e NBR 7.173 (1982) (6,84% contra 10,0%);
- aumento do índice de vazios, em relação aos blocos sem adição, de apenas 1,64% (14,28% contra 14,05%);
- retração por secagem abaixo do limite imposto pelas normas

NBR 6.136 (1994) e NBR 7.173 (1982) (0,04095% contra 0,065%);

- resistência média à compressão que permite adotar o material para alvenaria estrutural (4,94 MPa, contra 4,50 MPa, limite imposto pela NBR 6.136 (1994).
- estável e estanque frente ao fogo, considerado como isolante térmico tipo Corta Fogo – CF 30, de acordo com a norma NBR 10.636 (1989); e,
- ambientalmente seguro, com teor de material lixiviado de apenas 0,00076%.

b- blocos produzidos com concreto traço 1:6:

- dimensões inalteradas com o uso da adição de PU reciclado;
- massa específica dos blocos com adição de PU, apresentaram redução de 4,63% (2.241,46 kg/m^3, contra 2.345,24 kg/m^3);
- massa específica dos blocos no estado seco, apresentaram redução de 1,86% (2.129,20 kg/m^3, contra 2.168,88 kg/m^3);
- absorção de água, 59,24% abaixo do limite imposto pelas normas NBR 6.136 (1994) e NBR 7.173 (1982) (6,28% contra 10,0%);
- redução do índice de vazios, em relação aos blocos sem adição, de 23,41% (13,37% contra 16,50%);
- retração por secagem abaixo do limite imposto pelas normas NBR 6.136 (1994) e NBR 7.173 (1982) (0,03918% contra 0,065%);
- resistência média à compressão que permite adotar o material para alvenaria estrutural (6,39 MPa, contra 4,50 MPa, limite imposto pela NBR 6.136 (1994).
- estável e estanque frente ao fogo, considerado como isolante

térmico tipo Corta Fogo – CF 30, de acordo com a norma NBR 10.636 (1989); e,

- ambientalmente seguro, com teor de material lixiviado de apenas 0,00101%.

As características físicas e mecânicas dos blocos produzidos com o concreto com a incorporação da espuma rígida de PU reciclado, apresentam-se de acordo com especificações técnicas para blocos de concreto, o que vêm, numa comparação, indicar a qualidade do material produzido.

As análises ambientais e de segurança diante do fogo, efetuadas, devido ao pequeno número de determinações, dão uma noção do comportamento do material diante de situações específicas, e servem como indicação de novas pesquisas de caráter exploratório.

6.2 CONCLUSÕES QUANTO A VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DA ADIÇÃO DE POLIURETANO RECICLADO NO CONCRETO UTILIZADO PARA A FABRICAÇÃO DE BLOCOS

A análise econômica da viabilidade de uso da adição de teor de 5,0% de espuma de poliuretano reciclado, calculado sobre o consumo de cimento de cada traço investigado, fez-se por meio da determinação do rendimento do concreto com a adição, em comparação com o rendimento de um concreto com mesmo traço, porém sem adição, ambos em estado solto e mediante a análise financeira, onde foram determinados os custos para a produção de 1,0 m^3 de concreto com e sem a adição estudada.

Para o traço 1:8, o concreto com adição de 5,0% de poliuretano expandido reciclado, apresentou um rendimento, para o material solto de 10,70% acima do concreto sem adição, e para o traço 1:6, o ganho de rendimento, em termos de material solto, foi de 19,05%.

Esta variação acabou não sendo significativa, devido a vibro-compressão sofrida pelo concreto durante a produção dos blocos de concreto.

Financeiramente, analisando apenas o custo para produção dos traços de concreto, sem considerar a perda de resistência, o traço 1:8, com adição de espuma de PU reciclado, apresentou 7,54% de redução de custos, enquanto que o traço 1:6, com o mesmo teor de adição, apresentou redução de custo da ordem de 8,10%.

Considerando os custos para a produção do concreto em relação a perda de resistência média à compressão, verificou-se que o traço 1:6, com 5,0% de adição de PU reciclado, apresenta resistência média à compressão semelhante a do concreto 1:8, sem adição, porém com um aumento de custo de 13,12 %. O traço 1:8, com adição de 5,0% de PU reciclado, apresentou em comparação ao traço 1:10 sem adição (resistências à compressão semelhantes), uma variação de custo a maior, de 8,0%.

6.3 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O foco deste trabalho foi centrado na análise das características físicas e mecânicas do concreto aditivado com espumas rígidas de poliuretano reciclado.

São necessários estudos mais aprofundados sobre o material produzido, com vistas a minimizar os riscos de uso e manuseio do material. A interface entre a adição de PU expandido reciclado e a matriz cimentícea, principalmente diante de exposição do concreto ao calor, deverá ser analisada por meio de sistemas óticos e eletrônicos.

Como as edificações são bens duráveis, e a quantidade de recursos empregada para a produção desse bem, normalmente é alta, e diante ainda, do grande déficit habitacional que o Brasil apresenta, os recursos disponíveis para a implantação de habitações de interesse social, também não podem ser empregados de maneira irresponsável, ou em materiais de construção de baixa qualidade, para

tanto a durabilidade dos blocos produzidos com a adição de PU reciclado deverá ser determinada.

Além dos ensaios de lixiviação e solubilização de resíduos efetuados neste trabalho, o desempenho ambiental do novo produto deverá ser avaliado em maior profundidade, pela da análise do seu ciclo de vida.

As características de resistência ao fogo também deverão estudadas de forma mais ampla, por meio de um maior número de determinações e utilização de outras técnicas de ensaio.

As características de isolamento térmico e acústico, também deverão ser determinadas, por meio da monitoração de uma edificação protótipo, a ser construída com o produto desenvolvido neste estudo.

Deve-se, ainda, estender o uso da adição de poliuretano reciclado, para outros artefatos de concreto e para o concreto armado de uso corrente.

6.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reciclagem de resíduos avança no mundo inteiro, bem como estudos relativos a ela, e este trabalho é mais um passo no sentido da implantação da reciclagem de resíduos industriais na produção de materiais de construção.

Considerando os objetivos propostos para a pesquisa, acredita-se que se obteve êxito, uma vez que se comprovou a viabilidade de uso de adições de espumas rígidas de poliuretano expandido reciclado, no concreto utilizado para a produção de blocos, com finalidade à construção civil.

Entretanto, assim como outros trabalhos, este deve ter continuidade, com discussões de seus resultados e com a condução de outras pesquisas que possam complementar as conclusões sobre o uso do poliuretano reciclado como adição ao concreto utilizado para a produção de blocos de concreto ou outros produtos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, J.V. Téncicas de produção de premoldados de concreto. I ENCONTRO DE EMPRESÁRIOS DO SETOR DE PRODUTOS DE CIMENTO. **Anais**. São Paulo, 1994.

AGOPYAN, V. Estudo dos materiais de construção civil – materiais alternativos. **Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, IPT, São Paulo, 1988. p.75–78.

AGOPYAN, V. Developements of vegetable fibre reinforced cementicious materials. In São Paulo, 2000. p. 90-102. **Anais**. PB: UFPB, 2000.

AÏTCIN, P.C. **Concreto de Alto Desempenho**. Ed. PINI. 1ª. edição. São Paulo, 2000.

AJTESZYC, L.Q. Edificações auto sustentáveis – Habitação e ecologia no próximo milênio. **Téchne**. São Paulo, Pini. n 44, p. 40-42, jan./fev., 2000.

ÂNGULO, S.C., ZORDAN, S.E., JOHN, V.M. Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem de Resíduos na Construção Civil. In: IV SEMINÁRIO – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 2001. p. 43-56.

API - ALLIANCE FOR THE POLYURETHANES INDUSTRY. **Fire Safety Guidelines for Use of Rigid Polyurethane and Polyisocyanurate Foam Insulation in Building Construction**. Technical Bulletin. Arlington, USA, January 2000.

ARRUDA, M.F.O., PAMPLONA, H.C., PAMPLONA, A.D.G. Reutilização de Resíduo Vítreo (Pó de Vidro Tipo Soda-Cal) na Fabricação de Concreto: Um Estudo Experimental. In: IV SEMINÁRIO – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 2001. p. 183-194.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Blocos de concreto pré-moldados sem função estrutural**. Boletim Técnico 37, São Paulo, ABCP, 1978, 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND – ABCP. **Fabricação de Blocos de Pré-moldados de Concreto para Pavimentação**. Boletim Técnico 103, São Paulo, ABCP, 1989, 16p.

BARRA, M. **Estúdio de la durabilidad Del hormigón de árido recliclado em su aplicación com hormigón armado**. Barcelona, 1996. Tese de Doutorado – Escola Técnica Superior d'Enginyers de Carmin, Canal i Ports. Universitat Poliécnica de la Catalunya.

BAUER, L.A.F. **Materiais de Construção**. 5ª. Ed, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos Editora, 1994.

BRITO, L. A., CAVALCANTE, J.R., CHERIAF, M. Utilização do entulho de construção civil como agregado graúdo, para a confecção de novos concretos. In: IV SEMINÁRIO – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 2001. p. 203-213.

CAMPITELI, V. **Tecnologia do Concreto**. Apostila do Curso de Pós Graduação em Construção Civil, Ponta Grossa, 2002. 82 f. Universidade Estadual de Ponta Grossa.

CINCOTTO, M.A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. **Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, IPT, São Paulo, 1988. p. 71-74

COLLINS, R.J., CIESIELSKI, S.K. **Recycling and Use of Waste Materials and By-Products in Highway Construction.** National Cooperative Highway Reseach Program, Synthesis of Highway Pratice, National Academy Press, Washington, D.C, 1994. 85 p.

FERREIRA JÚNIOR, S. **Produção de Blocos de Concreto para Alvenaria; Prática Recomendada**. São Paulo, Boletim Técnico 107, ABCP, 1985, 12p.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estudos Políticos e Sociais. "**Déficit" Habitacional no Brasil 2000**, 195 p. Belo Horizonte, 2001.

GRANDI, S.L. Alvenaria estrutural: a memória de um sistema construtivo. **Prisma soluções construtivas com blocos de concreto**, n° 5, dezembro 2002, Ed. Mandarim, São Paulo, dezembro/2002, p. 21 –23.

GUNTHER, W.M.R. Minimização de Resíduos e Educação Ambiental. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, Curitiba, 2000. **Anais**. Curitiba, 2000.

HELENE, P.R.L., TERZIAN, P. **Manual de dosagem e controle do concreto.** Ed. PINI. São Paulo, 1992.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Sinopse Preliminar do Censo Demográfico 2000**, Pesquisa por Amostra de Domicílios – PNAD.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Análise do Comportamento Térmico e Acústico de Alvenarias**. IPT, São Paulo, 1985. Relatório Técnico nº 21.910.

JOHN, W.M. Pesquisa e desenvolvimento de mercado para resíduos. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. São Paulo. **Anais**. São Paulo, 1997, EPUSP/ANTAC, p. 21-30.

JOHN, W.M. **Desenvolvimento sustentável, construção civil, reciclagem e trabalho multidisciplinar**. Texto técnico. Disponível em <http.// www.reciclagem.pcc.usp.br> Acesso em 22/05/2003.

JOHN, W.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

KOSSAKA, J. **Métodos de Reciclagem de Espuma Rígida de Poliuretano de Refrigeradores e Congeladores de Uso Doméstico**. Curitiba, 2002. 12p. Projeto de Dissertação. Universidade Federal do Paraná, PIPE-UFPR.

KRUGER, E., LAMBERTS, R. Avaliação do Desempenho Térmico de Casas Populares. In: VII Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, Salvador, 2000. **Anais**. Salvador, VIII – ENTAC, 2000.

LAURITZEN, E.K.,HANSEN, T.C., TORRING M. Integrated Construction and Demolition Waste Management – A global Challenge. **Proceedings**. Svedala Waste Processing and Recycling Conference, Copenhagen, 25 – 27 June, 1997.

LEITE, M. B. **Avaliação de propriedades mecânicas de concretos produzidos com agregados reciclados de construção e demolição**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, 198p. Tese de Doutorado.

LIMA, J.A.R. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduo de construção reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos**. São Carlos, 1999. 222p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

LIN, C. F., HUANG, H. W. Leaching characteristics of solidification system of C3A/CuO. **Journal of Environmental Engineering Science**. Apr. 1996. ASCE, p. 323-326.

LUZ, C. A., ROCHA, J.C., CHERIAF, M. Estudo de diferentes formas de cura empregadas em matrizes solidificadas. In: IV SEMINÁRIO – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 2001. p. 151-157.

MEDEIROS, J.S. **Alvenaria estrutural não armada de blocos de concreto: produção de componentes e parâmetros de projeto.** São Paulo, 1993. 449p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo – USP.
METHA, P.K., MONTEIRO, P.J.M. **Concreto – Estrutura, Propriedades e Materiais**. Ed. PINI, 1ª. edição. São Paulo, 1994.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR – SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO DA PRODUÇÃO, Fórum de Competitividade da Indústria da Construção Civil - **Relatório de Resultados 2001**, Brasília, set.2001.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), **Resuloção n° 267**, de 14 de setembro de 2000, Brasília, 2000.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA), **Resuloção n° 307**, de 5 de julho de 2002, Brasília, 2002.

MORENO, H. Linha ecológica de cabos Pirelli. O foco ambientalista da construção civil. JHON, V. M. Coordenador. In: Seminário Materiais e Design – Interface no Desenvolvimento do Produto. **Anais**. São Carlos, FIESP, UFSCAR, SEBRAE, p. 174-482, 1998.

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **Enviromental Outlook for the Chemicals Industry**. OECD – EHS Division, Relatory, 161 p. Paris, 2001.

OERTEL, G. **Polyurethane Handbook,** Hanser Publishers, NY. p 234 – 324, 1985.

OLIVEIRA, M.J.E et al. Análise de placas reforçadas com fibras de sisal através do método de elementos de faixas finitas. In: IV SEMINÁRIO – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 2001. p. 113-124.

PINTO, T.P. Reciclagem de resíduos da construção urbana no Brasil – Situação atual. In: RECICLAGEM E REUTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO CIVIL. São Paulo, 1997. **Anais**. São Paulo, EPUSP/ANTAC, p. 156-170.

PINTO, T.P. Gestão diferenciada e reciclagem dos resíduos de construção. **Revista Ação Ambiental**, ago./set. 1998, p. 15-16, Universidade Federal de Viçosa. 1998.

PETRUCCI, E.G.R. **Concreto de Cimento Portland**. 12 ed., Editora Globo, 307 pp., São Paulo, 1980.

PFEIFFENBERGER, L.E. **Propert sejection, sleving blending and proportioning of aggregates for concrete block production.** Part II. Besser Block, Alpena, p. 4-7, Nov/Dec. 1985.

PRUDÊNCIO JÚNIOR, L. R.,OLIVEIRA, A.L., BEDIN, C.A. **Alvenaria estrutural de blocos de concreto.** 1 ed., Grupo de Tecnologia em Materiais e Componentes a Base de Cimento Portland - GTec, Universidade Federal de Santa Catarina, 207 p. Florianópolis, 2002.

QUEBAUD, M.,COURTIAL, M., BUYLE-BODIN, F. The recycling of demolition materials: basic properties of concretes with recycled aggregates from demolished buildings. In: R'97 – RECOVERY, RECYCLING, RE-INTEGRATION, INTERNACIONAL CONGRESS WITH EXHIBITION, 1997, Geneva, Switzerland. **Proceedings**. Switzerland, 1997, v.2, p. 11179-11186.

RECENA, F. A. P. et al. A utilização de resíduos de couro curtido à base de cromo na produção de componentes para construção civil. In: IV SEMINÁRIO – DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E A RECICLAGEM NA CONSTRUÇÃO CIVIL – MATERIAIS RECICLADOS E SUAS APLICAÇÕES, São Paulo, 2001. **Anais**. São Paulo, IBRACON, 2001. p. 99-111.

RODRIGUES, P.P.F. **Fabricação de blocos pré moldados de concreto para pavimentação**. Boletim Técnico. São Paulo. ABCP, 1989.

SANDIA NATIONAL LABORATORIES. **Non – TDI Polyurethane Foam WR Qualification**. Disponível em:<http://www.ca.sandia.gov> o em 29/08/2003.

SANTOS, A, HOMMERDING, P., **Aproveitamento de Resíduos da Construção Civil em Curitiba – Caracterização e Análise de Alternativas Técnico – Econômicas**, Curitiba, 2001, Universidade Federal do Paraná, 2001.

SANTOS, A. et al. **Diretrizes para Concepção, Projeto Casa Fácil 1.0.** Relatório Técnico. Curitiba. 164 f. Universidade Federal do Paraná, 2002.

SATO, N.M.N. Propriedades do poliestireno expandido, do poliestireno extrudado e da espuma de poliuretano para fins de isolação térmica. **Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, IPT, São Paulo, 1988. p.511-514.

SILVÉRIO, C.D.V., KANNING, R.C., PEREIRA, L.A.P. Bloco Isopet. 43º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO. Foz do Iguaçu. Agosto, 2001. **Anais**. IBRACON, 2001.

SOBRAL, H.S. **Resistência Mecânica e Deformações do Concreto**. Estudo Técnico. São Paulo, ABCP, 1983.

SOUSA, J.G.G. **Contribuição ao estudo da relação entre propriedades e proporcionamento de blocos de concreto – aplicação ao uso de entulho como agregado reciclado.** Brasília, 2001. 120p. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília – UnB.

SOUZA, R., MITIDIERI, C.V. Avaliação de desempenho de sistemas construtivos destinados à habitação popular – conceituação e metodologia. **Coletânea de trabalhos da Divisão de Edificações do Instituto de Pesquisas Tecnológicas**, IPT, São Paulo, 1988. p.139–142.

STONE, H., VILLWOCK, R., MARTEL, B. Recent Technical Advances in Recycling of Scrap Polyurethane Foam as Finely Ground Powder in Flexible Foam. **Proceedings**. Polyurethane Conference, USA, 2000.

TANGO, C.E.S. **Blocos de concreto: dosagem, produção e controle de qualidade**. 1ª. ed. São Paulo. Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1984.

THOMAZ, E. **Trincas em Edifícios: Causas, prevenção e recuperação**. 1ª ed., Editora Pini,194p., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 1989.

THOMAZ, E, HELENE,P. **Qualidade no projeto e na execução de alvenaria estrutural e de alvenaria de vedação em edifícios**. EPUSP, São Paulo, 2000. Boletim Técnico BT/PCC/252.

UN-HABITAT – United Nations Human Settlements Programme – Housing Rights Legislation, Nairobi, 2002.

VILAR, W.D. **Química e tecnologia dos poliuretanos**, 3ª ed., Vilar Consultoria Técnica Ltda, Rio de Janeiro, 2002.

WEBER, S.L. **Metodologia para obtenção de sílica de elevada reatividade para uso em concreto de alto desempenho a partir do processamento de cinza de casca de arroz**. Florianópolis, 2001. 98p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC.

DOCUMENTOS CONSULTADOS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM - C 123**: Standard Test Method for Lighyweight Particles in Aggregate. Pennsylvania, USA, 2003.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM - C 140**: Standard Test Methods for Sampling and Testing Concrete Mansonry and Testing Concrete Mansonry Units and Related Units. Pennsylvania, USA, 2002.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM - C 979**: Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete. Pennsylvania, USA, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM - C 1170**: Standard Test Methods for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table. Pennsylvania, USA, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM - D 1621**: Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Cellular Plastics. Pennsylvania, USA, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 12**: Cimento Portland – Determinação de óxido de cálcio livre. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 23**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da massa específica. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 43**: Cimento Portland – Determinação da pasta de consistência normal. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 65**: Cimento Portland – Determinação do tempo de pega. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 76**: Cimento Portland – Determinação da finura pelo método de permeabilidade ao ar (método de Blaine). Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.682**: Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.712**: Bloco vazado modular de concreto. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.733**: Cimentos Portland resistentes a sulfatos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.737**: Cimento Portland de alta resistência inicial. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.738**: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.739**: Ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos de concreto. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.742**: Análise química de cimento Portland – Processo de arbitragem para determinação de óxido de silício, óxido férrico, óxido de alumínio, óxido de cálcio e óxido de magnésio. Rio de Janeiro, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.743**: Cimento Portland – Determinação de perda ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.744**: Cimento Portland – Determinação de resíduo insolúvel. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5.745**: Cimento Portland – Determinação de anidrido sulfúrico. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.467**: Determinação do inchamento de agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6.578**: Determinação da absorção de água em espumas rígidas de poliuretano para fins de isolação térmica. Rio de Janeiro, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.173**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria sem função estrutural. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.184**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **7.213**: Agregados leves para concreto isolante térmico. Rio de Janeiro, 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.214**: Areia normal para ensaio de cimento. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.215**: Cimento Portland – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.216**: Amostragem de agregados. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.217**: Determinação da composição granulométrica dos agregados. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.218**: Determinação do teor de argila em torrões nos agregados. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.219**: Determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.220**: Determinação de impurezas orgânicas húmicas em agregado miúdo. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.222**: Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.251**: Agregado em estado solto – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.358**: Espuma rígida de poliuretano para fins de isolação térmica – Determinação das características de imflamabilidade. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.810**: Agregado em estado compactado seco – Determinação da massa unitária. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.082**: Espuma rígida de poliuretano para fins de isolação térmica – Determinação da resistência à compressão. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.215**: Prismas de blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Preparo e ensaio à compressão. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.202**: Cimento Portland e outros materiais em pó – Determinação da finura por meio da peneira 0,044 (número 325). Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.770**: Agregados – Determinação da absorção de água em agregados miúdos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.775**: Agregados – Determinação da umidade superficial em agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.776**: Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.778**: Argamassa e concreto – Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.779**: Argamassa e concreto – Determinação da absorção de água por capilaridade. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9.941**: Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.005**: Lixiviação de resíduos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.006**: Solubilização de resíduos. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.636**: Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.506** - Espuma rígida de poliuretano para fins de isolação térmica – Determinação da massa específica aparente. Rio de Janeiro,

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.579**: Cimento Portland – Determinação da finura por meio da peneira 75 micrômetros (número 200). Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.580**: Cimento Portland – Determinação da água da pasta de consistência padrão. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.582**: Cimento Portland – Determinação da expansibilidade de Le Chatelier. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11.726**: Espuma rígida de poliuretano para fins de isolação térmica. Rio de Janeiro, 1979.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.117**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Retração por secagem. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão em corpos-de-prova prismáticos. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.118**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria – Determinação da absorção de água, do teor de umidade e da área líquida. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12.988**: Líquidos livres - Verificação em amostra de resíduos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14.432**: Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE 1-DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO, POR VIBRO COMPRESSÃO 229
APÊNDICE 2 -ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS 250
APÊNDICE 3 -ESTUDO DOS TRAÇOS DO CONCRETO 259
APÊNDICE 4 -ESTUDO PILOTO – RESULTADO DOS ENSAIOS COM OS BLOCOS DE REFERÊNCIA 262
APÊNDICE 5-ENSAIOS PARA AFERIÇÃO DO SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM 265
APÊNDICE 6-ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE PU EXPANDIDO RECICLADO 272
APÊNDICE 7- RESULTADOS DOS ENSAIOS COM OS BLOCOS PRODUZIDOS COM O CONCRETO ADITIVADO 281
APÊNDICE 8- PLANILHAS PARA DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO 286

APÊNDICE 1 – DESENVOLVIMENTO E AFERIÇÃO DO SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM DE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO

APÊNDICE 1 – DESENVOLVIMENTO E AFERIÇÃO DO SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM DE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO

Neste Apêndice à dissertação, apresenta-se a metodologia adotada para a produção de corpos-de-prova cilíndricos Ø = 100 mm, de forma a reproduzir as mesmas características do concreto produzido pela máquina produtora de blocos de concreto, e com condições de serem utilizados na investigação das influências da adição da espuma rígida de poliuretano expandido reciclado, sobre as características físicas e mecânicas do concreto.

1.1 MOLDAGEM DE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS DE CONCRETO

A investigação da influência da adição da espuma rígida de poliuretano expandido reciclado foi realizada, inicialmente, em corpos-de-prova cilíndricos de concreto, com diâmetro de 100 mm, moldados em uma única camada e adensados pelo efeito concomitante de vibração e compressão, de forma a reproduzir a moldagem efetuada em uma máquina produtora de blocos.

O objetivo desta metodologia foi o de reduzir as variações típicas do processo de produção e dos ensaios de caracterização e especificação do concreto, além de que o estudo em corpos-de-prova cilíndricos possibilita a verificação de características que, dificilmente, seriam investigadas com os blocos de concreto, como por exemplo, a determinação da resistência a tração do concreto.

De maneira a produzir um concreto similar ao produzido na confecção dos blocos na vibro-prensa, adotou-se a massa específica do concreto como paradigma de comparação.

Para proceder este estudo, empregou-se uma técnica baseada nos estudos de SOUSA (2001), que utilizou um método semelhante, para o estudo das características do concreto com adição de resíduos de construção e demolição.

SOUSA (2001), parte da análise da consistência do concreto, pela adaptação da norma norte americana ASTM C 1170 (1991) – *Standard Test Methods for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table*.

Segundo esta norma, a consistência do concreto é estabelecida em função do tempo que uma determinada amostra de concreto leva para adensar sob determinada energia de adensamento, em uma mesa vibratória. Este tempo, expresso em segundos, é denominado Tempo Vebe (SOUSA, 2001).

Segundo a ASTM C 1170 (1991) apud SOUSA (2001) a massa a ser utilizada no ensaio pode adotar dois valores, em função do método a ser empregado para o teste, definidos como:

- Método A – Recomendado para concretos com consistência entre muito rijo à extremamente seco, utiliza uma massa de 22,7 kg;
- Método B – Recomendado para concretos com consistência entre rijo a muito rijo, ou quando o tempo Vebe for inferior a 5 segundos, não utiliza nenhuma massa.

Em função do verificado nos estudos de SOUSA (2001), adotou-se um contrapeso com massa de 10 kg, para determinação da consistência do concreto moldado em corpos-de-prova cilíndricos, utilizando o método alternativo de moldagem.

1.2 PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO MOLDADO NA MESA VIBRATÓRIA

Com o sistema desenvolvido para este estudo, moldaram-se corpos-de-prova cilíndricos de concreto, com diâmetro de 100 mm, procurando aferir, inicialmente, o tempo Vebe, que proporcionasse um concreto com a massa específica mais próxima possível da do concreto dos blocos produzidos na vibro-

prensa, com os traços adotados.

Foi analisado também, a interferência do teor de umidade da mistura, sobre as características físicas e mecânicas do concreto.

A determinação das características físicas e mecânicas do concreto, foi realizada conforme as normalização brasileira, especificadas na Tabela A1.1.

TABELA A1.1 - NORMAS PARA DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

Norma	Título
NBR 5739/94	Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.
NBR 9778/87	Argamassa e concreto – Determinação da absorção de água por imersão, índice de vazios e massa específica.
NBR 5739/94	Concreto – Ensaio de compressão em corpos-de-prova cilíndricos de concreto.
NBR 7222/94	Argamassa e concreto – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.

1.3 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Iniciou-se o estudo em laboratório, mediante a adoção um contrapeso com massa de 10,0 kg, fixo em uma haste móvel contendo um êmbolo de aço em sua extremidade.

Este conjunto foi adaptado para deslizar por um tubo guia, de forma a imprimir uma pressão sobre o concreto fresco durante a fase de moldagem.

O tubo guia, foi confeccionado em PVC, com uma altura de 40 cm, de forma a possibilitar o preenchimento total do molde cilíndrico, e de prover ainda pequena sobra de material, removida após a operação de moldagem.

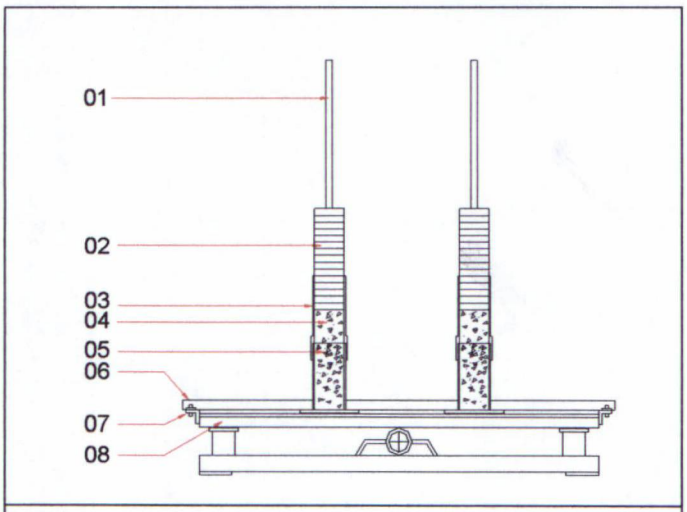
Antes da utilização, todo o sistema deve ser checado quanto ao nivelamento do conjunto, de modo a garantir uma compactação homogênea do concreto.

Para garantir a imobilidade do molde cilíndrico, este foi fixado à mesa vibratória, por meio de barras parafusadas em cantoneiras soldadas nas laterais da mesa.

O sistema de moldagem pode ser verificado no croquis apresentado na Figura A1.1.

Neste procedimento utilizou-se uma mesa vibratória marca Trillor Montana e para a mistura dos materiais, uma betoneira de eixo inclinado, marca Menegotti, com capacidade de 320 litros.

FIGURA A1.1 - EQUIPAMENTO DESENVOLVIDO PARA PERMITIR A COMPRESSÃO DO CONCRETO FRESCO



01- Haste Móvel
02- Peso m = 10,0 kg
03- Tubo Guia – PVC
04- Espaço para o Excesso de Concreto
05- Molde do Corpo-de-Prova
06- Barra de Fixação
07- Cantoneira para Fixação
08- Mesa Vibratória

1.4 CURA E DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO

Para a desmoldagem e cura do concreto, seguiram-se os procedimentos indicados na NBR 5.738 (1994) - Moldagem e Cura de Corpos-de-Prova Cilíndricos

e Prismáticos de Concreto, que recomenda:

- Cura inicial – Período de 24 horas após a moldagem: ao ar, no local onde foram moldados, protegidos com material não reativo nem absorvente.
- Cura Final – Até data de Ruptura: em câmara úmida, com temperatura controlada (23 ± 2°C) e umidade do relativa mínima de 95 %.

1.5 CARACTERÍSTICAS ANALISADAS E NÚMERO DE CORPOS-DE-PROVA

Com o concreto dosado de acordo com o traço pré-estabelecido e o teor de umidade da mistura aferido na produção dos blocos, passou-se a analisar o tempo necessário para a moldagem na mesa vibratória e com o contra-peso com massa de 10 kg, de forma a obter-se um concreto com massa específica igual a do concreto produzido na vibro-prensa.

Além da massa específica do concreto no estado fresco, aproveitou-se para analisar a influência do tempo de moldagem sobre as demais características do concreto, já elencadas no item 1, deste Apêndice.

Para tal, procedeu-se a moldagem de 9 séries de 6 corpos-de-prova (54 corpos-de-prova), variando-se o tempo de moldagem e analisando-se as características do concreto, de acordo com o memorial apresentado na Tabela A1.2.

TABELA A1.2 - AFERIÇÃO DO SISTEMA DE MOLDAGEM DE CORPOS DE PROVA CILÍNDRICOS NÚMERO DE CORPOS-DE-PROVA E ENSAIOS PROGRAMADOS

Determinações	Tempo de Moldagem (segundos)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	50
Massa Específica Estado Fresco	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Massa Específica no Estado Endurecido Índice de Vazios Absorção por Imersão	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Resistência à Compressão (7 dias)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Total	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**

1.6 AFERIÇÃO DO SISTEMA DE MOLDAGEM ALTERNATIVO

1.6.1 Determinação do Tempo de Moldagem Equivalente

Para determinação do tempo de moldagem equivalente, utilizou-se uma variação de tempos de moldagem com sistema em teste, de 5 em 5 segundos, limitando-se a uma amplitude de 0 a 60 segundos.

Em cada tempo pré-estabelecido, foram analisadas a massa específica do concreto fresco, de no mínimo dois corpos-de-prova. Após este procedimento, foram moldados dois corpos-de-prova, para cada tempo estabelecido, que serviram para determinar as demais características físicas do concreto no estado endurecido, e outros dois corpos-de-prova, para determinação da resistência à compressão do concreto aos 7 dias de idade.

Na Tabela A1.3, apresentam-se os resultados médios deste estudo, sendo os valores individuais, constantes do Apêndice 5 deste estudo.

Verificou-se que a massa específica do concreto fresco aumenta proporcionalmente com o aumento do tempo de moldagem dos corpos-de-prova. O motivo de tal variação é o melhor arranjo das partículas, promovido pelos maiores períodos de vibro-compressão, resultando uma maior compacidade do concreto e, conseqüentemente, menor índice de vazios.

TABELA A1.3 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, EM FUNÇÃO DO TEMPO DE MOLDAGEM UTILIZANDO A MESA VIBRATÓRIA

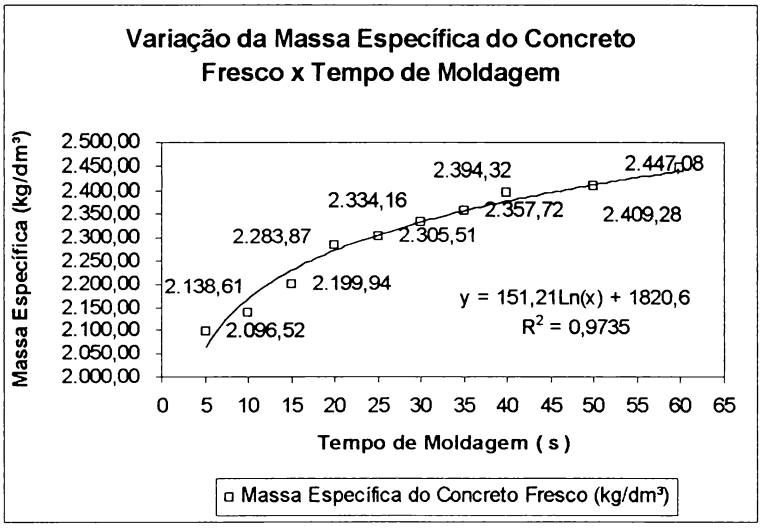
Tempo de Moldagem (s)	Massa Específica Concreto Fresco (kg/dm³)
5	2.096,52
10	2.138,61
15	2.199,94
20	2.283,87
25	2.305,51
30	2.334,16
35	2.357,72
40	2.394,32
50	2.409,28
60	2.447,08

Respeitados os parâmetros desta pesquisa, a variação da massa específica do concreto fresco com o tempo de moldagem, segue uma relação logarítmica, dada pela expressão:

$$y = 151{,}21 \ln x + 1820{,}6 \qquad (87)$$

Esta relação é evidenciada pelo gráfico apresentado na Figura A1.2.

FIGURA A1.2 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, EM RELAÇÃO AOS TEMPOS DE MOLDAGEM ADOTADOS.



Portanto para a produção de concretos em corpos-de-prova cilíndricos, com as mesmas massas específicas do concreto no estado fresco, dos blocos de referência, produzidos na vibro-prensa, mantidas as condições de umidade de moldagem e demais características de cada traço utilizado na produção dos blocos, deve-se adotar os tempos de moldagem equivalentes referidos na Tabela A1.4.

TABELA A1.4 - DETERMINAÇÃO DOS TEMPOS DE MOLDAGEM EQUIVALENTES, PARA PRODUÇÃO DE CONCRETOS COM O SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM

Traço em Volume	Proporção do Agregado Total (% Am/ % Ag)	Umidade de Moldagem (%)	Massa Específica do Concreto Fresco (kg/m³)	Tempo Médio de Vibro-compactação (s)	Tempo de Moldagem Equivalente (s)
1:6	50/50	8,0	2.345,24	14,93	29,59
1:6	60/40	9,0	2.395,69	16,85	44,85
1:8	50/50	7,5	2.332,82	17,20	32,12
1:8	60/40	9,0	2.225,07	15,07	14,51
1:10	50/50	7,5	2.301,18	14,62	24,00
1:10	60/40	8,5	2.264,41	14,90	18,82

Para facilitar a cronometragem das operações de moldagem dos corpos-de-prova cilíndricos, com o sistema alternativo, adotou-se para o traço 1:8, o tempo de moldagem equivalente de 30 segundos e para o traço 1:6, o tempo de moldagem equivalente de 32 segundos.

1.6.2 Relação entre Tempo de Moldagem Equivalente e as Características Físicas do Concreto no Estado Endurecido

Os valores médios determinados para a massa específica do concreto no estado endurecido, absorção de água por imersão e do índice de vazios do concreto, em função dos diferentes tempos de moldagem equivalentes, estão apresentados na Tabela A1.5, sendo os valores unitários para cada determinação, apresentados no Apêndice 5, desta dissertação.

TABELA A1.5 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DETERMINADAS COM O CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, EM FUNÇÃO DO TEMPO DE MOLDAGEM

Tempo de Moldagem (s)	Massa Específica Endurecido Seco (kg/m³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
5	2.050,85	8,87	18,40
10	2.075,85	8,47	17,34
15	2.085,00	8,20	17,13
20	2.098,34	7,72	16,44
25	2.126,93	7,65	16,26
30	2.140,49	7,73	16,13
35	2.150,99	7,44	15,70
40	2.158,47	7,14	15,26
50	2.165,77	6,83	14,69

Da mesma forma que a massa específica do concreto no estado fresco, estas demais características físicas do concreto, estão intimamente relacionadas, pois ambas dependem do grau de adensamento do concreto.

1.6.2.1 Massa Específica do Concreto no Estado Endurecido

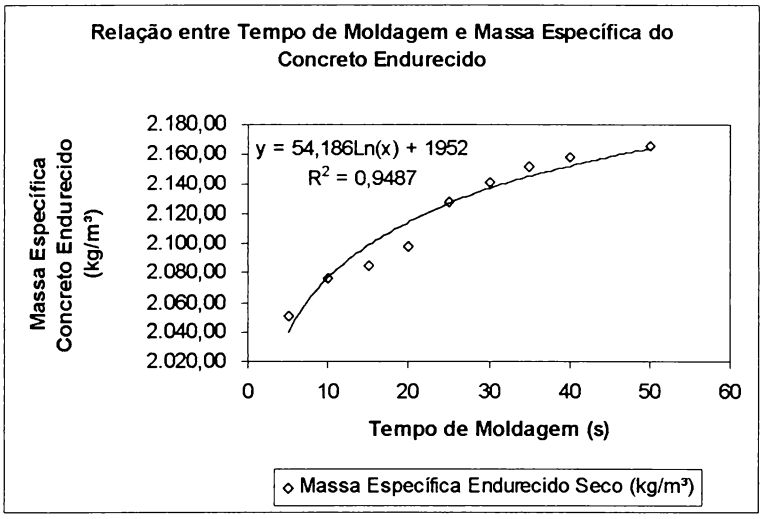
Os valores da massa específica do concreto no estado endurecido, apresentaram aumentos proporcionais aos aumentos do tempo de moldagem equivalentes, aos quais o concreto era submetido, em função da maior compacidade do concreto, proporcionado por uma melhor acomodação das partículas do agregado e da pasta de cimento.

Este comportamento, respeitados os parâmetros determinados para esta pesquisa, segue uma relação logarítmica, representada pela expressão:

$$y = 54{,}186Ln(x) + 1952 \tag{88}$$

O gráfico apresentado na Figura A1.3, ilustra esta tendência determinada.

FIGURA A1.3 - RELAÇÃO ENTRE O TEMPO DE MOLDAGEM E MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO SECO



1.6.2.2 - Absorção de Água do Concreto

Os valores dos teores de absorção de água do concreto tendem a ser menores, quanto maiores forem os tempos de moldagem equivalentes, em função do menor índice de vazios do concreto.

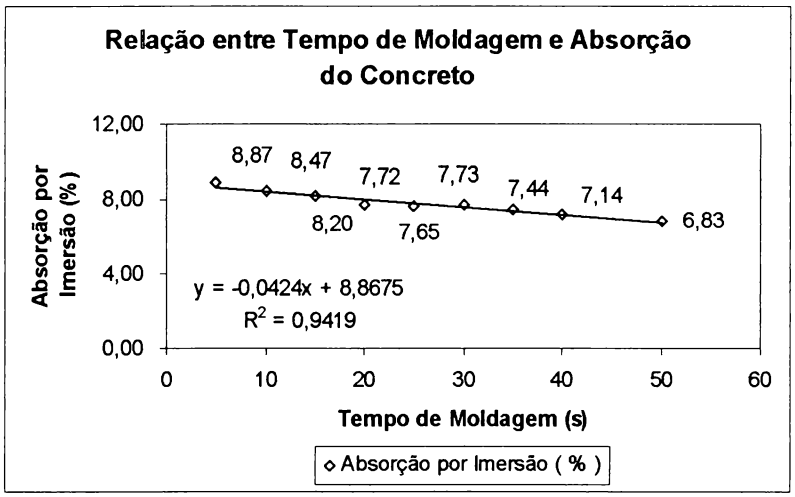
Uma vez mais, verifica-se que esta tendência ocorre em função do arranjo entre as partículas de agregado e da pasta de cimento, tanto melhores quanto maiores os tempos de exposição do concreto à vibro-compressão.

A relação entre absorção do concreto e tempos de moldagem equivalentes, dentro dos parâmetros deste estudo, segue uma relação linear, representada pela expresão:

$$y = -0{,}0424x + 8{,}8675 \qquad (89)$$

O gráfico apresentado na Figura A1.4, representa este comportamento.

FIGURA A1.4 - RELAÇÃO ENTRE TEMPO DE MOLDAGEM E ABSORÇÃO DO CONCRETO POR IMERSÃO



1.6.2.3 - Índice de Vazios do Concreto.

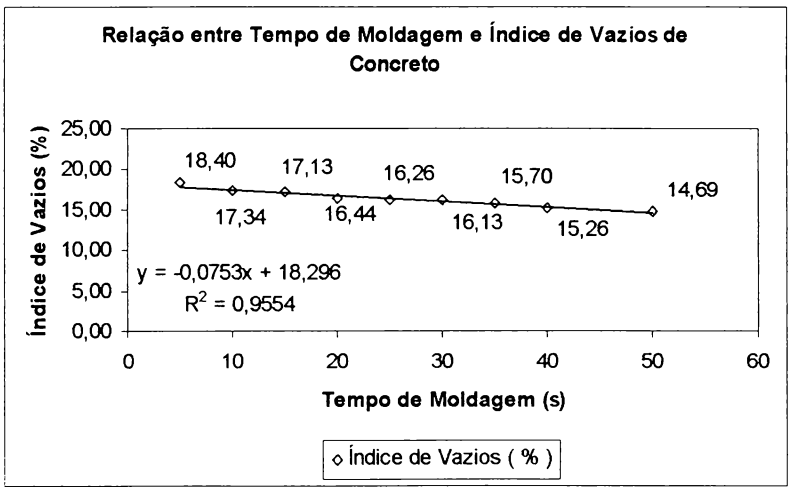
O concreto apresenta uma redução do índice de vazios, em relação ao aumento do tempo de moldagem equivalente. Fato, também explicado pela melhor acomodação das partículas de agregado e da pasta de cimento.

Para esta pesquisa, este comportamento seguiu uma relação linear representada pela expressão:

$$y = -0{,}0753x + 18{,}296 \qquad (90)$$

Este comportamento pode ser observado no gráfico apresentado na Figura A1.5.

FIGURA A1.5 - RELAÇÃO ENTRE TEMPO DE MOLDAGEM E ÍNDICE DE VAZIOS DO CONCRETO



1.7 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MOLDAGEM EQUIVALENTE, SOBRE A RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO

Verificou-se o desempenho à compressão, dos concretos moldados com diferentes tempos de moldagens. Os valores individuais determinados encontram-se elencados no Apêndice 5, deste trabalho, sendo os resultados médios, apresentados na Tabela A1.6.

TABELA A1.6 - DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO MOLDADO NA MESA VIBRATÓRIA, EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO TEMPO DE MOLDAGEM

Tempo de Moldagem (s)	Resistência à Compressão (MPa)
5	3,79
10	4,59
15	5,50
20	6,93
25	7,25
30	7,89
35	8,47
40	9,49
50	10,20

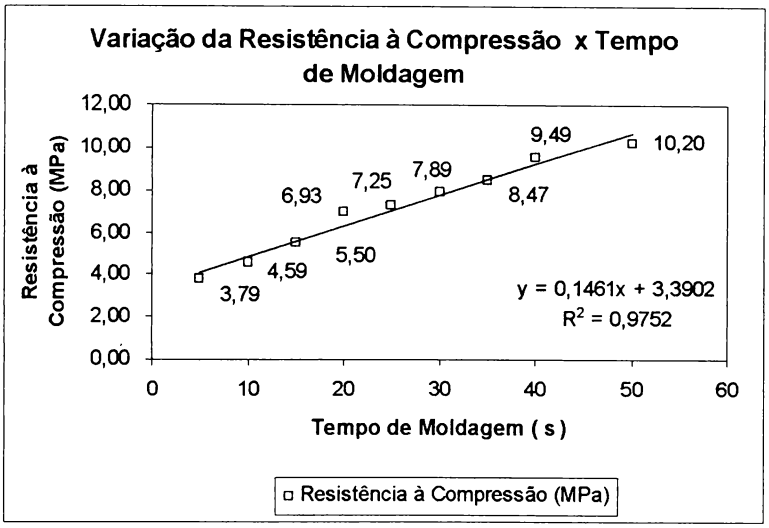
Este comportamento pode ser explicado, também, pela melhor condição de arranjo das partículas, verificada para os maiores períodos de tempo em que o concreto fora exposto ao processo de vibro-compressão, resultando num menor índice de vazios, maior compacidade e conseqüentes melhores desempenhos frente às solicitações de compressão.

A variação da resistência à compressão do concreto, em função dos tempos de moldagem determinados, segue, dentro dos limites desta pesquisa, uma relação linear, dada pela expressão:

$$y = 0{,}1461x + 3{,}3902 \qquad (91)$$

Este comportamento pode ser observado no gráfico apresentado na Figura A1.6.

FIGURA A1.6 - RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO, AOS 7 DIAS DE IDADE, EM RELAÇÃO AOS TEMPOS DE MOLDAGEM



1.8 DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM NAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MECÂNICAS DO CONCRETO

Conforme revisão bibliográfica, TANGO (1984) indica que partindo de concretos secos, até certos teores de umidade, há uma melhora do desempenho do material frente às solicitações à compressão, e que com o aumento gradativo dos teores de umidade, a partir de certos valores, há uma influência negativa sobre a resistência mecânica do concreto.

Espera-se, em função dos altos teores de absorção verificados pela adição de poliuretano expandido reciclado, haja a necessidade de aumentos expressivos nos valores de umidade de moldagem.

Esta investigação busca analisar a influência dos teores de umidade de moldagem sobre o concreto para pré-fabricados, produzidos com o sistema alternativo de moldagem, de modo a permitir uma previsão da magnitude desta influência com o concreto que sofrerá a adição da espuma rígida de PU expandido

reciclado.

Neste estudo foram moldados, utilizando o sistema alternativo de moldagem, 6 séries de 6 corpos-de-prova cilíndricos, (36 corpos-de-prova), com diâmetro de 100 mm, variando os teores de umidade de 4,5% à 9,5%, com variações de 5% em 5%, de acordo com o memorial apresentado na Tabela A1.7.

TABELA A1.7 - ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM - NÚMERO DE CORPOS-DE-PROVA E ENSAIOS PROGRAMADOS

Determinações	Umidade de Moldagem (%)					
	4,5%	5,5%	6,5%	7,5%	8,5%	9,5%
Massa Específica Estado Fresco	2	2	2	2	2	2
Massa Específica no Estado Endurecido Índice de Vazios Absorção por Imersão	2	2	2	2	2	2
Resistência à Compressão (7 dias)	2	2	2	2	2	2
Total	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**	**6**

1.8.1 Análise da Influência do Teor de Umidade de Moldagem sobre as Características Físicas do Concreto

Iniciou-se este estudo, a partir da investigação da influência dos diversos teores de moldagem adotados, sobre a massa específica do concreto no estado fresco, com intenção de verificar qual quantidade de água de amassamento que possibilitaria a produção de um concreto mais compacto.

Depois, passou-se a investigar a influência do teor de umidade de moldagem sobre as demais características do concreto endurecido, pela determinação da massa específica, absorção de água por imersão e índice de vazios do concreto, com a idade de 7 dias.

1.8.1.1 Influência da umidade de moldagem sobre a massa específica do concreto no estado fresco

Durante as moldagens determinaram-se as massas específicas do

concreto no estado fresco, mediante a pesagem do concreto recém moldado, excluindo-se a massa dos moldes. Após este procedimento, efetuaram-se novas moldagens de corpos-de-prova, para determinação da massa específica do concreto no estado endurecido, índice de vazios, absorção de água por imersão, conforme a NBR 9.778 (1987) e resistência à compressão aos sete dias de idade, conforme NBR 5.739 (1994).

Em todas as moldagens o tempo de adensamento foi fixado em 30 segundos.

Os resultados de todas as determinações encontram-se apresentadas no Apêndice 5, deste trabalho, e um resumo está apresentado na Tabela A1.8.

TABELA A1.8 - DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA E DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM

Umidade de Moldagem (%)	Massa Específica Concreto Fresco (kg/m³)
4,5	2.019,37
5,5	2.110,40
6,5	2.214,81
7,5	2.334,16
8,5	2.365,69
9,5	2.342,85

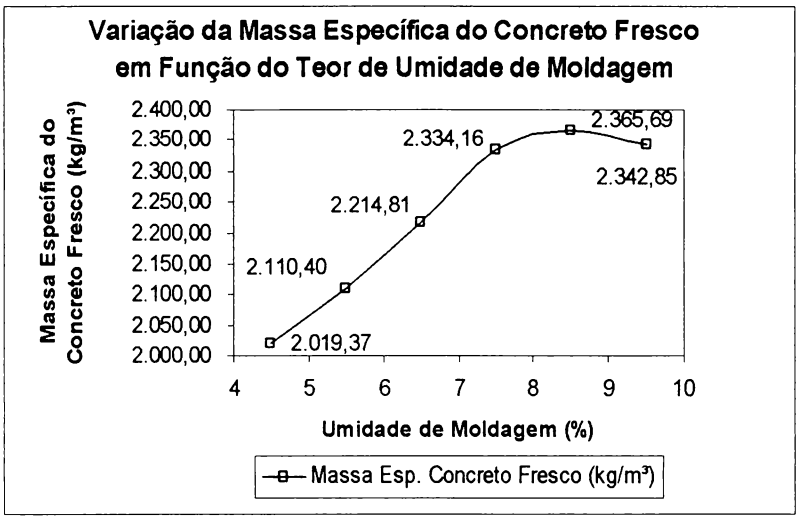
Conforme verificado, até 8,5% de umidade de moldagem, há um aumento dos valores da massa específica do concreto fresco, a partir de 9,5%, verifica-se uma queda deste valor.

Tal comportamento explica-se pela melhor condição de adensamento do concreto, e conseqüente melhor disposição e arranjo entre as partículas dos agregados e pasta de cimento, que ocorre com os teores de umidade de moldagem até 8,5%.

A partir de 9,5% de umidade de moldagem, verifica-se a tendência do concreto apresentar água em excesso, ocupando o espaço de parte do concreto, e que por possuir massa específica menor que os demais materiais constituintes do concreto, promove uma redução do valor da massa específica.

Este comportamento fica evidenciado no gráfico apresentado na Figura A1.7.

FIGURA A1.7 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO, PRODUZIDO COM O SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE UMIDADE DE MOLDAGEM ADOTADOS



1.8.1.2 - Variação da umidade de moldagem sobre as características físicas do concreto no estado endurecido

Os valores determinados para a massa específica do concreto no estado endurecido, absorção de água por imersão e índice de vazios do concreto, em função da variação dos teores de umidade e utilizando o sistema alternativo de moldagem, estão apresentados na Tabela A1.9.

TABELA A1.9 - VARIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO, PRODUZIDO COM O SISTEMA MOLDAGEM ALTERNATIVA, EM RELAÇÃO AOS TEORES DE UMIDADE DE MOLDAGEM ADOTADOS

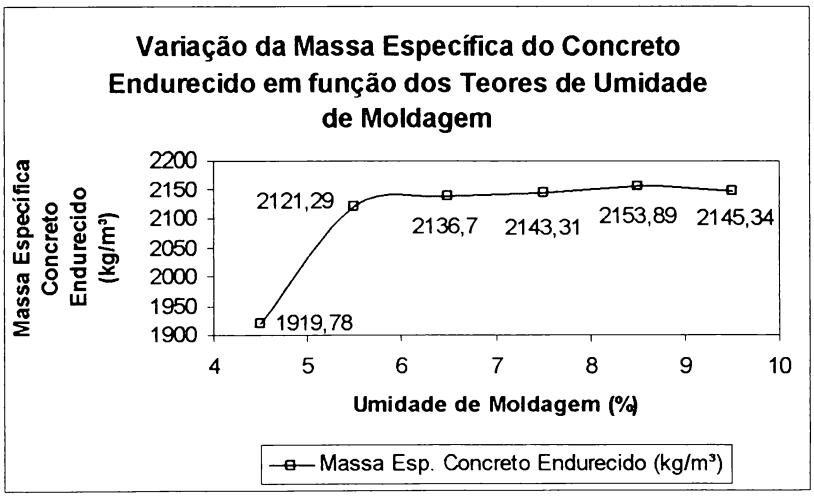
Umidade de Moldagem (%)	Massa Específica Endurecido Seco (kg/m³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
4,5	1.919,78	12,96	24,86
5,5	2.121,29	8,37	17,75
6,5	2.136,70	7,78	16,33
7,5	2.143,31	7,73	16,13
8,5	2.153,89	7,30	15,55
9,5	2.144,34	7,49	16,03

1.8.2 Variação da Umidade de Moldagem sobre a Massa Específica do Concreto Endurecido

Conforme esperado, a massa específica do concreto no estado endurecido, acompanhou a mesma tendência da massa específica do concreto no estado fresco, porém apresentando aumentos menos expressivos que aqueles, até o teor de umidade de moldagem de 8,5%, e um decréscimo de valor para o teor de umidade de 9,5%.

Este comportamento é ilustrado pelo gráfico apresentado na Figura A1.8.

FIGURA A1.8 - VARIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO ENDURECIDO EM FUNÇÃO DOS TEORES DE UMIDADE DE MOLDAGEM



1.8.2.1 Variação do índice de vazios e da absorção do concreto, por Imersão, em função do teor de umidade de moldagem

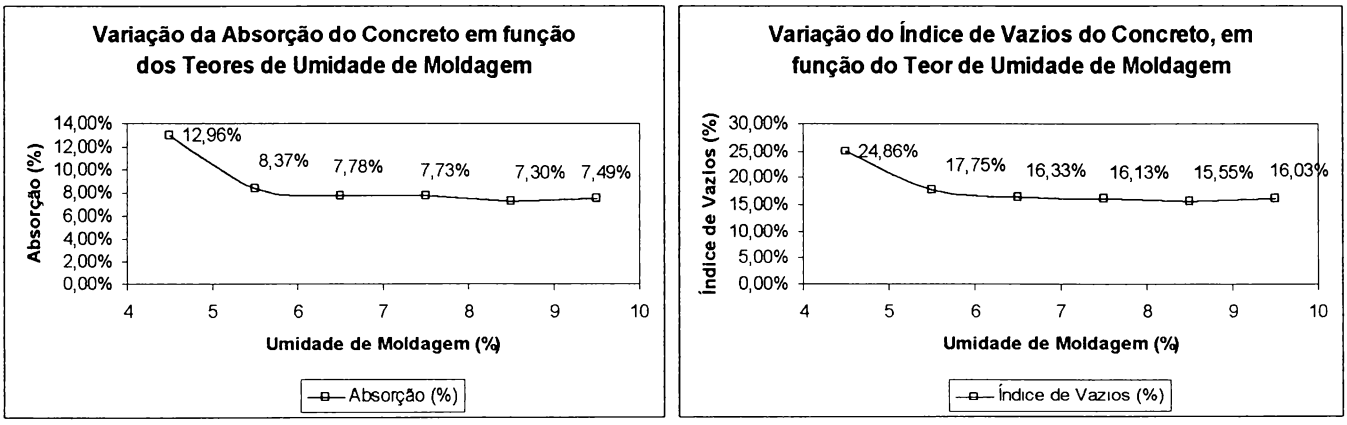
De maneira inversamente proporcional ao que se verifica com a massa específica do concreto, o índice de vazios e a absorção de água por imersão, apresentam decréscimos de valores até o teor de umidade de moldagem de 8,5%, e um ligeiro aumento para o teor de 9,5%.

Este comportamento se explica pela redução da porosidade do concreto (índice de vazios), observada até o teor de umidade de 8,5%, quando a pasta formada pela água de amassamento e o cimento, proporcionam um melhor arranjo entre as partículas dos agregados, produzindo um material mais compacto, e com menores valores para absorção de água.

A partir de teores de umidade de moldagem de 9,5%, a evaporação do excesso da água de moldagem, introduz um aumento do índice de vazios do concreto, com reflexos sobre os valores de massa específica e absorção.

Os gráficos apresentados na Figura A1.9, evidenciam este comportamento.

FIGURA A1.9 - RELAÇÃO ENTRE ÍNDICES DE VAZIOS E ABSORÇÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DE MOLDAGEM ADOTADOS



1.8.3 Determinação da Influência do Teor de Umidade de Moldagem sobre a Resistência do Concreto à Compressão

Neste estudo, adotou-se a resistência do concreto à compressão, aos 7 dias de idade, como parâmetro de comparação entre o concreto produzido com os diversos teores de umidade, utilizando o sistema alternativo de moldagem.

Os valores médios para a resistência à compressão, determinado para o concreto produzido com o sistema alternativo de moldagem, estão apresentados na Tabela A1.10, sendo os valores unitários, que geraram estes valores médios, apresentados no Apêndice 5 desta dissertação.

TABELA A1.10 - VALORES DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO AOS TEORES DE UMIDADE DE MOLDAGEM

Umidade de Moldagem (%)	Resistência à Compressão (MPa)
4,5	3,35
5,5	3,65
6,5	6,41
7,5	7,89
8,5	8,10
9,5	7,49

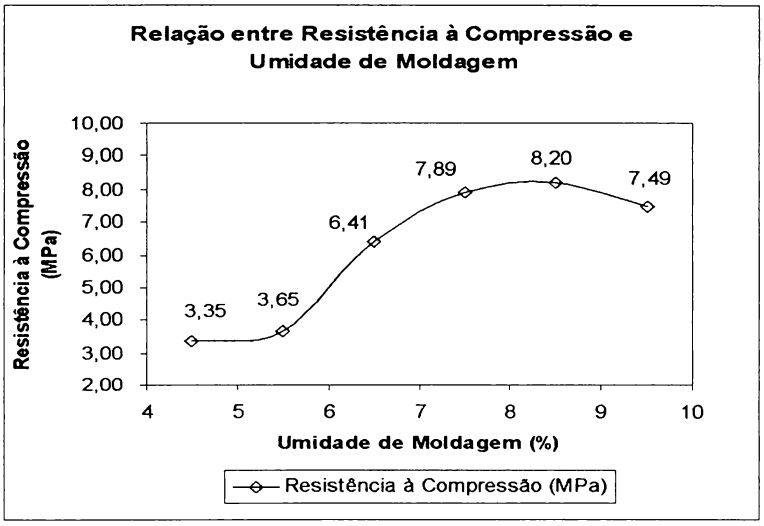
Seguindo a mesma tendência dos valores verificados para a massa específica, a resistência à compressão do concreto também se comporta com elevação dos valores até certos valores de umidade de moldagem, no caso a maior resistência foi observada para o teor de umidade de 8,5%, com decréscimo destes valores para teores maiores de umidade da mistura.

Isto vem a comprovar o analisado na revisão bibliográfica, onde TANGO (1984), indicava que as resistências à compressão do concreto, seriam conseguidas para os teores de umidade que possibilitassem a produção de concretos mais

densos.

O comportamento da resistência à compressão do concreto, frente as variações de umidade de moldagem, determinadas nesta pesquisa, podem ser observados no Apêndice 5, deste trabalho, e os valores médios, no gráfico apresentado na Figura A1.10.

FIGURA A1.10 - VARIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, EM FUNÇÃO DA ALTERAÇÃO DOS TEORES DE UMIDADE DE MOLDAGEM



1.9 DETERMINAÇÃO DA CONSISTÊNCIA FINAL DO CONCRETO

Analisando os resultados das investigações feitas com o concreto moldado com o auxílio da mesa vibratória e do contra-peso de massa igual a 10,0 kg, e comparando estes valores com as características dos blocos de concreto produzidos na vibro-prensa, conclui-se que a consistência de moldagem que melhor reproduz àquele concreto é o que conta com os tempos de moldagem equivalente determinado no item 5.1 e umidade de moldagem igual a 8,0%.

APÊNDICE 2 – ENSAIOS DE CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO MIÚDO

Procedência: Areial Esmanhoto – Curitiba (PR)

TABELA A2.1 – AGREGADO MIÚDO - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Peneira (mm)	Material Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
12,50	-	-	-
9,50	-	-	-
6,30	-	-	-
4,80	7,0	0,7	0,7
2,40	37,0	3,7	4,4
1,20	110,0	11,0	15,4
0,60	298,0	29,8	45,2
0,30	326,0	32,6	77,8
0,15	150,0	15,0	92,8
Fundo	72,0	7,2	100,0
Total	1.000,0	100,0	

FIGURA A2.1 – AGREGADO MIÚDO – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

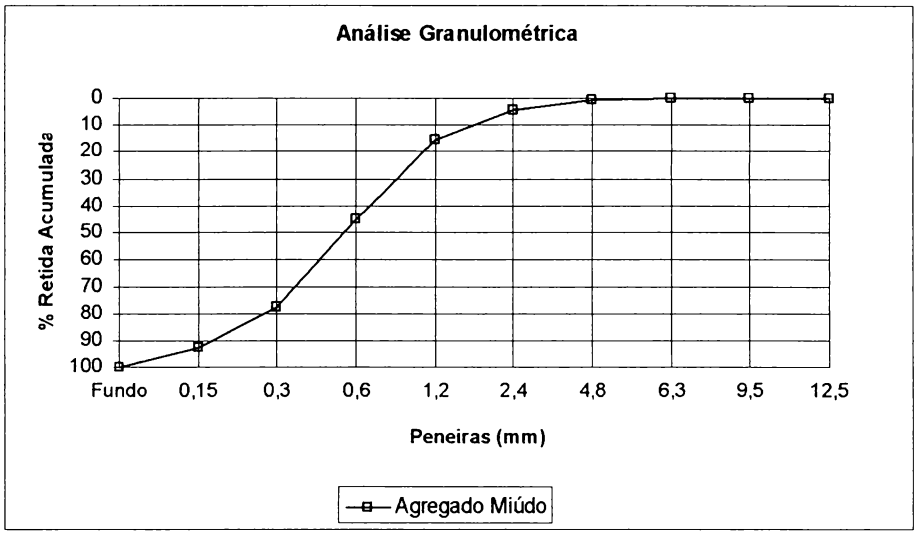


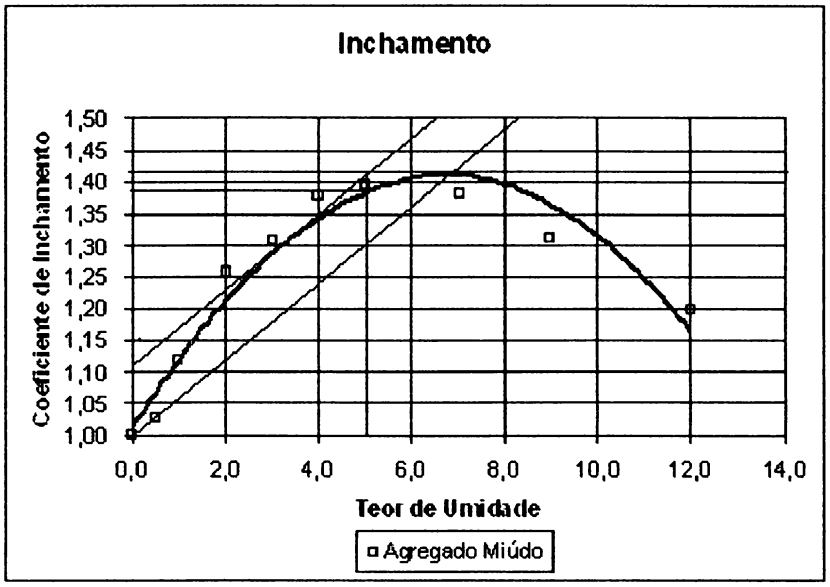
TABELA A2.2 – AGREGADO MUÍDO - CARACTERÍSTICAS

Características	Norma	Resultado
Massa Específica (kg/dm³)	NBR 9776/ 87	2,63
Massa Unitária (kg/dm³)	NBR 7810/ 83	1,62
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR 7217/ 87	2,40
Módulo de Finura	NBR 7217/ 87	2,36
Teror de Material Pulverulento (%)	NBR 7219/ 87	2,70
Agregado Miúdo (%)	NBR 7217/ 87	96,60
Agregado Graúdo (%)	NBR 7217/ 87	0,70
Teor de Argila em Torrões (%)	NBR 7218/ 82	0,00
Teor de Matéria Orgânica (ppm)	NBR 7220/ 87	< 100,00
Absorção de Água (%)	NBR 9777/ 87	1,47
Coeficiente de Inchammeto Médio	NBR 6467/ 87	1,39
Teor de Umidade Crítica (%)	NBR 6467/ 87	5,00
Classificação	NBR 7211/ 83	Areia Média Zona - 3 ABNT

TABELA A2.3 – AGREGADO MIÚDO - INCHAMENTO

Umidade (%)	M. Água (g)	V. Cx (dm³)	M. Areia (kg)	M.Esp. Apa. (kg/dm³)	Coefic. Inch. (Vh/Vs)
-	-	3,03	4,382	1,45	1,00
0,5	40,0	3,03	4,284	1,42	1,03
1,0	40,0	3,03	3,956	1,31	1,12
2,0	80,0	3,03	3,559	1,18	1,26
3,0	80,0	3,03	3,454	1,14	1,31
4,0	80,0	3,03	3,310	1,09	1,38
5,0	80,0	3,03	3,303	1,09	1,39
7,0	160,0	3,03	3,400	1,12	1,38
9,0	160,0	3,03	3,645	1,20	1,31
12,0	240,0	3,03	4,100	1,36	1,20

FIGURA A2.2 – AGREGADO MIUDO – DETERMINAÇÃO DO INCHAMENTO



2.2 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO GRAÚDO

Procedência: Pedreira Central – Curitiba (PR).

TABELA A2.4 – AGREGADO GRAÚDO – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Peneira (mm)	Material Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
12,50	-	-	-
9,50	40,0	4,0	4,0
6,30	558,0	55,8	59,8
4,80	231,0	23,1	82,9
2,40	142,0	14,2	97,1
1,20	12,0	1,2	98,3
0,60	1,0	0,1	98,4
0,30	1,0	0,1	98,5
0,15	1,0	0,1	98,6
Fundo	14,0	1,4	100,0
Total	1.000,0	100,0	

FIGURA A2.3 – AGREGADO GRAÚDO – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

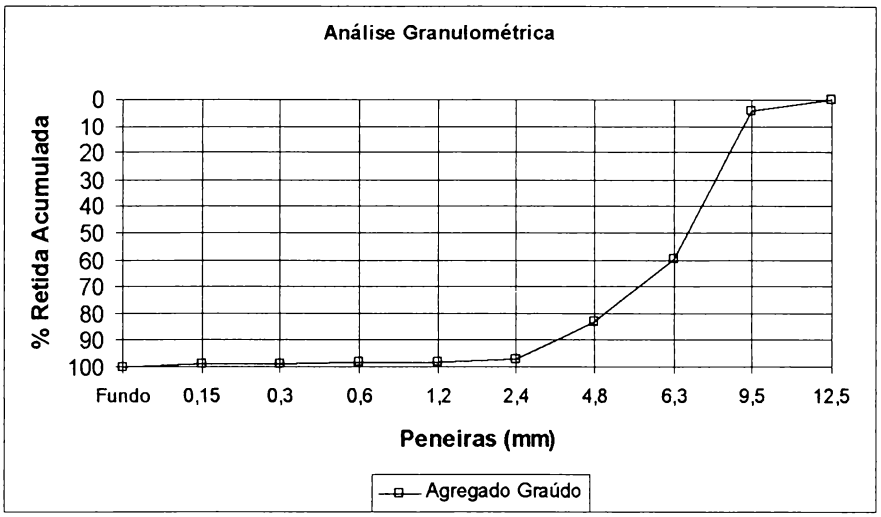


TABELA A2.5 – CARACTERÍSTICAS – AGREGADO GRAÚDO

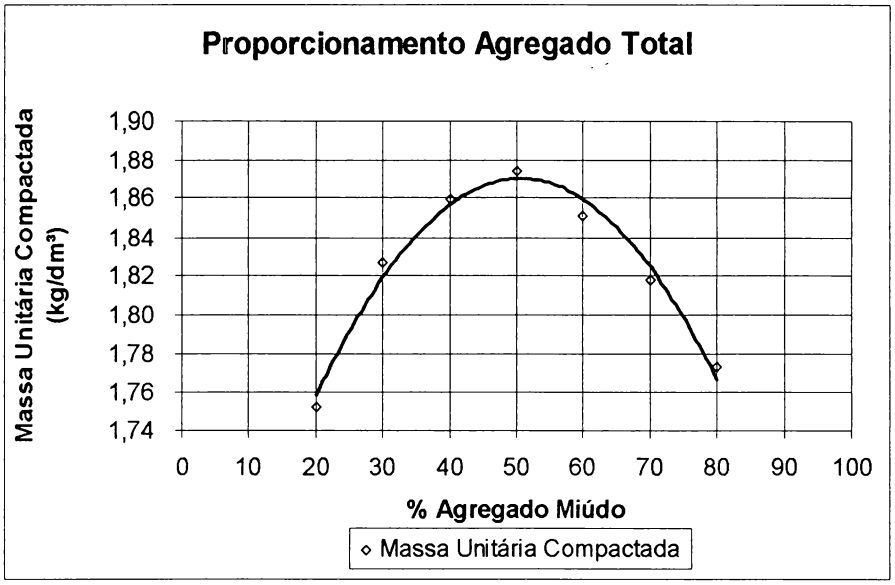
Características	Norma	Resultado
Massa Específica (kg/dm³)	NBR 9776/ 87	2,70
Massa Unitária (kg/dm³)	NBR 7810/ 83	1,40
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR 7217/ 87	9,50
Módulo de Finura	NBR 7217/ 87	5,78
Teror de Material Pulverulento (%)	NBR 7219/ 87	0,98
Agregado Miúdo (%)	NBR 7217/ 87	16,12
Agregado Graúdo (%)	NBR 7217/ 87	82,90
Teor de Argila em Torrões (%)	NBR 7218/ 82	0,00
Absorção de Água (%)	NBR 9777/ 87	0,80
Classificação	NBR 7211/ 83	Brita 0 + Ag. Miúdo

2.3 CARACTERIZAÇÃO DO AGREGADO TOTAL

TABELA A2.6 – DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA COMPACTADA

Pó + Pedrisco (%)	Areia (%)	Massa Unit. Compactada (g)	Massa Unit. Compactada (kg/dm³)
80,0	20,0	20,0	1,75
70,0	30,0	30,0	1,83
60,0	40,0	40,0	1,86
50,0	50,0	50,0	1,87
40,0	60,0	60,0	1,85
30,0	70,0	70,0	1,82
20,0	80,0	80,0	1,77

FIGURA A2.4 – DETERMINAÇÃO DA MASSA UNITÁRIA COMPACTADA



2.3.1 Agregado Total Composição 50% Brita 0 e 50% Areia (M.Unit. Compactada = 1,87 kg/dm^3).

TABELA A2.7 – AGREGADO TOTAL (50%/50%) – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Peneira (mm)	Material Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
12,50	-	-	-
9,50	42,0	4,2	4,2
6,30	235,0	23,5	27,7
4,80	148,0	14,8	42,5
2,40	80,0	8,0	50,5
1,20	58,0	5,8	56,3
0,60	130,0	13,0	69,3
0,30	177,0	17,7	87,0
0,15	82,0	8,2	95,2
Fundo	48,0	4,8	100,0
Total	1.000,0	100,0	

FIGURA A2.5 – AGREGADO TOTAL (50%/ 50%) – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

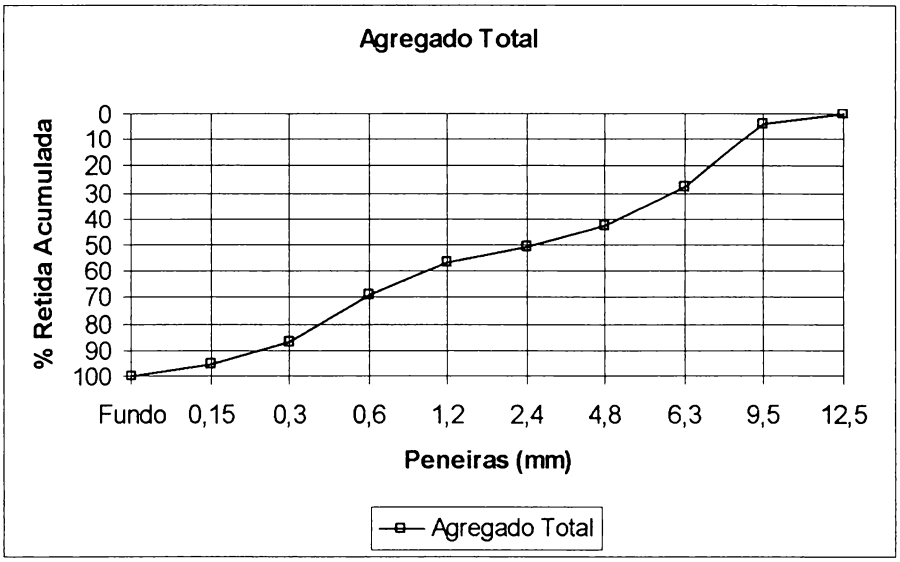


TABELA A2.8 – AGREGADO TOTAL (50%/ 50%) - CARACTERÍSTICAS

Características	Norma	Resultado
Massa Específica (kg/dm^3)	NBR 9776/ 87	2,65
Massa Unitária (kg/dm^3)	NBR 7810/ 83	1,52
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR 7217/ 87	9,50
Módulo de Finura	NBR 7217/ 87	4,01
Teror de Material Pulverulento (%)	NBR 7219/ 87	1,50
Agregado Miúdo (%)	NBR 7217/ 87	56,00
Agregado Graúdo (%)	NBR 7217/ 87	42,50
Teor de Argila em Torrões (%)	NBR 7218/ 82	0,00
Classificação	NBR 7211/ 83	Brita 0 + Agr. Miúdo

2.3.2 Agregado Total Composição 40% Brita 0 e 60% Areia (M.Unit. Compactada = 1,85 kg/dm^3).

TABELA A2.9 – AGREGADO TOTAL (40%/60%) – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

Peneira (mm)	Material Retido (g)	% Retida	% Retida Acumulada
12,50	-	-	-
9,50	38,0	3,8	3,8
6,30	213,0	21,3	25,1
4,80	113,0	11,3	36,4
2,40	61,0	6,1	42,5
1,20	66,0	6,6	49,1
0,60	165,0	16,5	65,6
0,30	201,0	20,1	85,7
0,15	90,0	9,0	94,7
Fundo	53,0	5,3	100,0
Total	1.000,0	100,0	

FIGURA A2.6 - AGREGADO TOTAL (40%/60%) – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

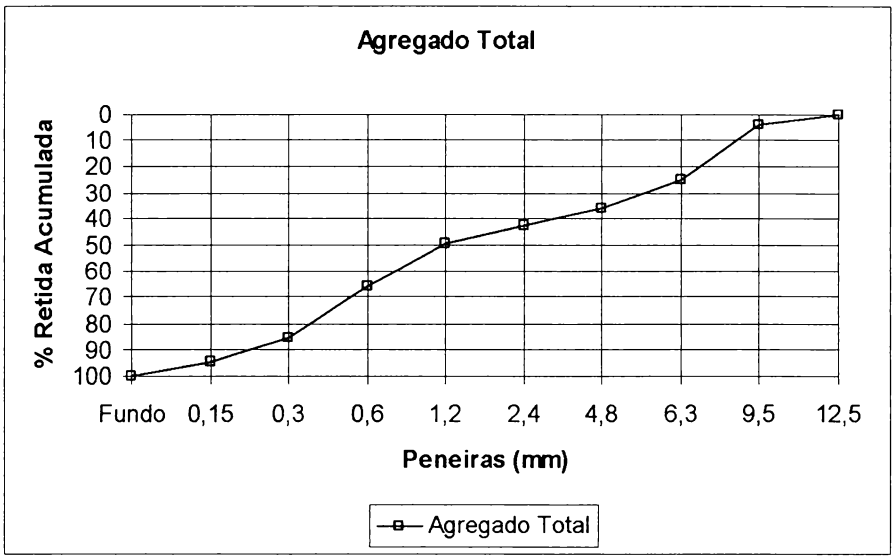


TABELA A2.10 – AGREGADO TOTAL (40%/60%) - CARACTERÍSTICAS

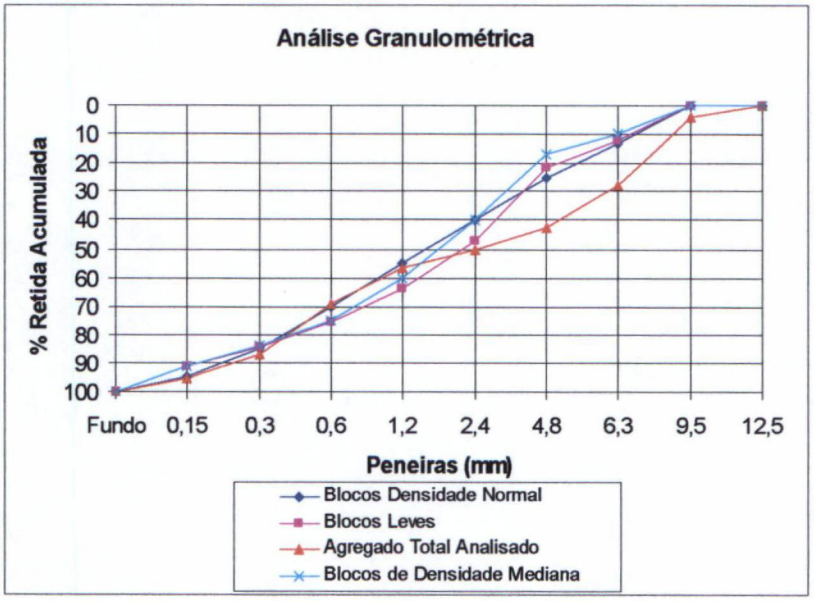
Características	Norma	Resultado
Massa Específica (kg/dm^3)	NBR 9776/ 87	2,66
Massa Unitária (kg/dm^3)	NBR 7810/ 83	1,69
Dimensão Máxima Característica (mm)	NBR 7217/ 87	9,50
Módulo de Finura	NBR 7217/ 87	3,74
Teror de Material Pulverulento (%)	NBR 7219/ 87	1,60
Agregado Miúdo (%)	NBR 7217/ 87	62,00
Agregado Graúdo (%)	NBR 7217/ 87	36,40
Teor de Argila em Torrões (%)	NBR 7218/ 82	0,00
Classificação	NBR 7211/ 83	Brita 0 + Agr. Miúdo

2.3.3 Comparação da Curva Granulométrica do Agregado Total com Proporcionamento de 50% de Agregado Miúdo e 50% de Agregado Graúdo, com Granulometrias Padrão para Blocos de Concreto segundo PFEIFFENBERGER (1985), apud MEDEIROS (1993).

TABELA A2.11 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AGREGADO TOTAL (50%/50%) – COMPARAÇÃO COM CURVAS PADRÃO

Peneira (mm)	Bloco Normal	Bloco de Densid. Mediana	Bloco Leve	Agregado Ensaiado
12,50	-	-	-	-
9,50	-	-	-	4,20
6,30	13,00	10,00	12,00	27,70
4,80	25,00	17,00	21,50	42,50
2,40	40,00	40,00	47,00	50,50
1,20	55,00	60,00	64,00	56,30
0,60	70,00	75,00	75,50	69,30
0,30	85,00	84,00	84,50	87,00
0,15	95,00	91,00	91,00	95,20
Fundo	100,00	100,00	100,00	100,00
Módulo de Finura	3,70	3,67	3,84	**4,01**

FIGURA A2.7 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AGREGADO TOTAL (50%/50%) – COMPARAÇÃO COM CURVAS PADRÃO

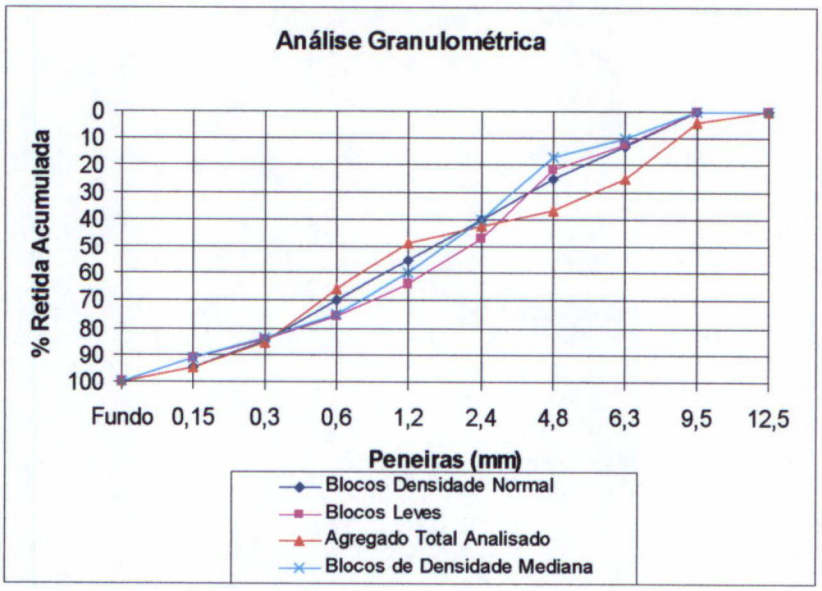


2.3.4 Comparação da Curva Granulométrica do Agregado Total com Proporcionamento de 40% de Agregado Graúdo e 60% de Agregado Miúdo, com Granulometrias Padrão para Blocos de Concreto segundo PFEIFFENBERGER (1985), MEDEIROS (1993).

TABELA A2.12 – ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AGREGADO TOTAL (50%/50%) – COMPARAÇÃO COM CURVAS PADRÃO

Peneira (mm)	Bloco Normal	Bloco de Densid. Mediana	Bloco Leve	Agregado Ensaiado
12,50	-	-	-	-
9,50	-	-	-	3,80
6,30	13,00	10,00	12,00	25,10
4,80	25,00	17,00	21,50	36,40
2,40	40,00	40,00	47,00	42,50
1,20	55,00	60,00	64,00	49,10
0,60	70,00	75,00	75,50	65,60
0,30	85,00	84,00	84,50	85,70
0,15	95,00	91,00	91,00	94,70
Fundo	100,00	100,00	100,00	100,00
Módulo de Finura	3,70	3,67	3,84	**3,74**

FIGURA A2.8 - ANÁLISE GRANULOMÉTRICA AGREGADO TOTAL (50%/50%) – COMPARAÇÃO COM CURVAS PADRÃO



APÊNDICE 3 – ESTUDO DOS TRAÇOS DO CONCRETO

3.1 Transformação dos Traços em Volume, para Massa, Considerando as Características Físicas dos Materiais Utilizados

TABELA A3.1 - TRAÇO 1:6 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 50% DE AGREGADO GRAÚDO E 50% DE AGREGADO MIÚDO

Traço em Volume	1:6	Massa Unitária (kg/dm³)	Massa Esp. Absoluta (kg/dm³)	Massa Material Solto (kg)	Volume Absoluto (dm³)	Traço em Massa 1,00 m³ (kg)	Volume Absoluto 1,00 m³ (dm³)
Materiais	Proporcionamento						
Cimento	1	1,50	3,00	1,50	0,50	337,30	112,43
Areia (50%)	3	1,62	2,63	4,86	1,85	1.092,86	415,53
Brita 0 (50%)	3	1,40	2,70	4,20	1,56	944,44	349,79
Água Hm = 6,0 %				0,54	0,54	122,24	122,24
Água a Adicionar para Umidades de Moldagem:						Total:	1.000,00
Hm = 6,5%						10,19	132,42
Hm = 7,0%						10,19	142,61
Hm = 7,5%						10,19	152,80
Hm = 8,0%						10,19	162,98
Hm = 8,5%						10,19	173,17
Hm = 9,0%						10,19	183,36

TABELA A3.2 - TRAÇO 1:6 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 40% DE AGREGADO GRAÚDO E 60% DE AGREGADO MIÚDO

Traço em Volume	1:6	Massa Unitária (kg/dm³)	Massa Esp. Absoluta (kg/dm³)	Massa Material Solto (kg)	Volume Absoluto (dm³)	Traço em Massa 1,00 m³ (kg)	Volume Absoluto 1,00 m³ (dm³)
Matenais	Proporcionamento						
Cimento	1	1,50	3,00	1,50	0,50	332,34	110,78
Areia (60%)	3,6	1,62	2,63	5,83	2,22	1.292,14	491,31
Brita 0 (40%)	2,4	1,40	2,70	3,36	1,24	744,44	275,72
Água Hm = 6,0 %				0,55	0,55	122,19	122,19
Água a Adicionar para Umidades de Moldagem:						Total:	1.000,00
Hm = 6,5%						10,18	132,38
Hm = 7,0%						10,18	142,56
Hm = 7,5%						10,18	152,74
Hm = 8,0%						10,18	162,93
Hm = 8,5%						10,18	173,11
Hm = 9,0%						10,18	183,29

TABELA A3.3 - TRAÇO 1:8 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 50% DE AGREGADO GRAÚDO E 50% DE AGREGADO MIÚDO

Traço em Volume	1:8	Massa Unitária (kg/dm³)	Massa Esp. Absoluta (kg/dm³)	Massa Material Solto (kg)	Volume Absoluto (dm³)	Traço em Massa 1,00 m³ (kg)	Volume Absoluto 1,00 m³ (dm³)
Materiais	Proporcionamento						
Cimento	1	1,50	3,00	1,50	0,50	260,29	86,76
Areia (50%)	4	1,62	2,63	6,48	2,46	1.124,46	427,55
Brita 0 (50%)	4	1,40	2,70	5,60	2,07	971,76	359,91
Água Hm = 6,0 %				0,72	0,72	125,77	125,77
Água a Adicionar para Umidades de Moldagem:						Total:	1.000,00
Hm = 6,5%						10,48	136,25
Hm = 7,0%						10,48	146,74
Hm = 7,5%						10,48	157,22
Hm = 8,0%						10,48	167,70
Hm = 8,5%						10,48	178,18
Hm = 9,0%						10,48	188,66

TABELA A3.4 - TRAÇO 1:8 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 40% DE AGREGADO GRAÚDO E 60% DE AGREGADO MIÚDO

Traço em Volume	1:8	Massa	Massa Esp.	Massa Material	Volume	Traço em Massa	Volume Absoluto
Materiais	Proporcionamento	Unitária (kg/dm³)	Absoluta (kg/dm³)	Solto (kg)	Absoluto (dm³)	1,00 m³ (kg)	1,00 m³ (dm³)
Cimento	1	1,50	3,00	1,50	0,50	256,35	85,45
Areia (60%)	4,8	1,62	2,63	7,78	2,96	1.328,94	505,30
Brita 0 (40%)	3,2	1,40	2,70	4,48	1,66	765,65	283,57
Água Hm = 6,0 %				0,74	0,74	125,68	125,68
Água a Adicionar para Umidades de Moldagem:						Total:	1.000,00
Hm = 6,5%						10,47	136,15
Hm = 7,0%						10,47	146,62
Hm = 7,5%						10,47	157,09
Hm = 8,0%						10,47	167,57
Hm = 8,5%						10,47	178,04
Hm = 9,0%						10,47	188,51

TABELA A3.5 - TRAÇO 1:10 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 50% DE AGREGADO GRAÚDO E 50% DE AGREGADO MIÚDO

Traço em Volume	1:10	Massa	Massa Esp.	Massa Material	Volume	Traço em Massa	Volume Absoluto
Materiais	Proporcionamento	Unitária (kg/dm³)	Absoluta (kg/dm³)	Solto (kg)	Absoluto (dm³)	1,00 m³ (kg)	1,00 m³ (dm³)
Cimento	1	1,50	3,00	1,50	0,50	211,91	70,64
Areia (50%)	5	1,62	2,63	8,10	3,08	1.144,32	435,10
Bnta 0 (50%)	5	1,40	2,70	7,00	2,59	988,92	366,27
Água Hm = 6,0 %				0,91	0,91	127,99	127,99
Água a Adicionar para Umidades de Moldagem:						Total:	1.000,00
Hm = 6,5%						10,67	138,66
Hm = 7,0%						10,67	149,33
Hm = 7,5%						10,67	159,99
Hm = 8,0%						10,67	170,66
Hm = 8,5%						10,67	181,33
Hm = 9,0%						10,67	191,99

TABELA A3.6 - TRAÇO 1:10 COM AGREGADO TOTAL COMPOSTO DE 40% DE AGREGADO GRAÚDO E 60% DE AGREGADO MIÚDO

Traço em Volume	1:10	Massa	Massa Esp.	Massa Material	Volume	Traço em Massa	Volume Absoluto
Materiais	Proporcionamento	Unitária (kg/dm³)	Absoluta (kg/dm³)	Solto (kg)	Absoluto (dm³)	1,00 m³ (kg)	1,00 m³ (dm³)
Cimento	1	1,50	3,00	1,50	0,50	208,65	69,55
Areia (60%)	6	1,62	2,63	9,72	3,70	1.352,05	514,09
Bnta 0 (40%)	4	1,40	2,70	5,60	2,07	778,96	288,50
Água Hm = 6,0 %				0,92	0,92	127,86	127,86
Água a Adicionar para Umidades de Moldagem:						Total:	1.000,00
Hm = 6,5%						10,66	138,52
Hm = 7,0%						10,66	149,17
Hm = 7,5%						10,66	159,83
Hm = 8,0%						10,66	170,48
Hm = 8,5%						10,66	181,14
Hm = 9,0%						10,66	191,79

APÊNDICE 4 – ESTUDO PILOTO – RESULTADO DOS ENSAIOS COM OS BLOCOS DE REFERÊNCIA

4.1 Determinação da Resistência à Compressão

TABELA A4.1 CONCRETO COM AGREGADO TOTAL COMPOSIÇÃO DE 50% AGREGADO GRAÚDO E 50% AGREGADO MIÚDO

Traço	Corpo de Prova	Resistência à Compressão (MPa)		
		3 dias	7 dias	28 dias
1:6	BL-1	6,54	10,66	11,22
	BL-2	8,76	10,51	10,23
Valores Médios		**7,65**	**10,59**	**10,73**
1:8	BL-1	4,87	6,52	8,72
	BL-2	5,15	6,79	8,68
Valores Médios		**5,01**	**6,66**	**8,70**
1:10	BL-1	4,95	5,12	6,43
	BL-2	4,00	5,46	7,53
Valores Médios		**4,48**	**5,29**	**6,98**

TABELA A4.2 CONCRETO COM AGREGADO TOTAL COMPOSIÇÃO DE 40% AGREGADO GRAÚDO E 60% AGREGADO MIÚDO

Traço	Corpo de Prova	Resistência à Compressão (MPa)		
		3 dias	7 dias	28 dias
1:6	BL-1	5,70	7,60	10,78
	BL-2	5,53	9,03	9,58
Valores Médios		**5,62**	**8,32**	**10,18**
1:8	BL-1	4,53	5,41	6,43
	BL-2	4,43	5,95	8,63
Valores Médios		**4,48**	**5,68**	**7,53**
1:10	BL-1	2,84	4,34	5,84
	BL-2	3,09	4,66	5,83
Valores Médios		**2,97**	**4,50**	**5,84**

4.2 Blocos de Referência - Determinação das Características Físicas

TABELA A4.3 - CONCRETO COM AGREGADO TOTAL COMPOSIÇÃO DE 50% AGREGADO GRAÚDO E 50% AGREGADO MIÚDO

Traço	Corpo de Prova	Massa Específica Endurecido (kg/dm³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
1:6	BL-1	2.226,07	8,64	19,23
	BL-2	2.111,68	6,52	13,76
Valores Médios		**2.168,88**	**7,58**	**16,50**
1:8	BL-1	2.167,06	6,66	14,44
	BL-2	2.185,05	6,25	13,65
Valores Médios		**2.176,06**	**6,46**	**14,05**
1:10	BL-1	2.169,06	6,11	13,25
	BL-2	2.182,15	5,70	12,44
Valores Médios		**2.175,61**	**5,91**	**12,85**

TABELA A4.4 - CONCRETO COM AGREGADO TOTAL COMPOSIÇÃO DE 40% AGREGADO GRAÚDO E 60% AGREGADO MIÚDO

Traço	Corpo de Prova	Massa Específica Endurecido (kg/dm³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
1:6	BL-1	2.128,36	7,26	15,45
	BL-2	2.176,21	5,83	12,70
Valores Médios		**2.152,29**	**6,55**	**14,08**
1:8	BL-1	2.154,88	6,22	13,41
	BL-2	2.148,56	6,39	13,74
Valores Médios		**2.151,72**	**6,31**	**13,58**
1:10	BL-1	2.085,51	7,04	14,68
	BL-2	2.091,57	7,01	14,66
Valores Médios		**2.088,54**	**7,03**	**14,67**

APÊNDICE 5 – ENSAIOS PARA AFERIÇÃO DO SISTEMA ALTERNATIVO DE MOLDAGEM

5.1 Determinação da Influência do Tempo de Moldagem sobre a Massa Específica do Concreto Fresco

TABELA A5.1 – DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MOLDAGEM SOBRE A MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO FRESCO

Tempo de Moldagem (s)	Corpo de Prova	Massa Específica do Concreto Fresco (kg/m³)
5	01	2.047,00
	02	2.146,04
	Valor Médio	**2.096,52**
10	01	2.139,04
	02	2.164,50
	03	2.112,30
	Valor Médio	**2.138,61**
15	01	2.296,28
	02	2.194,42
	03	2.109,12
	Valor Médio	**2.199,94**
20	01	2.242,81
	02	2.324,93
	Valor Médio	**2.283,87**
25	01	2.302,01
	02	2.309,01
	Valor Médio	**2.305,51**
30	01	2.300,74
	02	2.367,58
	Valor Médio	**2.334,16**
35	01	2.365,67
	02	2.349,76
	Valor Médio	**2.357,72**
40	01	2.354,85
	02	2.419,79
	03	2.408,33
	Valor Médio	**2.394,32**
50	01	2.426,79
	02	2.391,77
	Valor Médio	**2.409,28**
60	01	2.479,63
	02	2.452,32
	Valor Médio	**2.447,08**

5.2 Determinação da influência do Tempo de Moldagem sobre as características Físicas do Concreto

TABELA A5.2 - DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MOLDAGEM SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO

Tempo de Moldagem (s)	Corpo de Prova	Massa Específica Endurecido Seco (kg/m³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
5	01	2.042,49	8,76	18,31
	02	2.059,21	8,98	18,49
	Valor Médio	**2.050,85**	**8,87**	**18,40**
10	01	2.074,47	8,10	16,80
	02	2.077,03	8,83	17,88
	Valor Médio	**2.075,75**	**8,47**	**17,34**
15	01	2.084,13	8,23	17,24
	02	2.085,87	8,17	17,02
	Valor Médio	**2.085,00**	**8,20**	**17,13**
20	01	2.094,59	7,67	16,37
	02	2.102,09	7,76	16,50
	Valor Médio	**2.098,34**	**7,72**	**16,44**
25	01	2.127,89	7,66	16,15
	02	2.125,96	7,63	16,37
	Valor Médio	**2.126,93**	**7,65**	**16,26**
30	01	2.140,65	7,82	16,15
	02	2.145,96	7,63	16,11
	Valor Médio	**2.143,31**	**7,73**	**16,13**
35	01	2.144,65	7,36	15,57
	02	2.157,32	7,52	15,83
	Valor Médio	**2.150,99**	**7,44**	**15,70**
40	01	2.151,23	6,86	14,77
	02	2.165,71	7,42	15,74
	Valor Médio	**2.158,47**	**7,14**	**15,26**
50	01	2.166,98	6,85	14,69
	02	2.164,56	6,81	14,68
	Valor Médio	**2.165,77**	**6,83**	**14,69**

5.3 Determinação da influência do Tempo de Moldagem, na Resistência à Compressão do Concreto aos 7 dias de idade

TABELA A5.3 - DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE MOLDAGEM, NA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO AOS 7 DIAS DE IDADE.

Tempo de Moldagem (s)	Corpo de Prova	Resistência à Compressão (MPa)
5	01	4,11
	02	3,47
	Valor Médio	**3,79**
10	01	4,76
	02	4,42
	Valor Médio	**4,59**
15	01	5,79
	02	5,21
	Valor Médio	**5,50**
20	01	7,29
	02	6,56
	Valor Médio	**6,93**
25	01	7,43
	02	7,06
	Valor Médio	**7,25**
30	01	8,49
	02	7,28
	Valor Médio	**7,89**
35	01	8,37
	02	8,56
	Valor Médio	**8,47**
40	01	8,66
	02	10,31
	Valor Médio	**9,49**
50	01	10,39
	02	10,00
	Valor Médio	**10,20**

5.4 Determinação da influência da Umidade de Moldagem sobre a Massa específica do Concreto Fresco

TABELA A5.4 - DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UMIDADE DE MOLDAGEM SOBRE A MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO FRESCO

Umidade de Moldagem (%)	Corpo de Prova	Massa Específica do Concreto Fresco (kg/m³)
4,5	01	2.014,91
	02	2.023,82
	Valor Médio	**2.019,37**
5,5	01	2.091,94
	02	2.121,86
	03	2.117,41
	Valor Médio	**2.110,40**
6,5	01	2.188,07
	02	2.241,55
	Valor Médio	**2.214,81**
7,5	01	2.300,74
	02	2.367,58
	Valor Médio	**2.334,16**
8,5	01	2.359,96
	02	2.371,42
	Valor Médio	**2.365,69**
9,5	01	2.340,17
	02	2.345,53
	Valor Médio	**2.342,85**

5.5 Determinação da Influência da Umidade de Moldagem sobre as Características Físicas do Concreto no Estado Endurecido Seco

TABELA A5.5 - DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UMIDADE DE MOLDAGEM SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO SECO

Umidade de Moldagem (s)	Corpo de Prova	Massa Específica Endurecido Seco (kg/m³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
4,5	01	1.906,88	13,14	25,06
	02	1.930,68	12,77	24,65
	Valor Médio	**1.918,78**	**12,96**	**24,86**
5,5	01	2.114,67	8,48	17,93
	02	2.127,90	8,25	17,56
	03			
	Valor Médio	**2.121,29**	**8,37**	**17,75**
6,5	01	2.133,98	7,85	16,48
	02	2.139,41	7,70	16,18
	Valor Médio	**2.136,70**	**7,78**	**16,33**
7,5	01	2.140,65	7,82	16,15
	02	2.145,96	7,63	16,11
	Valor Médio	**2.143,31**	**7,73**	**16,13**
8,5	01	2.155,02	7,36	15,50
	02	2.152,76	7,24	15,59
	Valor Médio	**2.153,89**	**7,30**	**15,55**
9,5	01	2.143,72	7,39	15,58
	02	2.146,95	7,59	16,48
	Valor Médio	**2.145,34**	**7,49**	**16,03**

5.6 Determinação da Influência da Umidade de Moldagem sobre a Resistência à Compressão do Concreto, determinada aos 7 dias de idade

TABELA A5.6 - DETERMINAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA UMIDADE DE MOLDAGEM SOBRE A RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO, DETERMINADA AOS 7 DIAS DE IDADE

Umidade de Moldagem (%)	Corpo de Prova	Resistência à Compressão (MPa)
4,5	01	3,29
	02	3,41
	Valor Médio	**3,35**
5,5	01	3,78
	02	3,51
	Valor Médio	**3,65**
6,5	01	6,24
	02	6,57
	Valor Médio	**6,41**
7,5	01	8,49
	02	7,28
	Valor Médio	**7,89**
8,5	01	7,49
	02	6,65
	Valor Médio	**7,07**
9,5	01	6,95
	02	6,28
	Valor Médio	**6,62**

APÊNDICE 6 - ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA ADIÇÃO DE PU EXPANDIDO RECICLADO

6.1 Resultados de ensaios com Corpos de Prova Cilíndricos ∅ = 100,00 mm – Concreto Traço 1:8 com Adição de Poliuretano Reciclado

6.1.1 Determinação da Massa Específica do Concreto no Estado Fresco

TABELA A6.1 - MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO - CONCRETO TRAÇO 1 : 8 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Massa Específica do Concreto Fresco (kg/m³)
0,0	01	2.300,74
	02	2.367,58
	03	2.368,62
	04	2.282,80
	05	2.400,63
	06	2.270,71
	Valor Médio	**2.331,85**
5,0	01	2.037,60
	02	2.041,40
	03	2.102,55
	04	2.035,67
	05	2.177,07
	06	1.981,53
	Valor Médio	**2.062,64**
7,5	01	2.045,23
	02	2.017,83
	03	2.007,64
	04	2.042,04
	05	2.028,66
	06	1.968,79
	Valor Médio	**2.018,37**
10,0	01	1.930,57
	02	1.898,09
	03	1.920,38
	04	1.926,75
	05	1.955,41
	06	1.916,56
	Valor Médio	**1.924,63**
15,0	01	1.897,45
	02	1.824,20
	03	1.875,79
	04	1.852,23
	05	1.842,67
	06	1.878,34
	Valor Médio	**1.861,78**
20,0	01	1.584,08
	02	1.610,83
	03	1.613,38
	04	1.521,66
	05	1.631,21
	06	1.633,12
	Valor Médio	**1.599,05**

6.1.2 Determinação das Características Físicas do Concreto no Estado Endurecido

TABELA A6.2 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO CONCRETO TRAÇO 1: 8 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Massa Específica Endurecido Seco (kg/m³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
0,0	01	2.140,65	7,82	16,15
	02	2.145,96	7,63	16,11
	Valor Médio	**2.143,31**	**7,73**	**16,13**
5,0	01	1.961,09	10,28	20,17
	02	1.991,32	9,56	19,04
	03			
	Valor Médio	**1.976,21**	**9,92**	**19,61**
7,5	01	1.871,74	11,51	21,55
	02	1.856,86	11,69	21,70
	Valor Médio	**1.864,30**	**11,60**	**21,63**
10,0	01	1.788,83	12,52	22,40
	02	1.785,12	12,68	22,63
	Valor Médio	**1.786,98**	**12,60**	**22,52**
15,0	01	1.671,85	14,42	24,11
	02	1.633,95	15,23	24,89
	Valor Médio	**1.652,90**	**14,83**	**24,50**
20,0	01	1.460,11	15,78	23,04
	02	1.422,04	22,84	32,47
	Valor Médio	**1.441,08**	**19,31**	**27,76**

6.1.3 Determinação das Características Mecânicas – Resistência à Compressão

TABELA A6.3 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO TRAÇO 1: 8 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Resistência à Compressão (MPa)		
		3 dias	7 dias	28 dias
0,0	01	9,83	10,24	14,40
	02	9,18	10,74	12,30
Valores Médios		**9,51**	**10,49**	**13,35**
5,0	01	1,97	2,77	2,85
	02	2,34	2,73	2,77
Valores Médios		**2,16**	**2,75**	**2,81**
7,5	01	0,92	1,14	2,20
	02	1,23	1,90	2,02
Valores Médios		**1,08**	**1,52**	**2,11**
10,0	01	0,78	1,05	1,71
	02	0,79	1,24	1,56
Valores Médios		**0,79**	**1,15**	**1,64**
15,0	01	0,44	0,79	0,86
	02	0,47	0,79	0,89
Valores Médios		**0,46**	**0,79**	**0,88**
20,0	01	0,20	0,23	0,38
	02	0,18	0,27	0,36
Valores Médios		**0,19**	**0,25**	**0,37**

6.1.4 Determinação das Características Mecânicas – Resistência à Tração por Compressão Diametral

TABELA A6 4 – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO TRAÇO 1: 8 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Resistência à Tração aos 28 dias (MPa)
0,0	01	1,54
	02	1,42
	03	
Valores Médios		**1,48**
5,0	01	0,32
	02	0,34
	03	0,32
Valores Médios		**0,33**
7,5	01	0,30
	02	0,29
	03	0,30
Valores Médios		**0,30**
10,0	01	0,24
	02	0,30
Valores Médios		**0,27**
15,0	01	0,20
	02	0,18
	03	0,18
Valores Médios		**0,19**
20,0	01	0,10
	02	0,10
Valores Médios		**0,10**

6.2 Resultados de ensaios com Corpos de Prova Cilíndricos ∅ = 100,00 mm – Concreto Traço 1:6 com Adição de Poliuretano Reciclado

6.2.1 Características Físicas – Massa Específica do Concreto no Estado Fresco

TABELA A6.5 - MASSA ESPECÍFICA DO CONCRETO NO ESTADO FRESCO - CONCRETO TRAÇO 1 : 6 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Massa Específica do Concreto Fresco (kg/m³)
0,0	01	2.362,44
	02	2.358,95
	03	2.347,80
	04	2.367,02
	05	2.368,26
	06	2.380,66
	Valor Médio	**2.364,19**
5,0	01	2.043,31
	02	2.044,58
	03	2.039,49
	04	2.066,88
	05	2.063,06
	06	2.035,67
	Valor Médio	**2.048,83**
7,5	01	1.915,29
	02	1.870,70
	03	1.831,85
	04	1.808,28
	05	1.871,97
	06	1.864,97
	Valor Médio	**1.860,51**
10,0	01	1.850,59
	02	1.848,73
	03	1.824,55
	04	1.837,57
	05	1.816,49
	06	1.830,56
	Valor Médio	**1.834,75**
15,0	01	1.651,59
	02	1.619,74
	03	1.682,17
	04	1.688,53
	05	1.664,33
	06	1.687,26
	Valor Médio	**1.665,60**
20,0	01	1.504,46
	02	1.445,22
	03	1.422,29
	04	1.431,21
	05	1.445,86
	06	1.481,53
	Valor Médio	**1.455,10**

6.2.2 Características Físicas do Concreto no Estado Endurecido

TABELA A6.6 - CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO CONCRETO NO ESTADO ENDURECIDO CONCRETO TRAÇO 1: 6 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Massa Específica Endurecido Seco (kg/m³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
0,0	01	2.150,94	6,40	13,76
	02	2.098,61	6,80	14,28
	Valor Médio	**2.124,78**	**6,60**	**14,02**
5,0	01	1.978,43	9,02	17,84
	02	2.021,92	8,77	17,73
	03			
	Valor Médio	**2.000,18**	**8,90**	**17,79**
7,5	01	1.736,19	12,05	20,92
	02	1.807,44	10,87	19,65
	Valor Médio	**1.771,82**	**11,46**	**20,29**
10,0	01	1.704,91	13,27	22,63
	02	1.755,39	12,27	21,55
	Valor Médio	**1.730,15**	**12,77**	**22,09**
15,0	01	1.490,47	16,81	25,05
	02	1.543,17	15,66	24,16
	Valor Médio	**1.516,82**	**16,24**	**24,61**
20,0	01	1.385,82	19,13	26,52
	02	1.342,14	19,84	26,63
	Valor Médio	**1.363,98**	**19,49**	**26,58**

6.2.3 Características Mecânicas – Resistência à Compressão

TABELA A6.7 – RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO TRAÇO 1: 6 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Resistência à Compressão (MPa)		
		3 dias	7 dias	28 dias
0,0	01	16,48	18,60	19,47
	02	13,80	18,53	19,96
Valores Médios		**15,14**	**18,57**	**19,72**
5,0	01	3,76	4,23	4,56
	02	3,45	4,38	4,60
Valores Médios		**3,61**	**4,31**	**4,58**
7,5	01	1,33	1,73	2,21
	02	1,29	1,54	2,12
Valores Médios		**1,31**	**1,64**	**2,17**
10,0	01	1,20	1,52	1,91
	02	0,99	1,59	1,97
Valores Médios		**1,10**	**1,56**	**1,94**
15,0	01	0,47	0,53	0,75
	02	0,43	0,51	0,80
Valores Médios		**0,45**	**0,52**	**0,78**
20,0	01	0,16	0,17	0,26
	02	0,15	0,20	0,27
Valores Médios		**0,16**	**0,19**	**0,27**

6.2.4 Características Mecânicas – Resistência à Tração por Compressão Diametral

TABELA A6.8 – RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DO CONCRETO TRAÇO 1: 6 COM ADIÇÃO DE POLIURETANO EXPANDIDO RECICLADO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Resistência à Tração aos 28 dias (MPa)
0,0	01	1,75
	02	2,14
	03	2,03
Valores Médios		**1,97**
5,0	01	0,61
	02	0,50
Valores Médios		**0,56**
7,5	01	0,46
	02	0,42
Valores Médios		**0,44**
10,0	01	0,45
	02	0,37
	03	0,32
Valores Médios		**0,38**
15,0	01	0,14
	02	0,13
Valores Médios		**0,14**
20,0	01	0,09
	02	0,06
Valores Médios		**0,08**

APÊNDICE 7 - RESULTADOS DOS ENSAIOS COM OS BLOCOS DE CONCRETO COM ADIÇÃO DE PU EXPANDIDO RECICLADO

7.1 Ensaios com Blocos de Concreto Traço 1:8 com 5,0% de Adição de Poliuretano Reciclado

7.1.1 Características Geométricas – Determinação das Dimensões – Blocos de Concreto - Traço 1:8

TABELA A7.1 – BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:8 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES

Dimensões Nominais (mm)	**Dimensões Padronizadas (mm)**				
	Largura	Altura	Comprimento	Paredes	
				Longitudinal	Transversal
15x20x40	**140,00**	**190,00**	**390,00**	**25,00**	**25,00**
Corpo de Prova	**Dimensões Reais (mm) - Traço 1:8 - Adição de PU = 5,0%**				
	Largura	Altura	Comprimento	Paredes	
				Longitudinal	Transversal
BL 01	138,80	192,00	389,00	26,70	26,10
BL 02	140,30	192,20	389,00	27,40	25,80
BL 03	142,00	192,80	388,80	26,40	26,70
BL 04	141,20	193,00	388,00	26,00	27,00
BL 05	140,00	193,10	389,00	26,20	26,80
BL 06	141,30	190,00	389,00	26,50	26,20
Valores Médios	**140,60**	**192,18**	**388,80**	**26,53**	**26,43**

7.1.2 Características Físicas – Massa Específica do Concreto no Estado Fresco – Blocos de Concreto - Traço 1:8

TABELA A7.2 – BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:8 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO FRESCO

Adição de PU (%)	**Corpo de Prova**	**Massa Específica do Concreto Fresco (kg/m³)**
5,0	BL 01	2.251,25
	BL 02	2.217,04
	BL 03	2.208,17
	Valores Médios	**2.225,49**

7.1.3 Características Físicas – Massa Específica, Absorção de Água e Índice de Vazios do Concreto no Estado Endurecido – Blocos de Concreto - Traço 1:8

TABELA A7.3 – BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:8 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS NO ESTADO ENDURECIDO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Massa Específica Endurecido Seco (kg/dm³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
5,0	BL 01	2.094,33	6,84	14,32
	BL 02	2.073,13	7,08	14,68
	BL 03	2.078,89	7,11	14,78
	BL 04	2.111,60	6,31	13,33
	Valor Médio	**2.089,49**	**6,84**	**14,28**

7.1.4 Características Físicas - Retração por Secagem – Blocos de Concreto - Traço 1:8

TABELA A7.4 – BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:8 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM

Blocos - Concreto Traço 1:8 - Adição de PU = 5,0%				
Corpo de Prova	Base de Medida (mm)	Leitura Saturado (mm)	Leitura Seco (mm)	Retração por Secagem (%)
BL 01	244,20	244,30	244,19	0,04505
BL 02	254,05	254,15	254,04	0,04330
BL 03	255,30	255,42	255,29	0,05092
BL 04	244,65	244,70	244,64	0,02452
Valores Médios				0,04095

7.1.5 Resistência à Compressão aos 7 dias de Idade – Blocos de Concreto -Traço 1:8

TABELA A7.5 – BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:8 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Resistência à Compressão (MPa) aos 7 dias
5,0	BL 01	4,23
	BL 02	5,05
	BL 03	4,43
	BL 04	5,19
	BL 05	5,34
	BL 06	5,31
	BL 07	5,28
	BL 08	4,69
Valor Médio		**4,94**
Desvio Padrão		**0,43**
Coefic. de Variação		**8,77**

7.2 Ensaios com Blocos de Concreto Traço 1:6 com 5,0% de Adição de Poliuretano Reciclado

7.2.1 Características Geométricas – Determinação das Dimensões – Blocos de Concreto - Traço 1:6

TABELA A7.6 – BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:6 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DAS DIMENSÕES

Dimensões Nominais (mm)	**Dimensões Padronizadas (mm)**				
	Largura	Altura	Comprimento	Paredes	
				Longitudinal	Transversal
15x20x40	**140,00**	**190,00**	**390,00**	**25,00**	**25,00**
Corpo de Prova	**Dimensões Reais (mm) - Traço 1:6 - Adição de PU = 5,0%**				
	Largura	Altura	Comprimento	Paredes	
				Longitudinal	Transversal
BL 01	140,20	193,20	388,00	26,90	26,10
BL 02	142,00	194,40	388,00	27,80	26,60
BL 03	141,40	191,00	389,00	25,30	27,10
BL 04	140,30	192,70	389,00	27,20	26,30
BL 05	140,30	193,10	388,00	25,80	26,80
BL 06	141,50	192,40	389,00	26,40	27,00
Valores Médios	**140,95**	**192,80**	**388,50**	**26,57**	**26,65**

7.2.2 Características Físicas – Massa Específica do Concreto no Estado Fresco – Blocos de Concreto -Traço 1:6

TABELA A7.7 – BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:6 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA NO ESTADO FRESCO

Adição de PU (%)	**Corpo de Prova**	**Massa Específica do Concreto Fresco (kg/m³)**
5,0	BL 01	2.242,38
	BL 02	2.219,80
	BL 03	2.262,19
	Valores Médios	**2.241,46**

7.2.3 Características Físicas – Massa Específica, Absorção de Água e Índice de Vazios do Concreto no Estado Endurecido – Blocos de Concreto - Traço 1:6

BELA A7.8 – BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:6 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS NO ESTADO ENDURECIDO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Massa Específica Endurecido Seco (kg/dm³)	Absorção por Imersão (%)	Índice de Vazios (%)
5,0	BL 01	2.119,15	6,24	13,23
	BL 02	2.139,94	6,19	13,25
	BL 03	2.118,91	6,43	13,62
	BL 04	2.138,80	6,25	13,36
	Valor Médio	**2.129,20**	**6,28**	**13,37**

7.2.4 Características Físicas – Retração por Secagem – Blocos de Concreto -Traço 1:6

TABELA A7.9 – BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:6 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA RETRAÇÃO POR SECAGEM

Blocos - Concreto Traço 1:6 - Adição de PU = 5,0%				
Corpo de Prova	Base de Medida (mm)	Leitura Saturado (mm)	Leitura Seco (mm)	Retração por Secagem (%)
BL 01	254,25	254,35	254,24	0,04326
BL 02	255,70	255,78	255,69	0,03520
BL 03	255,70	255,76	255,69	0,02738
BL 04	255,50	255,62	255,49	0,05088
Valores Médios				0,03918

7.2.5 Resistência à Compressão aos 7 dias de Idade – Blocos de Concreto - Traço 1:6

TABELA A7.10 – BLOCOS DE CONCRETO TRAÇO 1:6 COM ADIÇÃO DE 5,0% DE PU – DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Adição de PU (%)	Corpo de Prova	Resistência à Compressão (MPa) aos 7 dias
5,0	BL 01	5,72
	BL 02	7,76
	BL 03	6,37
	BL 04	7,09
	BL 05	5,09
	BL 06	6,44
	BL 07	6,42
	BL 08	6,20
Valor Médio		**6,39**
Desvio Padrão		**0,81**
Coefic. de Variação		**12,62**

APÊNDICE 8 - PLANILHAS PARA DETERMINAÇÃO DAS EQUAÇÕES DE PREVISÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO CONCRETO COM ADIÇÃO

8.1 Planilhas de Regressão para Determinação dos Modelos Matemáticos para Previsão da Resistência à Compressão do Concreto Traço 1:8

PLANILHA A8.1 – TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 0,0%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,967848448
R-Quadrado	0,936730619
R-quadrado ajustado	0,873461238
Erro padrão	0,062087602
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 8**
Adição PU	**0,0%**
Idade (dias)	*Resist Comp (MPa)*
3	9,51
7	10,49
28	13,35

(Referência)

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,057073026	0,057073026	14,80543357	0,161870092
Resíduo	1	0,00385487	0,00385487		
Total	2	0,060927897			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	2,72987601	0,093380981	29,23374742	0,021768391	1,543363231	3,916388789	1,543363231	3,916388789
1/Raiz(j)	-0,86983132	0,226060391	-3,84778294	0,161870092	-3,742188621	2,002525989	-3,742188621	2,002525989

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	2,72987601	**C =**	**15,33098601**
D = e^x, Sendo x = (Vanável X1)	0,86983132	**D =**	**2,386508263**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcj = \frac{C}{D^{1/\sqrt{j}}}$$

PLANILHA A8.2 – TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 5,0%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,90721593
R-Quadrado	0,823040743
R-quadrado ajustado	0,646081487
Erro padrão	0,086890099
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 8**
Adição PU	**5,0%**
Idade (dias)	*Resist Comp (MPa)*
3	2,16
7	2,75
28	2,81

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,035114674	0,035114674	4,65101831	0,27640661
Resíduo	1	0,007549889	0,007549889		
Total	2	0,042664563			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	1,198542278	0,130684427	9,171270837	0,069141423	-0,461953699	2,859038256	-0,461953699	2,859038256
1/Raiz(j)	-0,68228199	0,316366057	-2,15662197	0,27640661	-4,702076663	3,337512685	-4,702076663	3,337512685

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	1,198542278	**C =**	**3,315280641**
D = e^x, Sendo x = (Vanável X1)	0,68228199	**D =**	**1,978387245**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcj = \frac{C}{D^{1/\sqrt{j}}}$$

PLANILHA A8.3 – TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 7,5%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,999993544
R-Quadrado	0,999987089
R-quadrado ajustado	0,999974178
Erro padrão	0,001701738
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 8**
Adição PU	**7,5%**
Idade (dias)	*Resist. Comp. (MPa)*
3	1,08
7	1,52
28	2,11

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,224295778	0,224295778	77452,52781	0,002287497
Resíduo	1	2,89591E-06	2,89591E-06		
Total	2	0,224298674			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	1,071849749	0,002559448	418,781621	0,001520168	1,039329019	1,104370479	1,039329019	1,104370479
1/Raiz(J)	-1,72436873	0,006196013	-278,302943	0,002287497	-1,803096203	-1,645641251	-1,803096203	-1,645641251

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	1,071849749	**C =**	**2,920777211**
D = e^x, Sendo x = (Variável X1)	1,72436873	**D =**	**5,608979132**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcJ = \frac{C}{D^{1/\sqrt{J}}}$$

PLANILHA A8.4 – TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 10,0%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,999999698
R-Quadrado	0,999999396
R-quadrado ajustado	0,999998792
Erro padrão	0,000401507
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 8**
Adição PU	**10,0%**
Idade (dias)	*Resist. Comp. (MPa)*
3	0,79
7	1,15
28	1,64

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,26682587	0,26682587	1655166,645	0,000494834
Resíduo	1	1,61208E-07	1,61208E-07		
Total	2	0,266826031			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	0,850294902	0,000603874	1408,06572	0,000452124	0,842621982	0,857967821	0,842621982	0,857967821
1/Raiz(J)	-1,88076076	0,001461883	-1286,5328	0,000494834	-1,899335668	-1,862185851	-1,899335668	-1,862185851

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	0,850294902	**C =**	**2,34033692**
D = e^x, Sendo x = (Vanável X1)	1,88076076	**D =**	**6,558492403**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcJ = \frac{C}{D^{1/\sqrt{J}}}$$

PLANILHA A8.5 – TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 15,0%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,938578481
R-Quadrado	0,880929565
R-quadrado ajustado	0,761859131
Erro padrão	0,169623337
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 8**
Adição PU	**15,0%**
Idade (dias)	*Resist Comp (MPa)*
3	0,46
7	0,79
28	0,88

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,212867056	0,212867056	7,398390447	0,224286833
Resíduo	1	0,028772076	0,028772076		
Total	2	0,241639132			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	0,260725813	0,255116853	1,021985849	0,493078055	-2,98082726	3,502278886	-2,98082726	3,502278886
1/Raiz(J)	-1,67986281	0,617597019	-2,71999824	0,224286833	-9,527143351	6,167417738	-9,527143351	6,167417738

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	0,260725813	**C =**	**1,297871757**
D = e^x, Sendo x = (Variável X1)	1,67986281	**D =**	**5,364819921**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcJ = \frac{C}{D^{1/\sqrt{J}}}$$

PLANILHA A8.6 – TRAÇO 1:8 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 20,0%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,993164204
R-Quadrado	0,986375137
R-quadrado ajustado	0,972750273
Erro padrão	0,055294213
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 8**
Adição PU	**20,0%**
Idade (dias)	*Resist Comp (MPa)*
3	0,19
7	0,25
28	0,37

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,2213448	0,2213448	72,39523117	0,074479605
Resíduo	1	0,00305745	0,00305745		
Total	2	0,22440225			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	-0,69370372	0,08316359	-8,34143553	0,075957665	-1,750392794	0,362985348	-1,750392794	0,362985348
1/Raiz(J)	-1,71298772	0,201325724	-8,50853872	0,074479605	-4,271062632	0,845087191	-4,271062632	0,845087191

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	0,69370372	**C =**	**2,001113389**
D = e^x, Sendo x = (Variável X1)	1,71298772	**D =**	**5,545505168**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcJ = \frac{C}{D^{1/\sqrt{J}}}$$

8.2 Planilhas de Regressão para Determinação dos Modelos Matemáticos para Previsão da Resistência à Compressão do Concreto Traço 1:6

PLANILHA A8.7 – TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 0,0%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,958373939
R-Quadrado	0,918480608
R-quadrado ajustado	0,836961215
Erro padrão	0,055940186
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 6**
Adição PU	**0,0% (Referência)**
Idade (dias)	*Resist. Comp. (MPa)*
3	15,14
7	18,57
28	19,72

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,035257935	0,035257935	11,26701981	0,18432995
Resíduo	1	0,003129304	0,003129304		
Total	2	0,038387239			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	3,134281731	0,084135146	37,25294216	0,017085011	2,065247919	4,203315543	2,065247919	4,203315543
1/Raiz(J)	-0,68367236	0,203677706	-3,35663817	0,18432995	-3,271631914	1,904287186	-3,271631914	1,904287186

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	3,134281731	**C =**	**22,97212975**
D = e^x, Sendo x = (Variável X1)	0,68367236	**D =**	**1,981139848**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcj = \frac{C}{D^{1/\sqrt{J}}}$$

PLANILHA A8.8 – TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 5,0%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,966414876
R-Quadrado	0,933957713
R-quadrado ajustado	0,867915427
Erro padrão	0,044940213
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 6**
Adição PU	**5,0%**
Idade (dias)	*Resist. Comp. (MPa)*
3	3,61
7	4,31
28	4,58

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,028561128	0,028561128	14,1418137	0,165459473
Resíduo	1	0,002019623	0,002019623		
Total	2	0,030580751			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	1,656821202	0,067590969	24,5124642	0,025956874	0,798000194	2,51564221	0,798000194	2,51564221
1/Raiz(J)	-0,61532884	0,163626904	-3,76056029	0,165459473	-2,694396876	1,4637392	-2,694396876	1,4637392

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	1,656821202	**C =**	**5,242619102**
D = e^x, Sendo x = (Variável X1)	0,61532884	**D =**	**1,850264941**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcj = \frac{C}{D^{1/\sqrt{J}}}$$

PLANILHA A8.9 – TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 7,5%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,996903864
R-Quadrado	0,993817315
R-quadrado ajustado	0,987634629
Erro padrão	0,028117461
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 6**
Adição PU	**7,5%**
Idade (dias)	*Resist. Comp. (MPa)*
3	1,31
7	1,64
28	2,17

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,127081291	0,127081291	160,7420152	0,050109173
Resíduo	1	0,000790592	0,000790592		
Total	2	0,127871882			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	1,008233044	0,042289218	23,84137384	0,026686668	0,47089989	1,545566198	0,47089989	1,545566198
1/Raiz(J)	-1,29795727	0,102375419	-12,6784074	0,050109173	-2,598754733	0,002840187	-2,598754733	0,002840187

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	1,008233044	**C =**	**2,740753942**
D = e^x, Sendo x = (Variável X1)	1,29795727	**D =**	**3,661808936**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcJ = \frac{C}{D^{1/\sqrt{J}}}$$

PLANILHA A8.10 – TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 10,0%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,99311303
R-Quadrado	0,986273491
R-quadrado ajustado	0,972546982
Erro padrão	0,047422425
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 6**
Adição PU	**10,0%**
Idade (dias)	*Resist. Comp. (MPa)*
3	1,10
7	1,56
28	1,94

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,161586393	0,161586393	71,85173537	0,074758188
Resíduo	1	0,002248886	0,002248886		
Total	2	0,163835279			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	0,959158471	0,071324265	13,44785629	0,047252902	0,052901635	1,865415307	0,052901635	1,865415307
1/Raiz(J)	-1,46359858	0,172664617	-8,47654029	0,074758188	-3,657501161	0,730303992	-3,657501161	0,730303992

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	0,959158471	**C =**	**2,60949958**
D = e^x, Sendo x = (Variável X1)	1,46359858	**D =**	**4,321482782**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcJ = \frac{C}{D^{1/\sqrt{J}}}$$

PLANILHA A8.11 – TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 15,0%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,960292773
R-Quadrado	0,922162209
R-quadrado ajustado	0,844324419
Erro padrão	0,11250731
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 6**
Adição PU	**15,0%**
Idade (dias)	*Resist Comp (MPa)*
3	0,45
7	0,52
28	0,78

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,149960991	0,149960991	11,84723003	0,180002083
Resíduo	1	0,012657895	0,012657895		
Total	2	0,162618886			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	-0,02915844	0,169213219	-0,17231774	0,89136597	-2,179207029	2,120890148	-2,179207029	2,120890148
1/Raiz(j)	-1,40996632	0,409638087	-3,44198054	0,180002083	-6,614889419	3,794956775	-6,614889419	3,794956775

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	0,02915844	**C =**	**1,029587709**
D = e^x, Sendo x = (Vanável X1)	1,40996632	**D =**	**4,095817455**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcj = \frac{C}{D^{1/\sqrt{j}}}$$

PLANILHA A8.12 – TRAÇO 1:6 COM TEOR DE ADIÇÃO DE 20,0%

RESUMO DOS RESULTADOS

Estatística de regressão	
R múltiplo	0,977812639
R-Quadrado	0,956117556
R-quadrado ajustado	0,912235112
Erro padrão	0,079012863
Observações	3

Concreto	
Traço	**1 : 6**
Adição PU	**20,0%**
Idade (dias)	*Resist Comp (MPa)*
3	0,16
7	0,19
28	0,27

ANOVA

	gl	*SQ*	*MQ*	*F*	*F de significação*
Regressão	1	0,136024169	0,136024169	21,78815654	0,134355121
Resíduo	1	0,006243032	0,006243032		
Total	2	0,142267202			

COEFICIENTES

	Coeficientes	*Erro padrão*	*Stat t*	*valor-P*	*95% inferiores*	*95% superiores*	*Inferior 95,0%*	*Superior 95,0%*
Interseção	-1,08867545	0,118836908	-9,16108866	0,069217667	-2,598635063	0,421284164	-2,598635063	0,421284164
1/Raiz(j)	-1,34285039	0,287685111	-4,66777854	0,134355121	-4,998220649	2,312519871	-4,998220649	2,312519871

C = e^x, Sendo x = (Interseção)	1,08867545	**C =**	**2,970337106**
D = e^x, Sendo x = (Vanável X1)	1,34285039	**D =**	**3,829944798**

Equação para previsão de resistência à compressão

$$fcj = \frac{C}{D^{1/\sqrt{j}}}$$